Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

EDUARDO HENRIQUE VIANA DE SOUSA

ANÁLISE PREDITIVA A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES GASOSAS E DO ÓLEO LUBRIFICANTE EM FROTAS COM MOTORIZAÇÃO A DIESEL

NATAL/ RN
AGOSTO/2010

EDUARDO HENRIQUE VIANA DE SOUSA

ANÁLISE PREDITIVA A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES GASOSAS E DO ÓLEO LUBRIFICANTE EM FROTAS COM MOTORIZAÇÃO A DIESEL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito final para obtenção do título de Mestre.

NATAL/RN

AGOSTO/2010

Divisão de Serviços Técnicos

Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Sousa, Eduardo Henrique Viana de.

Análise preditiva a partir da caracterização das emissões gasosas e do óleo lubrificante em frotas com motorização a diesel / Eduardo Henrique Viana de Sousa. – Natal, RN, 2010.
117 f. : il.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira Fontes.
Co-orientador: Cleiton Rubens Formiga Barbosa.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Motor diesel – Manutenção – Dissertação. 2. Óleos lubrificantes – Dissertação. 3. Manutenção preditiva – Dissertação. I. Fontes, Francisco de Assis Oliveira. II. Barbosa, Cleiton Rubens Formiga. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM CDU 621.436(043.2)

ANÁLISE PREDITIVA A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO DAS EMISSÕES GASOSAS E DO ÓLEO LUBRIFICANTE EM FROTAS COM MOTORIZAÇÃO A DIESEL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito final para obtenção do título de Mestre.

Dissertação aprovada em: _____/_____/_____

_____
Prof. Francisco de Assis Oliveira Fontes, D. Sc. – Orientador

_____
Prof. Cleiton Rubens Formiga Barbosa, D. Sc. – Co-orientador

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. – Presidente Prof. Francisco de Assis Oliveira Fontes, D. Sc

_____
Prof.Externo Marcelo Bezerra Grilo, D. Sc

_____
Prof. Interno Cleiton Rubens Formiga Barbosa, D. Sc

"***Acredite em você mesmo, pois é só você que pode se auto julgar. Ouse, arrisque e nunca se arrependa. Não desista jamais e saiba valorizar quem te ama, esses sim merecem seu respeito. Quanto ao resto, bom, ninguém nunca precisou de restos para ser feliz.***".

Pâmela Rugoni Belin

Dedico este trabalho ao meu bom Deus, minha querida mãe, minhas amadas esposa e filhas. A minha mãe pelo quanto lutou para que eu pudesse me formar. A minha esposa, pelo carinho e a paciência necessária para completar esta jornada. As minhas filhas, pela compreensão de alguns momentos de ausência e pelo exemplo de que "o saber não ocupa espaço"

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira Fontes, pela compreensão e direcionamento dos trabalhos ora desenvolvidos que foram fundamentais para a elaboração desta dissertação.

Aos alunos de iniciação científica, Ricardo, Samuelsom e Wendell pelo grande apoio nos momentos necessários, os quais foram os facilitadores e ajudaram no andamento e implementação das atividades realizadas ao longo deste trabalho.

À Empresa INSPETRANS que fomentou nossa investidura e fez acontecer para que pudéssemos apresentar este trabalho, e a todas as empresas de ônibus urbanos da cidade do Natal que permitiram o acesso e o desenvolvimento dos trabalhos em suas dependências, contribuindo, assim, para o estreitamento das relações entre ciência e comunidade, bem como a todos os seus funcionários, que nos atenderam e proporcionaram a realização das tarefas executadas.

Em especial à Sr^{a}. Aldilene Zuza da Silva, chefe do setor de inspeção veicular da SEMOB (Secretaria de Mobilidade Urbana da Cidade de Natal), que não poupou esforços para que nossa empreitada obtivesse êxito.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste estudo aplicado.

A Deus por ter me proporcionado o dom da vida e este momento de aprendizado e aprimoramento, aperfeiçoando minha visão da vida e do papel a ser seguido na sociedade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte por ter me proporcionado a oportunidade de melhoramento humano e profissional.

Aos meus pais, em especial minha mãe - grande incentivadora para que este momento acontecesse -, e minha esposa e filhas pela grande paciência e compreensão no decorrer deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi motivado pela importância de realizar um estudo das emissões veiculares em frotas cativas com motorização a diesel, associado ao plano de manutenção preditiva. Esta modalidade de manutenção engloba técnicas destinadas a atender a crescente exigência do mercado em reduzir custos de manutenção pelo aumento da confiabilidade dos diagnósticos, o que fez crescer o interesse pelos sistemas automatizados de manutenção preditiva nos motores a diesel, impedindo que problemas de rotina possam evoluir até se transformarem em situações graves, solucionáveis apenas com reparações complexas e dispendiosas, esta Manutenção Centrada em Confiabilidade, será a metodologia que fará com que o objetivo seja atingido; além de manter os veículos regulados quanto ao consumo de combustível e emissão de poluentes. Para isso, estimaram-se melhorias técnicas capazes de penetrar no mercado automotivo e de conferir, nas frotas cativas, os índices de emissão de opacidade dos veículos, sendo isso relacionado diretamente às condições do óleo lubrificante, possibilitando a redução de custos de manutenção, contribuindo de forma considerável com as emissões de poluentes e uma melhoria no ar das grandes metrópoles. Esse critério foi adotado e implementado, em 241 ônibus sendo produzido um diagnóstico das possíveis falhas através da correlação entre a caracterização dos óleos lubrificantes usados e a análise de opacidade, tendo como objetivo o auxílio na detecção e solução de falhas, visando à manutenção dos subsistemas segundo os critérios de projeto. Por ser esta uma metodologia dedutiva na determinação de potenciais causas de falhas, foi automatizada para a implementação de um sistema de manutenção preditiva; para esse fim foi utilizado nesse estudo uma unidade móvel equipada com um opacímetro e um kit para coleta e analise do óleo lubrificante; para a construção da rede de diagnósticos foi utilizado um programa de computador em plataforma *Microsoft Office Access 2007,* ferramenta fundamental para a criação de um banco de dados, este método está sendo utilizado e implementado com sucesso nas sete empresas de ônibus urbanos da cidade do Natal/RN, Brasil.

ABSTRACT

This work was motivated by the importance of conducting a study of vehicle emissions in captive fleets with diesel engine, coupled with the predictive maintenance plan. This type of maintenance includes techniques designed to meet the growing market demand to reduce maintenance costs by increasing the reliability of diagnoses, which has increased interest in automated predictive maintenance on diesel engines, preventing problems that might evolve into routine turn into serious situations, solved only with complex and costly repairs, the Reliability Centered Maintenance, will be the methodology that will make our goal is reached, beyond maintaining the vehicles regulated as fuel consumption and emissions. To Therefore, technical improvements were estimated capable of penetrating the automotive market and give the inshore fleet emission rates of opacity of the vehicles, being directly related to the conditions of the lubricating oil thus contributing to reducing maintenance costs by contributing significantly to emissions of pollutants and an improvement in the air in large cities. This criterion was adopted and implemented, em 241 buses and produced a diagnosis of possible failures by the correlation between the characterization of used lubricating oils and the analysis of opacity, with the objective of the aid the detection and solution of failures for the maintenance of sub-systems according to design criteria, and for this to be a deductive methodology to determine potential causes of failures, has been automated to implement a predictive maintenance system for this purpose was used in our study a mobile unit equipped with a opacimeter and a kit for collection and analysis of lubricating oil and the construction of the network diagnostics, we used a computer program in Microsoft Office Access 2007 platform tool is indispensable for creating a database data, this method is being used and successfully implemented in seven (7) bus companies from the city of Natal (RN) Brazil.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
1.1 Apresentação.....17
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....24
2.1 Poluição (breve histórico). 24
2.2 Emissões de veículos. 28
2.2.1 Poluição com motorização diesel.....28
2.2.2 Testes de performance. 30
2.3 Princípio de funcionamento de registradores de opacidade 31
2.4 Método de análises do teste de opacidade. 36
3 MOTOR DIESEL.....38
3.1 Funcionamento.....38
3.2 Processo de combustão.....39
3.3 Sistemas de injeção.....40
4 PROPRIEDADES DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES.....45
4.1 Classificação dos óleos lubrificantes.....45
4.2 Componentes.....48
4.3 Tipos de viscosímetros. 53
4.4 Contaminação.....53
5 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....55
6 CONCEITOS ESTATÍSTICOS.....59
6.1 Amostragem.....59
6.2 Representações gráficas de distribuições de frequências.....59
7 ESTADO DA ARTE. 62
8 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....65
8.1 Descrição do experimento.....65
8.2 Instrumentos.....66
8.3 Procedimento de operação do opacímetro.....67
8.4 Medidor de velocidade angular do motor (RPM) (KTT).....67
8.5 Sensor de temperatura termopar.....68
8.6 Procedimento experimental.....69
8.7 Coleta de óleo lubrificante.....70
8.8 Descrição do Kit de análise de óleo lubrificante.....70

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....85
10 CONCLUSÃO.....90
11 REFERÊNCIAS.....94
APÊNDICES.....98
Apêndice 01 - Procedimentos para o teste de viscosidade dos óleos lubrificantes.....98
Apêndice 02 - Valores de opacidades de motores para estudo estatístico.....100
Apêndice 03 - Índices de falhas relatadas no banco de dados.....104
Apêndice 04 – *chek list* e relatórios da análise de opacidade.....107
ANEXOS.....113
Anexo 01 - Anexo da Resolução CONAMA nº 251/99.....113
Anexo 02 - Certificado de calibração opacímetro.....114
Anexo 03 - Especificações técnicas dos equipamentos.....115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Revolução industrial na Europa 24
Figura 2: Cidade de Cubatão – SP década de 1980.....24
Figura 3: Configuração mundial dos países que aderiram ao Protocolo de Kioto 27
Figura 4: Poluição atmosférica.....28
Figura 5: Escala Ringelmann.....30
Figura 6: Teste visual.....30
Figura 7: Opacímetro.....31
Figura 8: Teste de opacidade 31
Figura 9: Método de medição da opacidade com opacímetro de fluxo total.....32
Figura 10: Método de medição da opacidade com opacímetro de fluxo parcial.....32
Figura 11: Indicador de opacidade (método de absorção).....34
Figura 12: Informações da tela do computador durante a medição.....35
Figura 13: Injeção de combustível na câmara de combustão.....42
Figura 14: Sistema de alto turbilhonamento de ar.....42
Figura 15: IDI – Sistema de câmara de turbilhonamento– (BOSCH, 2005).....44
Figura 16: IDI – Sistema de pré-câmara – (BOSCH, 2005).....44
Figura 17: Classificação dos óleos SAE.....46
Figura 18: Conceito de viscosidade absoluta (μ).....51
Figura 19: Histograma de variável contínua.....60
Figura 20: Histograma de frequências de variável discreta.....60
Figura 21: Polígono de frequências ("gráfico de pontos e linhas") de variável contínua.....60
Figura 22: Unidade móvel de análises.....65
Figura 23: Diagrama de bloco com o princípio de funcionamento do opacímetro.....66
Figura 24: KTT informando RPM.....68
Figura 25: KTT informando temperatura do óleo.....68
Figura 26: Sensor de temperatura.....69
Figura 27: Opacímetro.....69
Figura 28: Sensor de RPM. 69
Figura 29: Termopar.....69
Figura 30: Bomba (seringa) para coleta da amostra do óleo lubrificante.....70
Figura 31: Kit análise de óleo lubrificante.....71
Figura 32: Orifícios de 5/32”.....72

Figura 33: Pipetas idênticas escalonadas.....72
Figura 34: Pêra para sucção.....74
Figura 35: Marcação de referência.....74
Figura 36: Pipeta graduada. 74
Figura 37: Cronômetro.....74
Figura 38: Óleos padrões contaminados.....75
Figura 39: Chapa metálica e fogareiro.....75
Figura 40: Com alto teor de carbono.....76
Figura 41: Com baixo teor de carbono.....76
Figura 42: Teste de característica detergente dispersante.....76
Figura 43: Microscópio.....77
Figura 44: Amostra 100 x partículas sólidas.....77
Figura 45: Dados imputados no Microsoft Access 2007.....80
Figura 46: Funcionamento do sistema.....82
Figura 47: Fluxograma de diagnósticos e falhas.....84
Figura 48: Gráfico das amostras investigadas.....86
Figura 49: Gráfico das análises realizadas por período.....86
Figura 50: Gráfico informando anos X valor de referência de opacidades. 87
Figura 51: Indicação de falha 5. 88
Figura 52: Veículos reprovados apenas no teste de opacidade.....89
Figura 53: Relatório da análise realizada.....89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados básicos do óleo lubrificante utilizado nos motores diesel.....48
Tabela 2 – Indicação dos efeitos do uso de um lubrificante com viscosidade inapropriada....52
Tabela 3 – Indica as possíveis causas da mudança de viscosidade.....52
Tabela 4 – Tempo de escoamento para as pipetas.....72

APÊNDICES

Apêndice 01 - Procedimentos para o teste de viscosidade dos óleos lubrificantes.....98
Figura 1 - Desenho da extremidade da pipeta.....98
Tabela 1 - Tempo de escoamento para as pipetas com o valor convertido para mm^2/s. 98

Tabela 2 - Estatística descritiva para o escoamento do óleo nas pipetas. 99
Figura 2 - Tempo de escoamento das pipetas.....99
Figura 3 - Valores máximos e mínimos 99

Apêndice 2 - Valores de opacidades de motores para estudo estatístico 100
Tabela 1 - Motores Mercedes Benz serie 2003 a 2006 com índices de opacidade.....100
Tabela 2 - Motor OM 904 LAIII/1 médias operacionais e medias de referência.....100
Figura 1 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/1.....100
Tabela 3 – Motor OM 904 LAIII/1 médias operacionais e medias de referência.....101
Figura 2 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/22.....101
Tabela 4 – Motor OM 904 LAIII/24 médias operacionais e medias de referência.....101
Figura 3 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/24.....102
Tabela 5 – Motor OM 924 LA.III/22 médias operacionais e medias de referência.....102
Figura 4 – Índice de opacidades encontrados em motores OM924LAIII/22.....103
Tabela 6 – Motor OM 924 LA.III/25 médias operacionais e medias de referência.....103
Figura 5 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/25.....103

Apêndice 03 - Índices de falhas relatadas no banco de dados.....104
Figura 1 – Falha 2.....104
Figura 2 - Falha 3.....104
Figura 3 - Falha 4.....105
Figura 4 - Falha 6.....105
Figura 5 - Falha 7.....106

Apêndice 04 - *chek list* e relatórios de análise de opacidade.....107
Figura 1 - *Check-list* de veículo.....107
Figura 2 - Laudo de opacidade de veículo aprovado (frente).....108
Figura 3 - Laudo de opacidade evidenciando a amostra (verso).....109
Figura 4 - *Check-list* de veículo reprovado na inspeção inicial.....110
Figura 5 - Laudo de inspeção veículo reprovado (frente).....111
Figura 6 - Laudo de inspeção (verso).....112

ANEXOS

Anexo 01 - Anexo da Resolução CONAMA nº 251/99.....113

Anexo 02 - Certificado de Calibração Opacímetro.....114

Figura 1 - Certificado de calibração opacímetro.....114

Anexo 03 - Especificações Técnicas dos Equipamentos.....115

Tabela 1 - Especificações técnicas do opacímetro CSM-5000..... 115

Tabela 2 - Condições de trabalho do opacímetro CSM 5000.....115

Tabela 3 - Especificações técnicas do KTT.....115

Tabela 4 - Especificações técnicas do Termopar.....116

Tabela 5 - Instrumentos do kit de análise de óleo lubrificante.....116

LISTA DE ABREVIATURAS

AAS - Amostra Aleatória Simples

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACEA - *Association des Constructeurs Européens del´Automobile*

ANFAVEA - Associação Nacional de Fabricantes de Veículos

API - *American Petroleum Institute* "Instituto Americano do Petróleo"

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CEC - *Comission of the European Communities*

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CEFTRU-DF - Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes de Brasilia

CFC - Cloro Fruor Carbono

CMA - *Chemical Manufactures Association*

CO - Monóxido de Carbono

CO_2 - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONTRAN – Conselho Nacional de Transito

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis

DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito

DETRAN - Departamento de Trânsito

EDC - *Electronic Diesel Control*

EGR - *Exhaust gas recirculation*

EPA - *Environmental Protection Agency*

FGV - Fundação Getúlio Vargas

HC - Hidrocarbonetos

HPA - Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

INSPETRANS – Instituto de Pesquisa, Engenharia e Transportes LTDA (Org. de Inspeção)

JASO – *Japanese Automobile Standards Organization*

MP - Material Particulado

MP10 - Partículas Inaláveis

NO_x - Óxidos de Nitrogênio

NBR - Norma Brasileira Regulamentar

PIB – Produto Interno Bruto

PIV - Programa de Inspeção Veicular

PROCONVE - Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

SAE – *Society of Automotive Engineers* "Sociedade dos Engenheiros Automotivos"

SOx - Óxido de Enxofre

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Nos grandes centros urbanos do Brasil tem-se intensificado o aumento da motorização individual, além de causar grandes e constantes congestionamentos, apresentando a cada dia problemas na saúde das pessoas. Esse acréscimo implica em impacto ambiental principalmente nas cidades, pois a poluição do ar e a quantidade de veículos em circulação são diretamente proporcionais (CETESB, 2009).

A região metropolitana de Natal-RN ainda não enfrenta graves problemas de poluição do ar, apesar do acréscimo no número de veículos do Estado, que conta com uma frota de 694.824 veículos, dos quais 278.932 estão registrados na capital, onde deste total mais de 8% são movidos a diesel (DETRAN/RN, 2009), contribuindo para o aumento das emissões de gases poluentes.

Segundo o DENATRAN (2008), a frota veicular em 1990 foi estimada em 18,2 milhões de veículos registrados; em 2003 foi estimada em 36,6 milhões, o que demonstra que esta cresceu mais de 100% num período de 13 anos, indicando uma tendência de duplicação a cada década.

Os veículos automotores causam mais poluição do ar do que qualquer atividade humana. A derivada do tráfego de veículos é um dos mais graves problemas da degradação da qualidade do ar nas áreas urbanas, especificamente no que se refere ao material particulado emitido pelos veículos a diesel na forma de fumaça preta, o que tem merecido uma atenção especial, pois, além de poluir o ambiente, este material costuma estar associado a problemas respiratórios. Há indícios, de acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1999), de que seus compostos tenham características mutagênicas e cancerígenas causadoras de doenças cardiorrespiratórias e alérgicas, podendo levar ao acréscimo das taxas de morbidade e mortalidade nas áreas urbanas, confirmado por Saldiva *et al*. (1995); Branco e Walsh (2005).

Com o objetivo de diminuir estes problemas, devem-se tomar medidas para controle das emissões veiculares que são produzidas pelo processo de combustão e queima incompleta do combustível, sendo compostas por gases como: óxidos de carbono (CO e CO_2), óxidos de

nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de enxofre (SO_x), partículas inaláveis (MP10), etc., que são diariamente emitidos à atmosfera (CETESB, 2009).

A manutenção corretiva como função estratégica das organizações é responsável direta pela disponibilidade dos ativos e tem importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção. Segundo dados estatísticos da ABRAMAN (2003), o Brasil tem custo de manutenção por faturamento bruto de 4,3% do PIB contra a média mundial de 4,1%, isso significa que um PIB de US$ 451 bilhões (FGV, 2005) - representa 19 bilhões em gastos com manutenção. Portanto, esta realidade demonstra que as organizações devem procurar melhorias contínuas na sua gestão da manutenção, buscando-se incessantemente os conhecimentos inovadores e a aplicação das Melhores Práticas da Manutenção já adotadas nas organizações dos países do primeiro mundo.

A crescente exigência do mercado em reduzir custos de manutenção pelo aumento da confiabilidade dos diagnósticos fez crescer o interesse pelos sistemas automatizados com fins de buscar uma modalidade de manutenção preditiva nos motores a diesel, impedindo que problemas de rotina possam evoluir até se transformarem em situações graves, solucionáveis apenas com reparações complexas e dispendiosas. Esta é a manutenção centrada em confiabilidade.

A análise do óleo lubrificante é a melhor forma de conhecer, controlar e diagnosticar o que se passa no interior dos motores. Consta de testes que permitem predizer a ocorrência de eventuais problemas relacionados com desgastes internos.

Os motores do ciclo diesel[1] são máquinas propulsoras para veículos, utilizados principalmente em aplicações que precisem de elevada potência, o que inclui ônibus, caminhões, tratores, máquinas agrícolas, máquinas para mineração e dragagem. Atualmente, as máquinas movidas a óleo diesel vêm atraindo uma porção crescente do mercado mundial de veículos de carga leve, cujos motores fornecem baixa potência.

O diesel é um combustível derivado do petróleo, constituído por, predominantemente, hidrocarbonetos alifáticos[2] contendo de 9 a 28 átomos de carbono na cadeia. Durante o processo de produção, o diesel é destilado em temperaturas na faixa de 433 a 683 K. Os

[1] Motor do Ciclo Diesel - motor que funciona segundo o princípio de ignição por compressão.
[2] Hidrocarbonetos alifáticos - são hidrocarbonetos com átomos de carbono estruturais em cadeias abertas. Podem ser alcanos alcenos, alcinos ou alcadienos, se as ligações entre esses átomos forem respectivamente simples, duplas ou triplas.

combustíveis destinados aos motores a diesel devem ser facilmente inflamáveis ao contato com o ar superaquecido. Esta facilidade de detonação é favorável ao arranque do motor e assegura, em andamento, uma combustão mais completa, diminuindo, assim, a exaustão de fumaças no escape.

A manutenção preditiva engloba técnicas destinadas a atender as frotas cativas com motorização diesel. Este nicho de estudo foi selecionado supondo que estes veículos têm algum plano de manutenção, o que deverá compor a metodologia sendo atingido o objetivo nas áreas de manutenção, fazendo-se necessário manter os veículos regulados quanto ao consumo de combustível e emissão de poluentes. Além de incentivar a troca de óleo lubrificante, dentro dos padrões estabelecidos pelos fabricantes, esses critérios foram adotados e implementados a partir da análise do óleo lubrificante usado, e dos gases oriundos do escapamento através de análise de opacidade[3].

O diagnóstico é feito através da implementação de ferramentas de suporte, tendo como objetivo auxiliar na detecção e solução de falhas, aplicado à manutenção preditiva, segundo os critérios de implementação de um sistema de manutenção preditiva, projeto utilizando um aplicativo de computador em plataforma Microsoft Office Access 2007.

Existem no Brasil medidas para controle de emissões veiculares, como o Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), instituído em 1986, e o Programa de Inspeção Veicular (PIV), em processo de implantação pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Pela falta de vistoria nos veículos, em função da não implanção do PIV, as condições das emissões veiculares são diversas, considerando a elevada idade da frota nacional e a carência de manutenção. Embora existam órgãos reguladores e programas de controle de emissões, como os elaborados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estes não possuem e]studos da frota circulante brasileira para avaliar o nível de poluentes permitido para diferentes categorias de veículos e, assim, determinar os níveis de emissão veicular.

O controle das emissões por meio de estações de monitoramento precisa de instrumentação, o que eleva seu custo, dificultando sua ampla utilização. Além dos custos de implantação, nem sempre sua localização coincide com as áreas de máxima emissão de

[3]A análise da opacidade – medida de absorção de luz sofrida por um feixe luminoso ao atravessar uma coluna de gás de escapamento, expressa em m^{-1}, entre os fluxos de luz emergente e incidente.

poluentes. Ainda que existam métodos e equipamentos para a realização de ensaios e medições de poluentes, as técnicas de simulação para quantificar as emissões veiculares, como apresentado por Cybis (2002), não são de fácil aplicação. Além disso, o uso de simuladores envolve a aceitação de coeficientes, que muitas vezes não correspondem à situação testada por serem trazidos do exterior.

Dessa forma, verifica-se a necessidade de obter referências de níveis de emissão em diversos cenários na tentativa de representar a realidade brasileira. Para isso, Vaz de Melo (2004) e Filizola (2005), procurando o desenvolvimento de tecnologia aplicável com as características locais, desenvolveram equipamentos, metodologias e valores referenciais de emissão de gases de veículos automotores leves de ciclo otto (movidos a gasolina), com o apoio do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU-DF).

A pesquisa de Vaz de Melo (2004) definiu metodologia e instrumentação para determinar o nível de emissão de poluentes, de veículos automotores leves, expresso em gramas de poluente emitidas por quilômetro percorrido (g/km), nas condições reais de operação. Filizola (2005) definiu valores referenciais de emissão de gases CO, HC, CO_2 e NO_x utilizando a metodologia de Vaz de Melo (2004), considerando o ciclo de condução, via modo de condução do veículo e catalisador.

Os valores de referência de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo otto (obtidos para CO, HC, CO_2 e NO_X) mostraram que as emissões reais encontram-se na mesma escala de grandeza dos limites estabelecidos pelo PROCONVE, sendo possível sua aplicação como padrões de emissão nacional.

Diante desse cenário, o presente trabalho pretende dar viabilidade ao estudo da opacidade, com a proposta de identificar espacialmente os índices emitidos por veículos a diesel baseados em padrões nacionais, utilizando procedimentos normatizados, associados a uma análise do óleo lubrificante usado, buscando uma representação espacial dos índices de opacidade dos veículos automotores circulantes nas vias urbanas, especialmente na Região Metropolitana de Natal, onde foi obtida a análise espacial nas empresas de ônibus urbanos.

Acredita-se que a metodologia proposta possa contribuir para o controle da poluição do ar identificando os veículos desregulados (fora dos padrões estabelecidos pelos fabricantes e homologados pelo IBAMA), permitindo aos manutentores a correção da falha, através de implementação e gerenciamento de estratégias para controle de manutenção dos veículos, a

fim de obter melhores resultados e menores custos, possibilitando, uma melhoria na qualidade de vida da população.

Atualmente, a literatura é bastante vasta quando se aborda estudos sobre as emissões de gases da exaustão de motores do ciclo diesel. 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. Porém, estudos que relacionam os índices de opacidade e a análise do óleo lubrificante correlacionando com o histórico de manutenção dos veículos não são comuns.

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia específica para a formulação de um plano de manutenção preditiva confiável e aceitável em veículos com motorização a diesel, especialmente aplicável em frotas cativas de ônibus urbanos das grandes metrópoles brasileiras, visando à criação de um sistema de análise de emissões de gases de escapamento através de padrões estabelecidos pelo CONAMA 251/99.

Os ensaios para medição de opacidade foram feitos de acordo com a Norma Brasileira NBR - 13037 - Gás de Escapamento Emitido por Motor Diesel em Aceleração Livre - Determinação da Opacidade - Método de Ensaio, mediante a utilização de opacímetro[4] de fluxo parcial, com tempo de resposta de no máximo 0,4s, tempo de resposta total de 0,9 a 1,1s e câmara de medição de 430 mm de comprimento efetivo da trajetória da luz através do gás, certificado pelo INMETRO. Associado a isto, realiza-se a análise do óleo lubrificante por meio de kit da empresa SOLOTEST, que verifica as condições reais, fornecendo o diagnóstico. Para tanto, buscou-se melhorias e técnicas capazes de penetrar no mercado automotivo, conferindo os índices de emissões de opacidade dos veículos, sendo estes diretamente relacionados às condições do óleo lubrificante contribuindo, desta forma, para a redução de custo de manutenção, sendo o responsável por reduzir as emissões de poluentes e combustíveis, além de proporcionar uma melhoria no ar das grandes metrópoles.

Realizar, uma macroanálise apurada das frotas de veículos através de um *check-list*, observando as condições destas - se forem favoráveis faz-se a análise de opacidade dos gases oriundos do escapamento utilizando-se um opacímetro, e a do óleo lubrificante utilizando-se um kit para coleta e análise. Os resultados obtidos nos testes farão parte da construção de uma rede de diagnósticos, sendo implementado um banco de dados associado ao histórico de

[4] Opacímetro – instrumento que mede o grau de enegrecimento de fumaça.

manutenção dos veículos (quando possível), o que levará a traçar um plano de manutenção preditiva das frotas cativas vistoriadas.

Os índices de opacidade dos gases derivados dos veículos automotores podem ser identificados por meio de análise, obtidos com o uso de um opacímetro, de acordo com a norma NBR ABNT 13037.

Os dados analisados foram provenientes de inspeções realizadas aos sábados nas garagens das empresas de ônibus de Natal, no período de 22 de agosto de 2008 a 26 de setembro de 2009, a partir de análises de gases padronizadas pela Resolução CONAMA nº 08, e regulamentadas pela Resolução CONAMA nº 251/99, que estabelece os padrões dos índices de opacidade dos veículos movidos a óleo diesel no Brasil.

O método de abordagem adotado nesta pesquisa foi o hipotético-dedutivo. Visando atender aos objetivos propostos e comprovar a hipótese descrita anteriormente, foram delimitadas quatro fases metodológicas, detalhada a seguir:

1ª Fase - Revisão Bibliográfica: nesta fase, foram adquiridos os conhecimentos sobre o tema estudado, com o intuito de obter a base teórica para o desenvolvimento e execução da pesquisa. São abordados conceitos como: o transporte de frotas urbanas e meio ambiente, emissões veiculares, tipos de emissões, formação dos principais gases veiculares, óleos lubrificantes, fatores que influenciam a formação de contaminantes nos óleos, padrões de emissão e de óleo.

2ª Fase - Definição da Metodologia: nesta fase, foi desenvolvida a metodologia para obtenção dos níveis de análises nas seguintes etapas:

• ETAPA I – Delimitação da área de estudo;
• ETAPA II – Identificação das frotas de veículos;
• ETAPA III – Levantamento dos dados das frotas de veículos;
• ETAPA IV – Montagem do banco de dados;
• ETAPA V – Análise de emissões gasosas e de óleos lubrificantes dos veículos;
• ETAPA VI – Verificação do histórico de manutenção dos veículos;
• ETAPA VII – Interpretação das análises e criação de banco de dados.

As etapas da metodologia experimental são detalhadas no capítulo 8.

3ª Fase – Aplicação da Metodologia: nesta fase, a metodologia será avaliada por meio da interpretação dos dados.

4ª Fase – Análise de Resultados e Conclusões: obtida a metodologia e sua respectiva aplicação, são identificados os parâmetros críticos de cada análise e comparados, se possível, com o histórico de manutenção dos veículos informado pela empresa.

As informações geradas possibilitaram cruzar os parâmetros do histórico de manutenção das frotas cativas com os parâmetros de óleo e opacidade coletados - subsídios necessários para a criação de nosso banco de dados - sendo elementos fundamentais para a elaboração de um plano de manutenção preditiva de frotas cativas em áreas urbanas.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Poluição (breve histórico)

Um dos elementos que mais tem sido agredido pelo homem é o ar. Indispensável para a vida, uma vez que não se pode deixar de respirar, provavelmente não recebeu maiores atenções pelo fato de ser abundante, invisível e inodoro. Porém, ao longo da história da humanidade, suas características foram mudando.

As primeiras preocupações com a qualidade do ar apareceram na era pré-cristã. Devido ao uso do carvão como combustível, as cidades dessa época já apresentavam uma qualidade do ar aquém do desejável. Esta situação veio se agravando durante os primeiros séculos da história pós-cristã, quando os primeiros atos de controle de emissão de fumaça foram baixados na Inglaterra do final do século XIII, (Figura 1) passando pela revolução industrial e pelo crescimento das cidades.

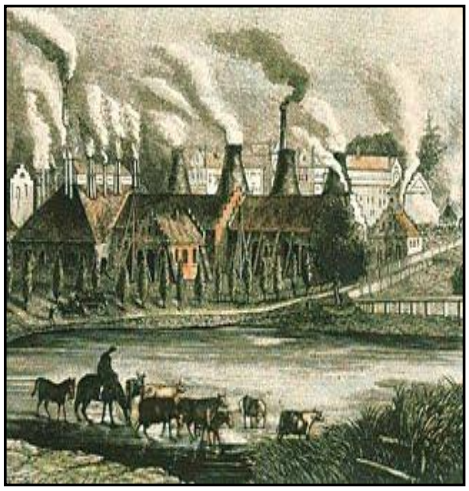


Figura 1 - Revolução Industrial na Europa

Figura 2 - Cidade de Cubatão - SP década de 1980

A poluição do ar tem sido um grave problema nos centros urbanos industrializados desde a primeira metade do século XX, com a presença cada vez maior dos automóveis que vieram a somar com as indústrias como fontes poluidoras. (Figura 2).

Alguns episódios de poluição excessiva causaram o aumento do número de mortes em cidades da Europa e Estados Unidos. Um desses episódios ocorreu em 1930, na Bélgica, numa região com grande concentração de indústrias onde condições meteorológicas

desfavoráveis, como a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes. Imediatamente foi registrado um aumento do número de doenças respiratórias e um excesso de mortes (60 mortes) até dois dias após o início do episódio.

O mais clássico e mais grave dos episódios acerca dos efeitos deletérios dos poluentes do ar foi o acontecido em Londres. Durante o inverno de 1952, um caso de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes, gerados então pelas indústrias e pelos aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como combustível, e uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre (em concentrações até nove vezes maiores do que a média de ambos), permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, levando a um aumento de 4.000 mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes.

Devido a esses e outros casos não citados, pesquisadores começaram a se reunir para tentar resolver esses problemas; o primeiro simpósio nacional de poluição do ar foi realizado na Califórnia em 1949, e em 1950, a primeira conferência em Washington.

A pesquisa sobre poluição do ar começou na Califórnia, e uma fundação técnica de meteorologia e poluição do ar foi criada com o intuito de divulgar os resultados dos estudos e assim ajudar no controle da poluição. Durante esse período, nenhuma legislação ou regulamento de poluição foi adotado em qualquer lugar do mundo, contudo, o primeiro Estado a adotar uma lei de poluição do ar nos EUA foi a Califórnia em 1947 (Boubel, 1994).

Ações de controle ambiental não integravam a pauta de discussão até aquele momento. Só a partir do início da década de 1960, foi criado um programa federal de poluição atmosférica, ligado ao Departamento de Saúde Educação e Bem-Estar Social dos EUA.

Na década de 1960, os Estados Unidos estabeleceram padrões de qualidade do ar, especificando os seis poluentes atmosféricos que seriam controlados, quais sejam: partículas totais, dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) e chumbo (Pb). A fim de efetivar esse controle, criou-se a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA).

Na Europa, o desenvolvimento de ações controladoras também foi bastante influenciado pelo episódio ocorrido em 1952 na cidade de Londres. O parlamento inglês, em 1956, atribuiu às autoridades locais o controle das áreas com maior risco de acúmulo de

fumaça preta emitida pelas chaminés das residências, obrigando a troca do sistema a carvão por eletricidade, gás ou óleo diesel.

A partir da década de 1970, o controle da poluição do ar começou a ser implementado nos projetos de fabricação de automóveis e na construção de fábricas ou usinas, em vez de se preocupar apenas com o controle posterior. Além disso, pela primeira vez foi dada uma grande atenção aos problemas causados pelo "efeito estufa", principal consequência do acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera e da destruição da camada de ozônio, em conseqüência da emissão de CFC (Boubel, 1994).

Em 1976, uma comissão de países europeus *(Comission of the European Communities-CEC),* estabeleceu padrões de qualidade do ar para SO_2, CO, NO_2, material particulado e oxidante fotoquímico. Esses padrões foram aprimorados ao longo dos anos, subsidiando as legislações dos diversos países europeus de uma maneira uniforme.

Em 1988 ocorreu em Toronto a primeira reunião entre governantes e cientistas sobre mudanças climáticas, durante a qual os cientistas advertem que, para estabilizar os crescentes níveis de dióxido de carbono (CO_2) – o principal gás-estufa – na atmosfera seria necessário reduzir as emissões em 60%.

Em 1992, no Rio de Janeiro, representantes de quase todos os países do mundo se reuniram para decidir que medidas tomar para diminuir a degradação ambiental e garantir a existência de outras gerações. A intenção, nesse encontro, era introduzir a idéia do desenvolvimento sustentável, um modelo de crescimento econômico menos consumista e mais adequado ao equilíbrio ecológico.

Esses encontros culminaram com uma reunião em 1997 na cidade de Kyoto, Japão, que estabeleceu metas para a redução da emissão de gases poluentes que intensificam o aquecimento global, com destaque para o CO_2. O ano que marcou o início efetivo do Protocolo de Kyoto foi 2005, vigorando a partir do mês de fevereiro.

O Protocolo de Kyoto propõe um calendário pelo qual os países-membros (principalmente os desenvolvidos) têm a obrigação de reduzir, no período entre 2008 e 2012 - também chamado de *primeiro período de compromisso* -, a emissão de gases do efeito estufa em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990.

A redução dessas emissões deverá acontecer em várias atividades econômicas e os países participantes devem cooperar através de algumas ações básicas como reformas nos setores de energia e transportes, promovendo o uso de fontes de energias renováveis, limitando emissões gasosas e protegendo florestas e outros sumidouros de carbono. As metas de redução não são iguais em todos os países, havendo níveis diferenciados para os 38 maiores emissores de gases.

Países em franco desenvolvimento não receberam metas de redução, pelo menos momentaneamente. Os elevados custos recairiam principalmente sobre os países desenvolvidos, em especial os Estados Unidos.

Se o Protocolo de Kyoto for implementado com sucesso, estima-se que a temperatura global reduza entre 1,4°C e 5,8°C até 2100**.**

Na Figura 3 é apresentado um mapa mundial onde pode ser observado os países que aderiam ao protocolo de Kioto.

Figura 3 - Configuração mundial dos países que aderiram ao Protocolo de Kioto.

Quase todos os países desenvolvidos que fazem parte do Protocolo de Kyoto já apresentaram propostas sobre o quanto pretendem reduzir suas emissões de gases do efeito estufa para o segundo período de vigência do acordo climático, que começa em 2013.

O Brasil, por ser considerado um país em desenvolvimento, está isento de metas compulsórias no Protocolo.

2.2 Emissões de veículos.

2.2.1 Poluição com motorização diesel

A poluição atmosférica é a presença de materiais estranhos no ar. Tudo que pode ser vaporizado ou transformado em pequenas partículas, de modo que possa flutuar no ar, deve ser classificado como poluente potencial (Brito, 2005). Quando existe uma alteração na composição ou nas propriedades do ar atmosférico causadas pela ação do homem, e que gerem a emissão de poluentes em concentrações nocivas e inconvenientes à saúde e ao meio ambiente, diz-se que o ar está poluído (Brito, 2005).

Figura 4 - Poluição atmosférica.

Nos centros urbanos, um grande colaborador para o aumento da poluição atmosférica são os veículos, (Figura 4) os quais são equipados com motores de combustão interna, que podem ser classificados em duas amplas categorias: os motores de ignição por faísca - motores movidos a gasolina e a álcool ou gás natural (ciclo otto) -, e motores de combustão espontânea, movidos a óleo diesel (ciclo diesel).

As principais diferenças, no que tange ao funcionamento destes motores, dizem respeito à robustez, às relações de compressão de ambos, ao sistema de introdução de combustível e à ignição. Enquanto nos veículos movidos do ciclo otto as emissões se dividem entre o escapamento, o cárter, o carburador (quando for o caso) e o tanque de combustível,

nos veículos movidos a diesel elas praticamente se concentram no escapamento, com predominância de material particulado orgânico sob forma de fumaça (DENATRAN, 2008).

As emissões de escapamento são os subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento. Os produtos da combustão completa são CO_2, H_2O e N_2, da combustão incompleta são CO, HC, aldeídos (R-CHO) e NO_x, e ainda há os produtos indesejáveis, como material particulado e SO_x (mais expressivos em motores de ciclo diesel) (Balassiano, 1991). A formação de SO_x deve-se ao conteúdo de enxofre presente nos combustíveis.

Os compostos de emissão, tanto dos motores a diesel quanto a gasolina ou de combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde, ou seja, O_2, CO_2, H_2O e N_2; e os que apresentam perigos à saúde, sendo esses subdivididos em compostos cuja emissão está regulamentada, que são: CO, os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP); e aqueles que ainda não estão sob regulamentação: aldeídos, amônia, benzeno, cianetos, tolueno e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HPA).

A exaustão diesel, entretanto, é muito mais complexa, sendo composta por três fases: sólidos, líquidos e gases. A operação em condições oxidantes das máquinas diesel, que contribui para uma boa economia de combustível resulta, comparativamente com motores a gasolina, em menor produção de CO_2, num processo de combustão operando em temperaturas mais baixas com formação e, consequentemente, emissão de menor quantidade de NO_x, CO e hidrocarbonetos (HC). Entretanto, esse processo também resulta em elevados níveis de emissão de material particulado (MP) e de compostos responsáveis pelo odor característico da emissão diesel, sendo a emissão desses últimos altamente críticos durante condições de operação em baixo nível de temperatura.

Sob a denominação geral de MP se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

Os hidrocarbonetos das emissões a diesel são, em média, muito mais pesados que os das emissões a gasolina; além disso, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e seus derivados alquílicos, que porventura estejam presentes no diesel, podem resistir ao processo de combustão, volatilizando-se e escapando para a atmosfera pela exaustão.

Cabe ressaltar ainda que outro fator importante sobre a composição das emissões de uma máquina a diesel é a maneira como ela é operada.

2.2.2 Testes de performance

A fim de se monitorar adequadamente os níveis de emissão dos veículos, vários procedimentos foram criados, chamados “testes de performance”. Para a monitoração do nível de material particulado emitido pelos motores do ciclo diesel dois métodos podem ser utilizados: o primeiro é o Método de Ringelmann que consiste em comparar visualmente a escala padrão, dividida em tons de cinza, com a coloração da fumaça de exaustão durante a aceleração do veículo.

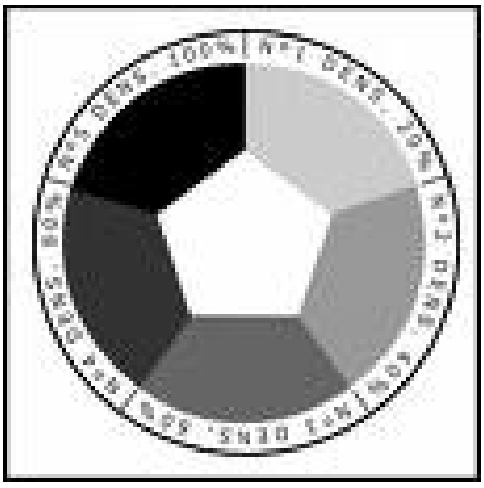


Figura 5 - Escala Ringelmann **Figura 6 - Teste Visual**

A Escala de Ringelmann tem cinco gradações de cinza, indo do branco total, o zero = 0%; 1 = 20%; 2 = 40%; 3 = 60%; 4 = 80%; e, finalmente o 5 = a 100%, representando neste caso, o preto total. Essas gradações representam a quantidade de negro existente em cada uma.

A Escala de Ringelmann foi a referência para a fiscalização rodoviária e urbana, da emissão de fumaça no Brasil, antes do aparecimento do opacímetro, sendo o nº 2 o máximo permitido pela resolução 510/77 do CONTRAN.

A maior vantagem da Escala de Ringelmann é sua simplicidade; seu custo apresenta uma vantagem questionável, uma vez que a subjetividade de seus resultados gera dúvidas e, consequentemente, gastos diretos e indiretos, seja com ações judiciais, seja com capacitação de mão de obra.

O outro método compara a absorção de luz pela fumaça com a obtida pela passagem da luz por um tubo semelhante, preenchido apenas com ar. Para isso, utiliza-se um aparelho chamado opacímetro (Figura 7), que mede o grau de enegrecimento da fumaça.

O equipamento é montado no escapamento do veículo para medição de fumaça. A fumaça é captada pela sonda instalada no escapamento e levada à câmara de medição, onde existem um emissor de luz e um receptor; o facho de luz é interceptado pela fumaça e, assim, é medida a opacidade, sendo processada a aferição. (Figura 8)

Figura 7 - Opacímetro

Figura 8 - Teste de Opacidade

2.3 Princípio de funcionamento de registradores de opacidade.

Outra forma para análise da emissão de fumaça é a filtragem, método pelo qual se aspira um volume dos gases de escape com uma bomba, e os faz passar por uma tira de papel filtro, onde ficam retidas as partículas. O grau de "enegrecimento" do filtro pode ser analisado através de um fotômetro refletivo - normalmente os resultados são mostrados como um número de fumaça Bosch ou uma concentração de massa (mg/cm^3) ou, ainda, podem ser comparados visualmente através da chamada "Escala Bacharach". A coleta dos gases de

escapamento é realizada em aceleração livre (com o câmbio engrenado na posição neutra) em carga constante.

Existem dois tipos de analisadores da emissão de partículas com base na opacidade dos gases de escape: os de fluxo parcial e os de fluxo total, que se distinguem pelo método de coleta da amostra.

No opacímetro de fluxo total são recolhidos todos os gases de escape, que posteriormente serão analisados. A medição da opacidade é feita por um estreito feixe de luz que é emitido na direção perpendicular à direção do gás de escape, como mostra a Fig. 9.

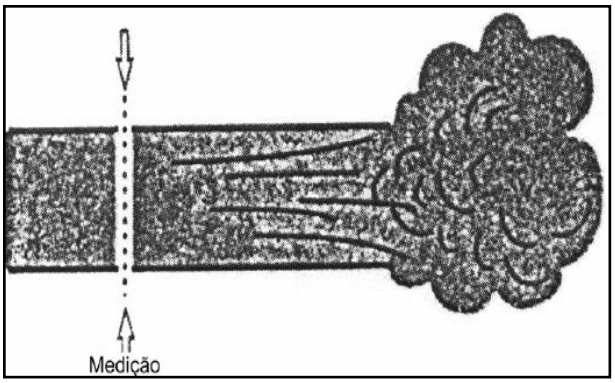


Figura 9 – Método de medição da opacidade com um opacímetro de fluxo total

No opacímetro de fluxo parcial, é recolhida uma amostra do gás de escape, sendo posteriormente analisada, como mostra a Figura 10. A amostra do gás de escape é atravessada por uma luz cuja intensidade de radiação será medida de acordo com as partículas existentes no gás de escape, a radiação emitida será enfraquecida por dispersão nas partículas e por absorção no interior das mesmas.

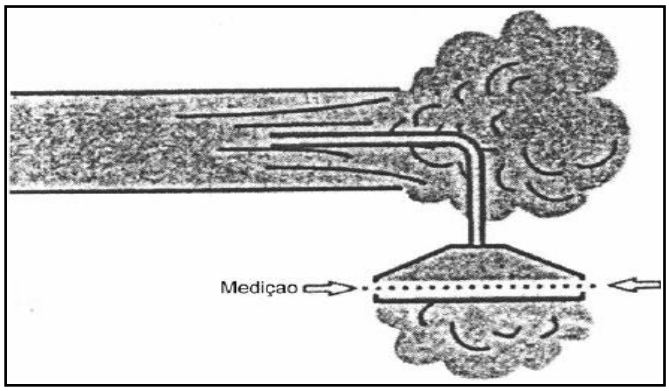


Figura 10 - Método de medição da opacidade com um opacímetro de fluxo parcial

A diferença de intensidade entre a luz emitida e a luz recebida, após atravessar os gases de escape, determina a quantidade de partículas existentes nos gases de escape, ou seja, a opacidade. O coeficiente de absorção k é o mais utilizado para a medição de opacidade, expresso em m^{-1}. O valor de k corresponde à variação da intensidade luminosa que é emitida na câmara de medição, e à que alcança o receptor depois de atravessar a amostra do gás de escape a medir. Atualmente no Brasil, a legislação vigente normaliza a utilização do opacímetro, que é montado no escapamento do veículo para a medição de fumaça através da absorção de luz.

Durante a aceleração sem impedimento, parte do gás é direcionada pela tubulação de escapamento do veiculo, através de uma sonda de amostra, para a câmara de medição. Com a temperatura e a pressão controladas evita-se que os resultados dos testes sejam afetados pela contrapressão do gás de escapamento e suas flutuações.

A luz emitida por um díodo de led[5] verde (2) de alta eficiência é concentrada por um sistema ótico (7) que produz um raio luminoso. Este raio passa através da câmara de medição e chega até o elemento fotossensível (fotodíodo - 8). Dois espaços vazios, em ambos os lados da câmara de medição, são atravessados por correntes forçadas de ar limpo (entrada de ar), que evitam que impurezas transportadas pelos gases fiquem depositadas nos elementos óticos (projetor ou fotodíodo), o que poderia perturbar a medição. Duas janelas transparentes (3) fornecem uma proteção adicional aos elementos óticos. As amostras do gás de escape são tiradas da saída do escape e direcionadas à câmara de medição (entrada de gases). O feixe de luz fornecido pelo led[6] (2) representa a intensidade luminosa, que é enfraquecida pela quantidade de partículas existentes nos gases na câmara de medição. Após atravessar o gás de escape, que é finalmente recebido pelo elemento sensível à luz (fotodíodo - 8), é utilizada para o cálculo do valor da opacidade. (Figura 11) A quantidade de luz recebida é inversamente proporcional à concentração de gases na câmara, ou seja, quanto maior a quantidade de luz recebida pelo fotodíodo, menor é a quantidade de partículas existente nos gases na câmara de medição.

[5] Led - Díodo emissor de luz, também conhecido pela sigla em inglês LED (*Light Emitting Diode*). Sua funcionalidade básica é a emissão de luz.

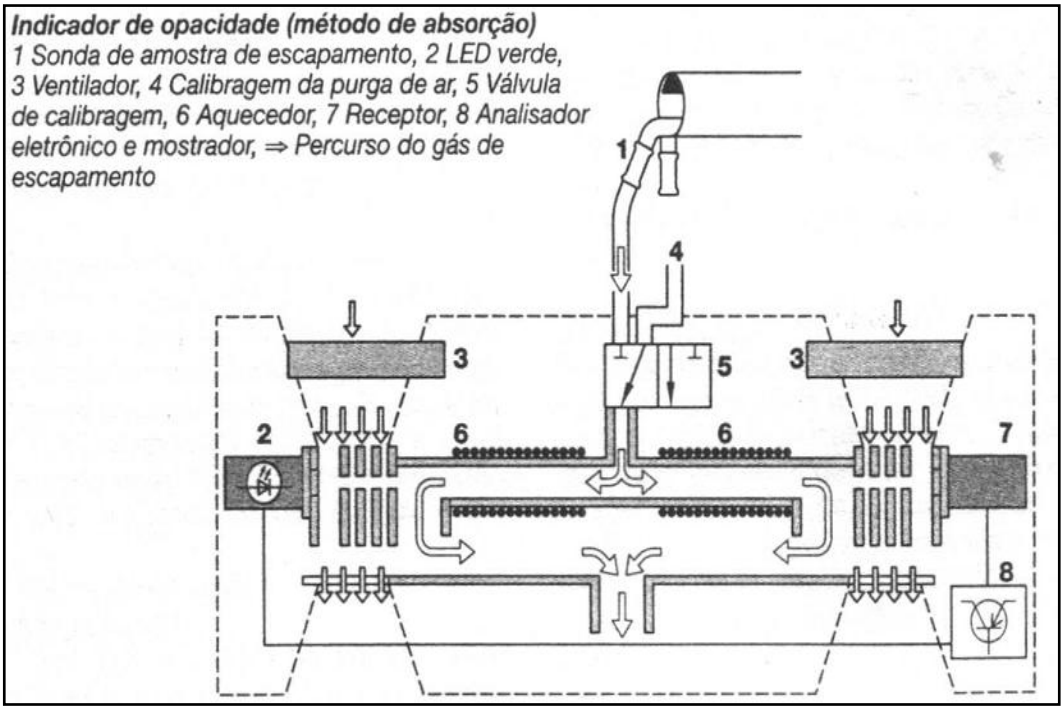


Figura 11 - Indicador de opacidade (método de absorção)

Dentro da câmara de medição a fumaça é penetrada por um feixe de luz, a atenuação da luz é medida fotoeletricamente e indicada como coeficiente de absorção de luz (k) que é calculado pela fórmula (1):

$$K = \left({}^{1}/_{L}\right).\ln\left({}^{I_0}/_{I}\right) \quad (1)$$

Onde:

I_0 = Intensidade luminosa incidente na célula fotoelétrica quando a câmara de medição é preenchida por ar limpo;

I = Intensidade luminosa incidente na célula fotoelétrica quando a câmara de medição é preenchida com gás de escapamento;

L = Comprimento efetivo da trajetória da luz através do gás (m).

A relação entre a escala de escurecimento ou opacidade (de 0 a 100) e o coeficiente de absorção de luz é dada pela fórmula (2) de Beer-Lambert:

$$K = -\left({}^{1}/_{L}\right).\ln\left({}^{1-N}/_{100}\right) \quad (2)$$

Onde:

N = opacidade (%);

k = coeficiente de absorção de luz (m^{-1}).

O alto grau de precisão e a possibilidade de repetição dos resultados do teste requerem que o comprimento da câmara seja definido precisamente e que as janelas ópticas sejam mantidas livres de fuligem através de cortinas de ar, segundo ABNT NBR 12897. A distância que vai da proteção da fonte de luz (ar ou lente) até a proteção do receptor pode ser determinado pela fórmula (3):

$$L = L_0 \cdot \frac{(t+273)}{(t_0+273)} \cdot \frac{\log(1-N/100)}{\log(1-N/100)} \quad (3)$$

Onde:

L_0 = Comprimento efetivo do opacímetro de referência (m);

N_0 = Leitura do opacímetro de referência (% da opacidade);

t_0 = Temperatura da câmara de fumaça do opacímetro de referência (°C);

N = Leitura do opacímetro do qual se deseja conhecer o comprimento efetivo L (% da opacidade);

t = Temperatura na câmara do opacímetro do qual se deseja conhecer o comprimento L (°C).

Durante os testes, a medição e a exibição são um processo contínuo onde o analisador envia as informações para um computador, que determina automaticamente o valor máximo e calcula a média a partir de vários pulsos de gás. (Figura 12)

Figura 12 - Informações da tela do computador durante a medição.

Segundo a NBR 13037 os valores de opacidade obtidos a partir da quarta medição, desprezando-se as três primeiras, devem ser analisados e só podem ser considerados quando, em quatro medições consecutivas, a diferença entre o valor máximo e o mínimo não for maior que 0,25 m^{-1} e estes não estiverem em ordem decrescente. O resultado do ensaio é a média aritmética dos quatro valores consecutivos selecionados.

2.4 Método de Análises do teste de opacidade

O valor de opacidade é um valor indicativo da qualidade da combustão. Um valor de opacidade acima do indicado pelo fabricante demonstra que o funcionamento do motor não esta com a queima completa de combustível, provocando uma combustão com pouca qualidade e a emissão de partículas superior ao recomendado.

Os vários fatores que influenciam a combustão, logo a emissão de partículas são:

a) Quantidade de ar admitida pelo motor

Os motores a diesel funcionam com um excesso de ar para permitir uma boa combustão. Se a quantidade de ar admitida pelo motor diminui, a combustão não se dá nas melhores condições, pois existe um excesso de combustível.

As causas que provocam a diminuição da quantidade de ar admitida pelo motor são:

- O filtro de ar que se encontra sujo, de modo a que provoque uma grande perda de carga do ar admitido;
- A pressão de admissão diminui devido à perda de eficácia do turbocompressor, em função das eficiências na sua lubrificação, perdas de estanqueidade na turbina e entrada de corpos estranhos;
- Existem fissuras ou obstruções nos coletores de admissão e de escape.

b) Quantidade e modo de pulverização do combustível.

As possíveis causas que alteram a quantidade e o modo de pulverização do combustível para a câmara de combustão são:

- Funcionamento defeituoso dos bicos injetores;
- Pressão de injeção incorreta;
- Fuga de combustível nos tubos que o transportam a alta pressão para os injetores;
- Pressão de retorno incorreta;

- Pulverização incorreta do combustível devido à obstrução parcial ou total dos orifícios de pulverização dos injetores.

c) Avanço incorreto da injeção de combustível

d) Estado do motor

- Falta de compressão nos cilindros;
- Segmentos com desgaste ou mesmo partidos;
- Válvulas com desgaste;
- Guias das válvulas com desgaste.

3 MOTOR DIESEL

O motor a diesel ganha o nome de seu inventor, Rudolf Diesel, um engenheiro alemão que começou seu trabalho tentando queimar poeira de carvão, em 1893, e realizou seu primeiro ensaio em 1897, com um motor fabricado pela MAN.

No ano de 1900 o motor a diesel foi apresentado ao mundo na Exposição Universal de Paris, já utilizando óleo de amendoim, de peixe e petróleo, filtrado como combustível.

O início da Primeira Guerra Mundial levou a um súbito interesse e com a expiração das patentes alemãs iniciou-se a produção em grandes quantidades, principalmente nos Estados Unidos. Com o avançar dos anos, melhorias nos métodos de fabricação e materiais utilizados resultaram em motores mais leves e de maior potência.

3.1 Funcionamento

A principal característica distintiva do motor diesel é o princípio da ignição por compressão. Em vez de depender de uma faísca próximo ao final do processo de compressão para inflamar uma pré-mistura totalmente gasosa de ar-combustível em aproximadamente proporções estequiométricas, como na categoria denominada de motores de ignição por faísca (SI – *Spark Ignition*), o motor de ignição por compressão (IC) opera com uma mistura heterogênea de ar previamente comprimido e um spray de combustível líquido.

O último é injetado próximo ao final da compressão quando, após uma intensa mistura com o ar já no cilindro, a propriedade de autoignição do combustível causa a combustão iniciada a partir de pequenos núcleos. Estes se espalham rapidamente para que haja a queima completa de todo o combustível injetado, normalmente com proporções de ar bem maiores que as de combustível para assegurar a queima.

O processo de mistura é crucial para o funcionamento do motor a diesel e, como tal, tem recebido grande atenção no que se diz a respeito da grande variedade de sistemas de combustão (Challen, 1999).

3.2 Processo de combustão

O início da injeção (consequentemente, o da formação da mistura) e o início da reação exotérmica (o da ignição) são separados por certo período de tempo, chamado de retardo de ignição. O atraso real é definido por:

- Qualidade da ignição do combustível (número de cetano)

- Pressão do final da compressão (coeficiente de pressão, fator de reforço)

- Temperatura do final da compressão (coeficiente de compressão, temperaturas do componente, interarrefecimento)

- Sistema de controle do combustível

O processo de combustão, que começa no início da ignição pode ser subdividido em três fases. Na fase de "chama pré-misturada", o combustível injetado antes do início da ignição e misturado com o ar é queimado. O combustível injetado depois do início da ignição queima em uma "chama de difusão".

A parte do combustível queimado como uma chama pré-misturada muito rápida é primariamente responsável pelo aumento de pressão, sendo assim a causa principal do ruído de combustão e dos óxidos de nitrogênio. A chama de difusão, com queima mais lenta, é a fonte principal de particulados e hidrocarbonetos não queimados.

A terceira fase, final de injeção, fuligem formada principalmente durante a segunda fase é oxidada. Esta fase está se tornando cada vez mais significativa em processos de combustão modernos.

A liberação de calor de um motor a diesel depende do próprio processo de combustão, e também, em grande parte, do início da injeção, taxa de injeção e da pressão máxima de injeção. Nos motores a diesel com injeção direta, o número de orifícios de injeção no injetor é outro fator crucial. Além disso, o sistema de injeção de combustível requer uma capacidade de pré-injeção (injeção-piloto), para reduzir o ruído da combustão e assegurar que a fase de injeção principal comece o mais cedo possível. Isso reduz o consumo de combustível para os níveis definidos de emissões de óxido de nitrogênio.

3.3 Sistemas de injeção

No processo de combustão diesel o combustível é sempre injetado diretamente na câmara de combustão com uma pressão do lado do injetor de 200 até maior que 2.000 bar. No caso de motores de injeção indireta, o combustível é injetado com pressão relativamente baixa de até 350 bar. Atualmente, injeção direta é o processo mais comum, no qual se injeta (com índices superiores a 2.000 bar).

Função principal do gerenciamento de motor

A função principal do gerenciamento de motor é ajustar o torque gerado pelo motor ou, em algumas aplicações, ajustar uma determinada rotação dentro da faixa de funcionamento permitida (p. ex. marcha lenta). No motor a diesel o tratamento do gás de escape e a redução de ruído são feitos em grande parte dentro do motor, ou seja, controlando o processo de combustão. Isso também é feito pelo gerenciamento de motor alterando as seguintes grandezas:

- Enchimento do cilindro (superalimentação);

- Condicionamento da temperatura do enchimento do cilindro no tempo de aspiração;

- Composição do enchimento do cilindro (realimentação do gás de escape);

- Movimentação da carga (turbilhonamento da entrada);

- Ponto de injeção;

- Pressão de injeção;

- Formação da curva de injeção (p. ex. pré-injeção, injeção dividida, etc.).

Até os anos de 1980, a injeção em motores de veículos, ou seja, o débito e o início da injeção era regulado mecanicamente. Habitualmente o débito é variado por uma hélice-comando no pistão ou uma bucha de acordo com carga e rotação. O início da injeção/débito é ajustado na injeção mecânica em função da rotação e da carga através de reguladores de pesos centrífugos (dependendo da rotação) ou hidraulicamente controlando a pressão.

A legislação de controle de emissões exige uma regulagem muito precisa do débito e início do débito, dependente de grandezas como temperatura, rotação, carga, altitude, etc. Isso

só pode ser realizado eficientemente com uma regulagem eletrônica. Essa forma obteve resultados satisfatórios não apenas no campo automotivo. Somente com ela é possível o monitoramento contínuo das funções relevantes às emissões do sistema de injeção, o que também é exigido pelo legislador com um diagnóstico *on-board*.

A regulagem do débito e início da injeção ocorre nos sistemas *Electronic Diesel Control,* EDC através de válvulas magnéticas de baixa ou alta pressão ou outros atuadores elétricos. O controle da curva de injeção, ou seja, a quantidade injetada por grau da árvore de manivelas ocorre via servo-válvulas ou controle do curso da agulha.

Particularidades

Um sistema de injeção é composto de um estágio de baixa e um de alta pressão. As diferenças específicas entre eles serão descritas para os diferentes sistemas de injeção nas respectivas seções.

Primeiro será descrita a regulagem mecânica e eletrônica em geral. A regulagem mecânica é utilizada exclusivamente para bombas PF (bomba injetora individual com acionamento externo), em linha e bombas distribuidoras de pistão axial. Existem muitos reguladores e grupos de adaptação que são requisitados para bombas em linha e distribuidoras, dependendo da aplicação. A regulagem mecânica sempre é uma meta em relação à regulagem eletrônica, pois essa ultima é mais precisa, permite levar em conta muitas grandezas de influência e possibilita a adaptação contínua das grandezas de ajuste. As vantagens são:

- Consumo menor de combustível, menores emissões, maior potência e torque através de regulagem de débito melhorada e início de injeção mais preciso;

- Rotação de marcha lenta mais baixa e constante, e adaptação da rotação de marcha lenta para componentes adicionais (p. ex. ar condicionado);

- Funções de conforto melhoradas, como amortecimento de solavancos, regulagem de suavidade de marcha ou regulagem de velocidade;

- Melhores possibilidades de diagnóstico;

- Funções de controle e regulagem adicionais, como regulagem da pressão de sobrealimentação, controle do tempo de incandescência, recirculação dos gases de escape (EGR), tratamento posterior do gás de escape, imobilizador eletrônico;

- Troca de dados com outros sistemas eletrônicos, como controle de tração (ASR), controle eletrônico do câmbio e, com isso, integração com o sistema geral do veículo;

- Regulagem eletrônica do débito, chamada "*drive by wire*", isto é, não existe mais conexão direta entre pedal do acelerador e bomba injetora.

Para motores a diesel de veículos são usados os seguintes sistemas de injeção:

Injeção direta (DI)

Em motores em que são utilizados DI, o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão formada no cilindro. (Figuras 13 e 14).

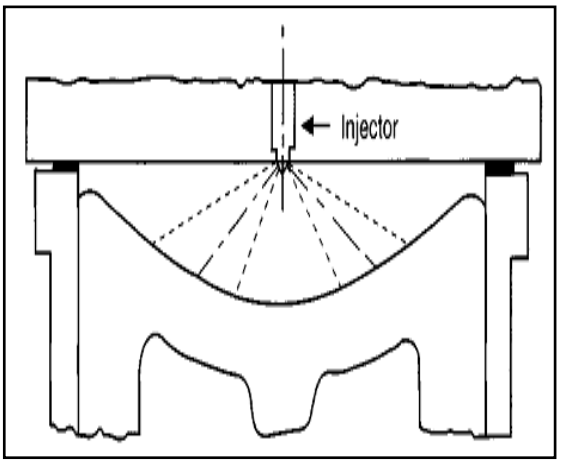


Figura 13 – Injeção de combustível na câmara de combustão.

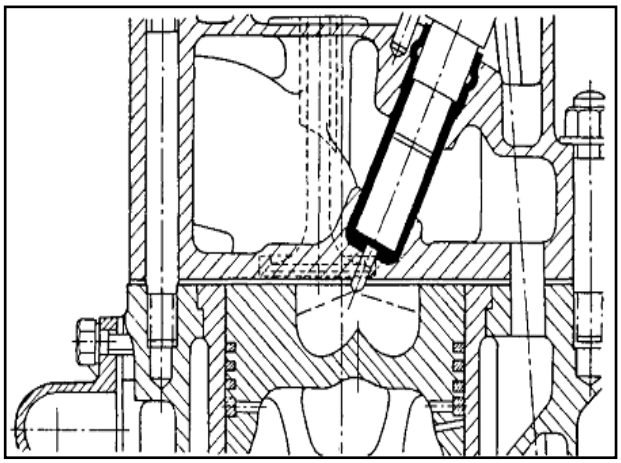


Figura 14 – Sist. de alto turbilhonamento de ar.

Em tais sistemas, a mistura é formada pelo movimento do ar e pela turbulência produzida pelo duto de admissão (turbilhonamento) e movimento do pistão (turbulência), assim como pelo jato de injeção. Com o surgimento de pressões de injeção cada vez mais altas, a influência da formação de mistura controlada por jato é crescente, alinhada com a diminuição da importância de sistemas baseados em turbilhonamento.

Processo de combustão de baixo turbilhonamento

Pressões de injeção de até 2.000 bar possibilitam o aumento do número de orifícios em injetores com múltiplos orifícios para 8 a 9, mantendo, ao mesmo tempo, o padrão necessário de propagação de pulverização na área das paredes do recesso do pistão. Isso permite reduzir o turbilhonamento de ar, utilizando, simultaneamente, o efeito positivo sobre o design dos tubos de admissão e eficiência de troca de gás.

Processo de combustão com turbilhonamento

A energia de formação de mistura dos jatos de injeção, isoladamente, não é suficiente para uma preparação de mistura suficientemente uniforme e rápida para motores a diesel de alta rotação, com amplas faixas de velocidade operacional e pequenos volumes eliminados, usados com maior freqüência em carros de passeio e veículos comerciais leves. O fluxo de ar no interior da câmara de combustão é necessário porque os diâmetros dos cilindros tornam inevitável o choque do combustível contra a parede da câmara de combustão.

Os pistões distintamente são mais estreitos na extremidade superior, a fim de criar uma alta turbulência da folga do pistão, por um lado, e para acelerar o turbilhonamento da carga de ar induzida pelo design dos dutos de admissão, por outro. A velocidade total de turbilhonamento da massa de ar dentro do cilindro, atingida deste modo, é selecionada para assegurar que os setores localizados entre os jatos de injeção sejam cobertos durante o tempo de injeção.

Se a mistura de ar/combustível não encher totalmente o segmento da câmara de combustão, tanto a utilização de ar quanto o rendimento de potência serão prejudicados. Por outro lado, se houver uma sobreposição e a mistura ar/combustível se estender além do espaço entre os eventos individuais de injeção, o sobre-enriquecimento local de combustível resultante provocará uma maior produção de fuligem.

Injeção indireta (IDI)

Em motores em que são utilizados IDI, o combustível é injetado em uma pré-câmara que se comunica através de uma estreita passagem de ar com o cilindro. A rápida transferência de ar do cilindro principal para a pré-câmara permite uma mistura mais homogênea.

Sistema de câmara de turbilhonamento.

Este processo apresenta uma pré-câmara quase esférica, compreendendo aproximadamente 50% do volume total de compressão, e localizada na extremidade da câmara de combustão principal. A pré-câmara é conectada ao cilindro por uma passagem que entra na câmara principal em um ângulo direcionado para o centro do pistão. A câmara de turbilhonamento aloja o injetor e a vela incandescente (medida de assistência para partida). O curso do compressor gera um vórtice intenso de ar na câmara de turbilhonamento. (Figuras 15 e 16)

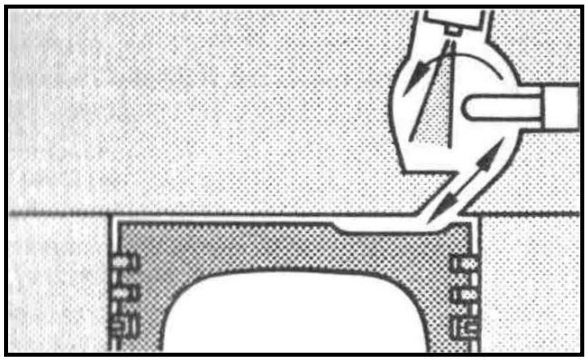


Figura 15 - IDI – câmara de turbilhonamento (BOSCH, 2005)

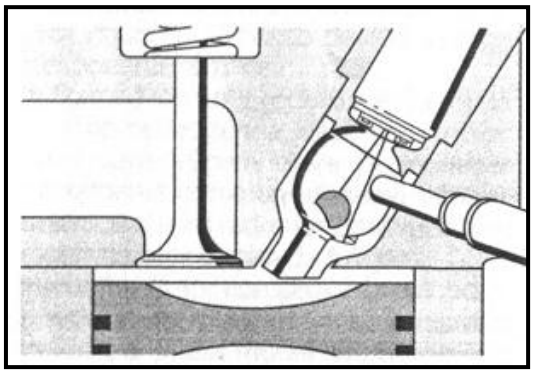


Figura 16 - IDI – Sistema de pré-câmara – (BOSCH, 2005)

4 PROPRIEDADES DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES

Os primeiros lubrificantes eram de origem animal, mas com o passar do tempo, o homem foi aperfeiçoando e criando novos inventos, e por necessidade, os lubrificantes foram evoluindo também, passando a ter bases de origem vegetal, mineral e sintética.

Atualmente, os lubrificantes modernos de alto desempenho têm uma atuação muito mais importante do que simplesmente reduzir o atrito e o desgaste. Os lubrificantes de última geração podem também controlar a formação de depósitos, contaminantes suspensos, proteger da corrosão, limpar componentes e manter a temperatura de operação correta. De um modo geral, considerando o tipo de base utilizada na produção, os lubrificantes podem ser divididos em três categorias: minerais, sintéticos e semissintéticos.

Os óleos lubrificantes mais utilizados são os de origem mineral. Estes são constituídos por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, provenientes do refino do petróleo cru e representam cerca de 2% dos derivados de petróleo, sendo um dos poucos produtos que não são totalmente consumidos durante seu uso.

Torna-se evidente a importância de se analisar o óleo lubrificante na avaliação do estado geral dos motores a diesel. O óleo lubrificante atende a uma quantidade de horas de funcionamento do motor, durante as quais recebe continuamente um acúmulo de contaminantes formados da própria deterioração e das impurezas dos produtos contidos no ar atmosférico, ocasionando o desgaste natural dos aditivos usados em sua composição. Encontrado em Bouman (apud Silva, 2007).

Uma possível diluição por combustível causaria a diminuição da viscosidade do óleo do cárter. Em contrapartida, a contaminação por água torná-lo-ia mais viscoso (Caines e Haycock, 1996). Adicionalmente, as quantidades de elementos metálicos indicariam o desgaste dos componentes do motor, tornando o filtro de óleo saturado, deteriorando o óleo e impedindo-o de desempenhar com eficiência a lubrificação e o resfriamento das peças rolantes do motor.

4.1 Classificação dos óleos lubrificantes.

Os óleos básicos podem ser classificados, primariamente, como minerais ou sintéticos, em função da fonte ou do processo pelo qual são produzidos. Os óleos minerais são obtidos

através da destilação e do refino do petróleo sendo classificados em parafínicos ou naftênicos, dependo do tipo de hidrocarboneto predominante em sua composição.

Os óleos básicos sintéticos são produzidos através de reações químicas, onde se busca obter produtos com propriedades adequadas às funções lubrificantes. Em geral, os básicos sintéticos têm como vantagens sobre os básicos minerais, maior estabilidade térmica e uma maior resistência à oxidação, melhores propriedades a baixas temperaturas e menor volatilidade. Em contrapartida, os básicos minerais são muito mais baratos do que os sintéticos.

Os óleos lubrificantes automotivos são classificados com base em duas especificações que retratam seu desempenho nos motores. A primeira é a especificação de viscosidade que é definida através da Norma J300 da SAE. Essa norma classifica os óleos lubrificantes por graus de viscosidade, em função de resultados obtidos em diversos ensaios, realizados numa ampla faixa de variação de temperatura.

Para os graus que possuem a letra W (Winter - inverno), recomendados para as regiões que possuem invernos rigorosos, em geral são óleos de viscosidade mais baixa, por exemplo, 5W30, enquanto que em países tropicais são recomendados óleos de viscosidade mais alta como 20W50. Como pode ser observado na figura 17 demonstra-se as várias classificações dos óleos e as suas respectivas faixas de temperatura.

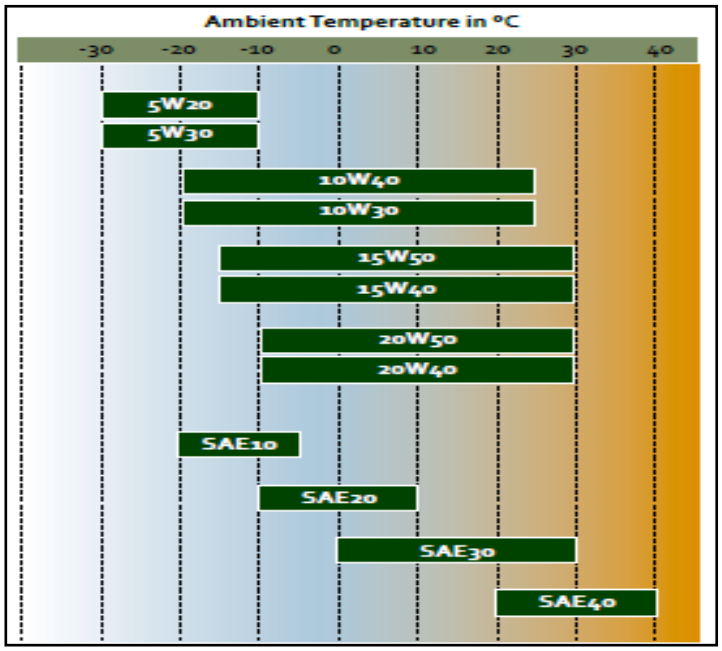


Figura 17 – classificação dos óleos SAE

A outra classificação de óleos lubrificantes automotivos se refere ao nível de desempenho em motores. Existem várias entidades que estabelecem normas para a classificação de desempenho como a API (EUA), a ACEA (Europa) e a JASO (Japão).

A classificação API é a mais aceita internacionalmente e estabelece uma codificação que, em geral, é constituída por duas letras. A primeira, que pode ser S ou C representa a aplicação automotiva. O S (*Spark Ignition ou Service*) se refere a óleos para motores do ciclo otto (veículos leves a gasolina, etanol ou gás natural), enquanto que o C (*Compression Ignition ou Commercial*) se refere a óleos para motores do ciclo diesel.

A segunda letra indica o desempenho do óleo, o que é definido através de ensaios em motores estabelecidos pela ASTM, que têm como objetivo garantir a proteção dos motores em termos de desgaste e da formação de depósitos em diversas condições de operação. Tais condições englobam os regimes em baixas rotações e baixas cargas, verificadas logo após a partida dos motores, principalmente em regiões de clima frio, etc.

Acompanhando a evolução dos óleos lubrificantes, as classificações API para motores do ciclo otto começaram com a letra A, ou seja, API SA e evoluíram para as letras subseqüentes ao A, ou seja, SB, SC, SD... SH e 5M, que é a classificação mais atual e rigorosa da API para esse produto. De forma similar, para motores a diesel, temos as classificações CA, CB, CC,... CG-4 e CH-4. Nessas últimas classes, o número 4 se refere a motores a diesel de 4 tempos. Cabe ressaltar que, em geral, as classificações mais recentes substituem as anteriores, de forma que pode ser usado um óleo API SJ no lugar de um SH ou SG, etc., mas não o contrário.

Os critérios para aprovação de óleos lubrificantes sofreram uma mudança significativa a partir da adoção do Código de Condutas da *Chemical Manufactures Association*, conhecido como CMA *Code of Pratice*. Trata-se de uma série de orientações que visam garantir que um óleo que obtenha aprovação segundo suas orientações, efetivamente atenda às especificações informadas no rótulo do produto. Desse modo, as aprovações API, a partir de SH para os carros leves e CF para os veículos pesados, exigem que todo processo de aprovação siga os critérios do CMA *Code*, o que inclui várias orientações, tais como o registro dos produtos e dos ensaios, critérios de intercambialidade de básicos em produtos aprovados, critérios de extensão de aprovações para outros graus de viscosidade, tratamento estatístico dos resultados, etc.

O rótulo dos lubrificantes contém, necessariamente, as classificações SAE e API do produto comercializado, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados básicos do óleo lubrificante utilizados nos motores a diesel.

Característica	Descrição
Classificações	SAE 15W-40, API CG-4
Aparência	Cor marrom, translúcido
Designação	Óleo lubrificante para motores a diesel
Odor	Odor de petróleo
Massa específica a 20 ºC	0,88 g/cm^3
Viscosidade a 40 ºC	14,3 mm^2/s (100 ºC)
Ponto de fluidez	- 33 ºC
Ponto de fulgor (vaso aberto Cleveland)	210 ºC
Solubilidade	Solúvel em hidrocarboneto; insolúvel em água
Composição	Óleo mineral altamente refinado (70-100% massa) Alquil-ditiofosfato de zinco (1-5% massa)

FONTE: IPIRANGA, Brasil, 2007, 44p.

Os óleos lubrificantes automotivos têm como principal função evitar ou minimizar o desgaste de superfícies com movimentos relativos. Na sua composição estão presentes, além das bases lubrificantes, os aditivos que conferem ao produto propriedades adequadas para um bom desempenho, estes aditivos devem ser compatíveis com os óleos básicos, a fim de tornar as características do lubrificante equilibradas. Os tipos de aditivos utilizados determinam os diferentes tipos de lubrificantes e suas aplicações.

4.2. Componentes

Aditivos

São substâncias químicas que conferem ao lubrificante propriedades adicionais como resistência à oxidação, detergência, dispersância, proteção contra ferrugem e corrosão, resistência a extrema pressão e formação de espuma, melhor índice de viscosidade, maior adesividade, demulsibilidade, etc.

Resistência à oxidação

Este aditivo procura interromper a cadeia de reações entre o oxigênio e os hidrocarbonetos componentes do óleo, evitando, ou pelo menos diminuindo consideravelmente a formação de borras e de substâncias aciduladas. Funcionam também no sentido de impedir a ação catalítica dos metais que tendem a acelerar a oxidação do lubrificante. A oxidação prevenida é a do próprio lubrificante e não a do elemento mecânico lubrificado.

Detergentes

A detergência, no que se refere aos óleos lubrificantes tem a função de manter em suspensão partículas insolúveis ao óleo, impedindo a deposição das mesmas em partes do motor. Desse modo, conservam as máquinas e motores internamente limpos, reduzindo a tendência de formação de depósitos.

Dispersantes

Essa aditivação mantém em suspensão, finamente divididas, todas as impurezas formadas no interior do sistema ou que nele penetrem, e potencialmente possa formar depósitos, até serem eliminados por ocasião da troca ou purificação do lubrificante. Aditivos detergentes, dispersantes ou de dupla função encontram sua maior aplicação nos lubrificantes destinados aos motores de combustão interna.

Proteção contra ferrugem e corrosão

É a propriedade que os óleos minerais possuem de proteger as partes metálicas da oxidação causada pela umidade. Certos aditivos melhoram essa característica, revestindo completamente as superfícies metálicas, formando uma película que os protege do contato com a água.

Antiespumante

Substâncias que promovem um rompimento mais rápido das bolhas de espuma, pela redução da tensão superficial das películas de óleo que as envolvem. A formação de espuma é geralmente devida a uma aeração excessiva do óleo lubrificante. A medida mais importante

em relação a esta anomalia não é exatamente o impedimento à sua formação, que algumas vezes é inevitável, e sim sua quebra, isto é, seu desaparecimento através de aditivos.

A espuma resulta em lubrificação inadequada, cavitação e fluxo deficiente de óleo, e pode ser um problema em sistemas que possuem engrenagens e/ou mancais de alta velocidade e naqueles que utilizam bombeamento sob alta pressão ou lubrificação por salpico, os quais, em geral, tendem a formar espuma. A espuma pode ser causada por um baixo nível de óleo no reservatório, que faz com que a bomba aspire ar juntamente com óleo, criando elevada turbulência e aeração, entre outros. Assim como óleos lubrificantes, emulsões de óleos em água podem receber, na prática, aditivos antiespumantes.

Demulsificantes

São compostos químicos que têm a propriedade de acelerar o processo de separação água/óleo. São muito úteis em lubrificantes utilizados onde ocorre a contaminação do óleo pela água. A demulsibilidade de um óleo lubrificante é a sua habilidade de separar-se da água, característica importante para diversas aplicações, particularmente para aquelas em que é possível a contaminação pela água. Na maioria dos sistemas é desejável que a água presente se separe do óleo, fácil e rapidamente, e não forme emulsão estável, de forma a evitar efeitos adversos à vida útil dos equipamentos. (Monte, 1998).

Melhorador do Índice de Viscosidade

São polímeros de elevado peso molecular que, adicionados ao óleo, melhoram seu índice de viscosidade, compensando em certo grau a diminuição normal da viscosidade com o aumento da temperatura.

Viscosidade

A propriedade mais importante de um óleo lubrificante é sua viscosidade. Tem influência na formação de película protetora entre superfícies, afeta a geração de calor nos mancais, cilindros, engrenagens e desempenha papel fundamental na vedação e taxa de consumo ou perda (Norvelle, 2005).

A viscosidade de um fluido pode ser definida como sendo a propriedade que o mesmo apresenta em oferecer maior ou menor resistência à deformação, quando sujeito a esforços de escorregamento a uma temperatura específica.

Isaac Newton realizou um dos primeiros estudos de fluxo de um fluido. Ele considerou um modelo constituído por duas lâminas paralelas, de mesma área, *A*, próximas uma da outra, a uma distância, *y*, entre as quais existe um fluido. Ao se aplicar uma força tangencial *F* sobre a lâmina superior, mantendo fixa a inferior, cada partícula do fluido percorre uma trajetória paralela às lâminas e com velocidade constante. No entanto, a velocidade das diversas partículas varia de *v*, junto à lâmina superior, a zero, junto à lâmina inferior.

Newton postulou que a força tangencial *F* é diretamente proporcional à área *A* da lâmina e ao gradiente de velocidade ou taxa de cisalhamento *dv/dy*. A relação *F/A* é denominada tensão de cisalhamento, e a relação tensão de cisalhamento por taxa de cisalhamento é denominada viscosidade absoluta ou dinâmica *m*, como demonstrado na Figura 18.

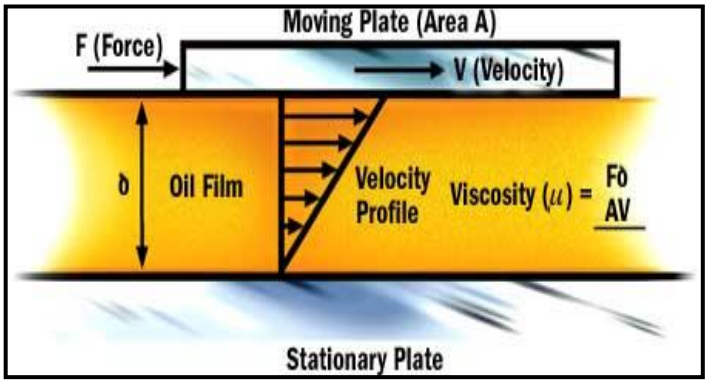


Figura 18 - Conceito de Viscosidade Absoluta (μ)

A força deve ser aplicada na placa móvel a fim de superar o atrito entre as camadas de fluidos. Esta força é proporcional à viscosidade do fluido. Assim, indica a resistência ao escoamento do óleo lubrificante, quanto mais viscoso for um lubrificante, mais difícil de escorrer (mais "grosso") ele será. Embora uma maior viscosidade indique uma maior capacidade de se manter entre duas peças móveis, fazendo a lubrificação das mesmas, isso não quer dizer que óleos mais viscosos sejam necessariamente melhores, já que maior ou menor fluidez pode ser desejável em algumas situações, como em motores de alta rotação.

O monitoramento da viscosidade é um importante componente de muitos programas de análise de óleo. Até mesmo pequenas mudanças na viscosidade podem causar grandes prejuízos à lubrificação, como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Os limites de óleos industriais típicos são fixados em ± 5 % para precaução, e ± 10 % para situação crítica,

embora aplicações em altas cargas e sistemas extremamente críticos devam ter igualmente um sistema de alarme.

Tabela 2 – Indicação dos efeitos do uso de um lubrificante com viscosidade inapropriada.

Redução significativa da viscosidade	Aumento significativo da viscosidade
•Perda do filme de óleo causando desgaste excessivo; •Aumento do atrito mecânico causando excessivo consumo de energia; •Geração de calor devido ao atrito mecânico; •Vazamento interno ou externo; •Aumento da sensibilidade para contaminação de partícula devido à redução do filme de óleo; •Falha do filme de óleo para altas temperaturas, altos carregamentos ou durante partidas e paradas.	•Excessiva geração de calor resultando na oxidação do óleo, lodo e desenvolvimento de verniz; •Cavitação gasosa devido ao fluxo inadequado de óleo para bombas e mancais; •Falta de lubrificação devido ao fluxo inadequado de óleo; •Chicoteamento de óleo no mancal radial; •Consumo excessivo de energia para superar o atrito do fluido; •Fraca demulsibilidade; •Bombeamento fraco durante partidas a frio.

Tabela 3 - Indica as possíveis causas da mudança de viscosidade.

	Redução de viscosidade	Aumento de viscosidade
Alterações na composição do óleo (alterações moleculares)	•Transformação das moléculas de óleo pelo calor •Comportamento de fluxo pseudoplástico (*shear thinning*) de óleos com índices de viscosidade melhorados	•Polimerização •Oxidação •Perdas por evaporação •Formação de compostos insolúveis de carbono ou óxidos
Adição à composição do óleo (contaminação)	Combustível ••Solventes •Óleo inadequado (baixa viscosidade)	Água (emulsão) •Aeração •Fuligem •Polimerização •Óleo inadequado (alta visco.)

Índice de viscosidade

Indica a variação da viscosidade do óleo lubrificante em função da temperatura; a viscosidade dos lubrificantes diminui com o aumento da temperatura. Quanto maior o índice de viscosidade menor é essa variação. É importante que o lubrificante mantenha sua viscosidade em uma ampla faixa de temperatura, para que sua aplicação não seja prejudicada. Por exemplo, o motor de um veículo que parte da temperatura ambiente (que pode ser até Oº C no inverno de certas cidades brasileiras) tem que funcionar bem lubrificado nesta condição inicial e também na sua temperatura de operação (geralmente 94º C).

4.3 Tipos de viscosímetros

Há um grande número de viscosímetros comerciais variando de acordo com sua geometria, faixas de viscosidades e taxas de cisalhamento necessárias para o trabalho ou estudo. Os critérios para a escolha devem envolver, principalmente: a natureza do material; se é de baixa ou alta viscosidade; se é elástico ou não; a dependência da temperatura na viscosidade etc. Outra importante consideração é a precisão requerida e se as medidas são para controle de qualidade ou para pesquisa.

A viscosidade é medida pelo tempo que um volume fixo de líquido gasta para escoar através de um orifício existente no fundo de um recipiente. Copo Ford, é um viscosímetro de fácil manuseio, no qual a viscosidade está relacionada ao tempo de esvaziamento de um copo de volume conhecido que tem um orifício calibrado na sua base.

4.4 Contaminação

A contaminação por água em um fluído apresenta-se em três fases:

- Água Dissolvida: Quando a presença de água é inferior ao ponto de saturação do fluído, em geral abaixo de 1000 ppm, a fase de contaminação não apresenta alteração na coloração do fluido; não há indicação visual.

- Água Emulsificada: Presença de água próximo à tangência do ponto de saturação; início de aparecimento de microbolhas de água e mudança no aspecto visual do fluido, apresentando aparência leitosa (branqueamento).

- Água Livre: Presença de água acima do ponto de saturação do fluido; apresenta separação de fases visualmente identificada; índice de contaminação muito além do aceitável

para sistemas hidráulicos, causando em curto período avarias permanentes no fluido e em componentes internos ao sistema.

Contaminantes sólidos

O monitoramento das condições de fluidos hidráulicos e lubrificantes é importante, já que esses óleos servem para a transmissão de potência, lubrificação, dissipação de calor e proteção contra corrosão. Para que os sistemas hidráulicos e de lubrificação operem de modo confiável é imperativo que o fluido de trabalho esteja em perfeitas condições. Hoje é um fato bem conhecido que 70 a 80% das falhas dos sistemas hidráulicos são causadas por uma contaminação muito alta do fluido de trabalho.

Na prática, existe o reaparecimento de um fator principal que afeta o fluido: contaminação devido a partículas sólidas. Elas são responsáveis pelo desgaste e pela quebra dos componentes, mas também são responsáveis pela falha do sistema. Se este estado de contaminação for sistematicamente controlado, pode ser atingido um aumento substancial na confiabilidade, vida útil e economia de uma instalação, tomando-se providências específicas no cuidado com o óleo. A chave para uma manutenção preventiva e proativa e para um procedimento de qualidade assegurada será, portanto, detectar a real contaminação por elementos sólidos *on-line* no sistema.

O estado do óleo é, de certo modo, o retrato do estado de uma instalação como um todo. Portanto, a determinação econômica e robusta de contaminação por partículas, teor de água e estado do óleo, atualmente possível, demonstra ser um processo eficiente para o monitoramento em instalações hidráulicas e técnicas de lubrificação.

5 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é uma prática na qual se determinam as condições de funcionamento dos equipamentos, através da monitoração contínua do sistema, proporcionando o aumento da disponibilidade e confiabilidade operacional dos mesmos. Baseia-se no acompanhamento e na avaliação quantitativa do estado de funcionamento dos equipamentos, com o objetivo de obter subsídios para o gerenciamento eficiente e seguro do serviço de manutenção.

Mais recentemente, a manutenção preditiva (também conhecida como monitoramento da condição operacional) tem liderado o caminho para economias adicionais em relação à manutenção preventiva.

Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à manutenção preditiva é o de predizer a condição dos equipamentos. Ou seja, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade na medida em que não promove a intervenção dos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento em funcionamento.

Equipamentos parados por deficiência de lubrificação causam prejuízos inestimáveis - principalmente no que se refere a desgastes prematuros -, perda de rendimento, redução da vida útil do equipamento e, nos casos mais graves, o travamento do motor. Visando reduzir custos, a análise do óleo lubrificante surgiu como apoio à manutenção preditiva e pró-ativa, ou seja, através de uma série de técnicas analíticas do óleo usado pode-se avaliar onde e quando os prováveis problemas surgirão.

Dessa forma há maior qualidade e menor custo com manutenção, aumento da vida útil do equipamento e economia de combustível e óleo lubrificante. O maior benefício é a disponibilidade de um alerta anterior, de horas ou dias, que reduzem o número de falhas de maior gravidade. Geralmente, a manutenção preditiva é implantada juntamente com a manutenção preventiva, e objetiva tanto os sinais de alerta de falha iminente como o reconhecimento de falhas pequenas que iniciam a reação em cadeia que leva às falhas grandes (isto é, controle de danos). Quando o grau de degradação se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido. Normalmente, esse tipo de acompanhamento permite a preparação prévia do serviço, além de outras decisões e alternativas relacionadas à produção.

De forma mais direta, a manutenção preditiva prediz as condições dos equipamentos e quando a intervenção é decidida, o que se faz, na realidade, é uma manutenção corretiva planejada.

As condições básicas para se adotar esse tipo de manutenção são as seguintes:

- O equipamento, sistema ou instalação deve permitir algum tipo de monitoramento/medição;
- O equipamento, sistema ou instalação deve merecer esse tipo de ação, em função dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser acompanhadas e ter sua progressão monitorada;
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado;

Os fatores indicados para análise da adoção de política de manutenção preditiva são os seguintes:

- Aspectos relacionados com a segurança pessoal e operacional;
- Redução de custo pelo acompanhamento constante das condições dos equipamentos, evitando intervenções desnecessárias;
- Funcionamento dos equipamentos, de modo seguro, por mais tempo.

O acompanhamento através da monitoração envolve a seleção de parâmetros mensuráveis e convenientes, instrumentação e métodos adequados. Na realidade, tudo que se pode observar, de forma sensitiva natural, ou com uso de instrumentos que amplificam ou auxiliam os sentidos humanos, pode se transformar em parâmetro útil para o acompanhamento e/ou monitoração.

A manutenção preditiva oferece as seguintes vantagens:

- Permite consertos programados que custam menos e evitam queda de produção;
- Diminui ou elimina os equipamentos em "*stand by*", reserva e estoque de peças sobressalentes;

- Oferece dados seguros sobre a frequência das falhas e as partes envolvidas, dando margem para um dimensionamento mais perfeito do almoxarifado de manutenção;
- Incentiva e fornece dados para a procura de peças e equipamentos de melhor qualidade.

Aspectos econômicos;

A principal economia se obtém com a aplicação da manutenção preditiva, resulta da eliminação ou minimização das perdas de produção por quebras do equipamento e, também, pela redução dos custos de manutenção.

Perdas de produção podem ser estimadas, porém a economia é mais difícil de ser comprometida, principalmente no caso do custo de mão de obra nas manutenções acidentais.

Finalizando, observa-se que o custo de implantação da manutenção preditiva parece elevado, mas, em função dos benefícios proporcionados, é compensado logo nos primeiros anos.

A manutenção preditiva é dividida em três tipos de monitoração:

- Monitoração Subjetiva – Este tipo de manutenção baseia-se nos sentidos da audição e do tato, ela não deve ser adotada como base para a tomada de decisões, pois para cada indivíduo o conceito de bom ou mau possui variações. Sua utilização é indicada em equipamentos de baixa responsabilidade onde a ocorrência de uma parada não afeta seriamente a produção.
- Monitoração Objetiva – Este tipo de manutenção é baseado na utilização de equipamentos específicos para a medição. Ela fornece valores que podem ser acompanhados e estes resultados independem dos sentidos do indivíduo que os coletou.
- Monitoração Contínua – Este tipo de monitoração fornece informações contínuas sobre o estado do equipamento. Alertando inicialmente sobre o estado do equipamento e em seguida promove sua parada, sendo utilizada em equipamentos onde o período de aparecimento do problema é curto. Sua utilização principal é em equipamentos de alta responsabilidade para a produção ou em equipamentos relacionados à segurança humana.

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 (Anon, 2009):

- 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 isso possa ter alguma conseqüência no futuro.
- Monitora a pressão sangüínea. Se estiver muito alta o paciente poderá sofrer algum desmaio.
- Monitora a temperatura corpórea. Uma febre alta indica a necessidade de atenção médica antes que algum mal aconteça.

No caso da Mecânica Automotiva podemos ter:

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

6 CONCEITOS ESTATÍSTICOS

6.1 Amostragem

A utilização da técnica é importante para que o tamanho da amostra não venha a influenciar o comportamento estatístico da amostra. Para se ver como isto é plausível, ao se imaginar a extração de uma amostra de milho, atirando-se uma pá côncava em um lote de sementes de milho, a pá não sabe se está rodeada por um saco de milho ou pela carga de um caminhão. Desde que o milho esteja bem misturado (de modo que a pá selecione uma amostra aleatória), a variabilidade do resultado depende apenas do tamanho da pá.

O fato de a variabilidade ser controlada pelo tamanho da amostra tem conseqüências importantes para o planejamento amostral. Uma Amostra Aleatória Simples (AAS) de tamanho 2.500 extraída dos 270 milhões de residentes dos Estados Unidos dá resultados tão precisos quanto uma AAS de 2.500 dos 740.000 habitantes de San Francisco (MOORE, 2002).

O exemplo comprova que o mais importante em uma amostragem é a forma aleatória de coleta, muito embora a maioria das técnicas de amostragem considerar o tamanho da população um critério fundamental para se chegar ao tamanho da amostra, considerando um nível de confiança. Contudo, essas técnicas são limitadas pelo tipo de distribuição da população. Em outras palavras, há a necessidade de um prévio conhecimento das características estatísticas da população a ser estudada.

Sem o conhecimento prévio dessas características o emprego de técnicas sistemáticas de amostragem pode prejudicar a precisão dos resultados. Porém, este trabalho é fundamentado na comparação entre várias amostras, ou seja, após a comparação entre gráficos de média-erro, gráficos de caixa, parâmetros estatísticos como média e desvio-padrão, foram realizados testes de significância a fim de se verificar a diferença entre os grupos sob o ponto de vista estatístico.

6.2 Representações gráficas de distribuições de frequências.

A partir de dados coletados ou de uma tabela de frequências, é possível elaborar as representações gráficas, histogramas (Fig. 19 e Fig. 20), para variáveis contínuas e discretas, respectivamente; e polígonos de frequência (Fig. 21), para variáveis mais apelativas e que permitem analisar visualmente os dados com maior facilidade.

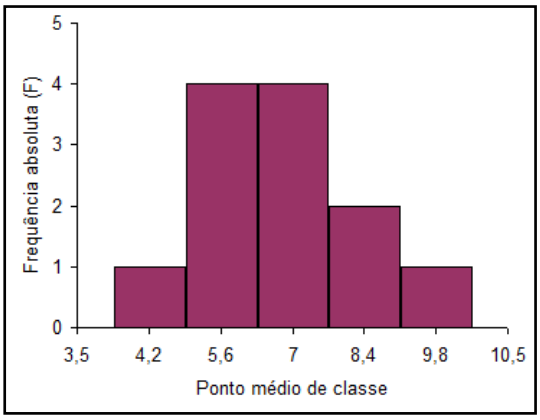


Figura 19 - Histograma de variável contínua.

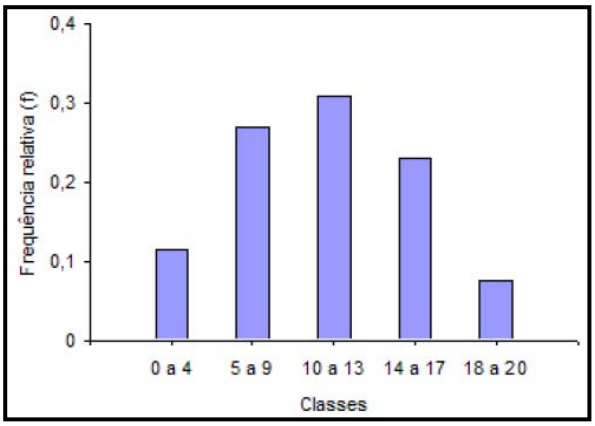


Figura 20 - Histograma de frequências de variável discreta

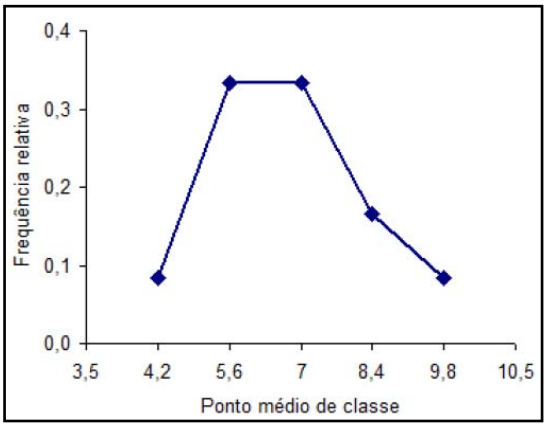


Figura 21 - Polígono de frequências ("gráfico de pontos e linhas") de variável contínua

Alguns parâmetros (para populações) ou estatísticas (para amostras), caracterizam uma amostra (ou população) em termos de localização (ou tendência central) e de dispersão. Estas medidas devem: ser objetivas; conter todas as observações; ser precisas quanto à sua interpretação; fáceis de calcular; e variar pouco em relação às variações amostrais.

Geralmente, as observações de determinada característica (ou variável) de uma amostra parecem ocorrer com maior preponderância perto de valores "médios" ou "centrais" em relação à amplitude observada. Assim, uma indicação da "média" da amostra (ou da população) seria expressiva e útil para sua descrição. Existem vários parâmetros ou medidas de tendência central, obtidos empiricamente da amostra ou da população, sendo as mais comuns a média, a mediana e a moda.

Também é importante quantificar a variabilidade (a variação) dos valores observados em torno dessa medida de tendência central. Esta informação, resumida em parâmetros ou medidas de dispersão, pode ser quantificada de diversos modos, como por exemplo, através da amplitude, do intervalo interquartil, da variância, do desvio-padrão ou do coeficiente de variação.

As medidas que a seguir se apresentam, aplicam-se tanto a amostras como a populações. No entanto, a notação utilizada é relativamente diferente. Por exemplo, para a média e a variância populacionais usam-se as letras gregas minúsculas μ e σ^2, respectivamente. No caso de médias e variâncias amostrais utilizam-se x e s^2 respectivamente. Medidas de tendência central, geralmente os valores, as medições ou as observações individuais de determinada variável numa amostra (ou população), encontram-se preponderantemente "perto" do centro da amplitude de valores. Existem várias medidas ou parâmetros de tendência central para quantificar esse valor "central", notadamente a média, a mediana e a moda.

7. ESTADO DA ARTE.

Observa-se que a frota de veículos no Brasil tem a tendência de se duplicar a cada década, conforme dados estatísticos do DENATRAN (2008); observando-se a realidade local, o DETRAN/RN (2009) informa que a frota do Rio Grande do Norte é composta por 694.824 veículos, dos quais 278.932 estão registrados na capital onde, deste total, 8% são movidos a óleo diesel, o que vem contribuindo para o aumento das emissões de gases poluentes, principalmente nas zonas metropolitanas, fato provocado, sobretudo por veículos desregulados.

Diante desta assertiva, a CETESB (2009) relata que os impactos ambientais gerados nas cidades, destacando-se a poluição do ar nos centros urbanos, são diretamente proporcionais à quantidade de veículos em circulação, visto que os veículos automotores causam mais poluição que qualquer outra atividade humana, especificamente o material particulado, na forma de fumaça preta, emitido por veículos movidos a óleo diesel - fato este evidenciado por Balassiano (1991) -, o que tem merecido uma atenção especial, pois este poluente costuma estar associado a tosses e a respiração difícil, havendo indícios de que seus compostos tenham características mutagênicas e cancerígenas, causadoras de doenças cardiorrespiratórias e alérgicas, confirmados por (Saldiva *et al*., 1995; Branco e Walsh, 2005).

No Brasil existem medidas para controle de emissões veiculares como o Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), instituído em 1986, e o Programa de Inspeção Veicular (PIV), em processo de implantação pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Contudo, o pioneirismo em adotar uma lei de poluição do ar foi evidenciado na Califórnia, EUA, em 1947 (Boubel, 1994). Além disso, pela primeira vez foi dada uma grande atenção aos problemas causados pelo “efeito estufa”, principais causas do acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera e da destruição da camada de ozônio, em conseqüência da emissão de CFC (Boubel, 1994). O trabalho de Brito, 2005) classifica que a poluição atmosférica é a presença de materiais estranhos no ar.

Tudo que pode ser vaporizado ou transformado em pequenas partículas, de modo que possa flutuar no ar, deve ser classificado como poluente potencial; a partir disso, (Brito, 2005) afirma que, quando existe uma alteração na composição ou propriedades do ar atmosférico, causada por ações diretas ou indiretas do homem, que gerem a emissão de poluentes em concentrações nocivas e inconvenientes à saúde e ao meio ambiente, o ar está poluído.

Kardec (2004) cita que as organizações vêm buscando incessantemente novas ferramentas de gerenciamento que as direcionem para uma maior competitividade através da qualidade e durabilidade de seus produtos, processos e serviços. Como citado por Xavier, (2005) faz-se necessária a agilidade imposta às organizações pela demanda cada vez mais eficaz na tomada de decisões por parte destas, o que tem levado a alterações nas organizações, de modo que se desdobrem na busca de melhores resultados. Neste contesto (Mirshawka, 1993) relata que as empresas, para se tornarem mais competitivas e terem suas funções básicas representadas por seus diversos departamentos, devem apresentar resultados satisfatórios na busca de status de excelência ou classe mundial.

O trabalho apresentado por Cybis (2002) prevê a realização de ensaios e medições de poluentes, e técnicas de simulação para quantificar as emissões veiculares. Além disso, o uso de simuladores envolve a aceitação de coeficientes, ressaltando-se que muitos não correspondem à realidade simulada por serem trazidos do exterior. Na tentativa de representar as realidades do País, Vaz de Melo (2004) e Filizola (2005) desenvolveram equipamentos, metodologias e valores referenciais de emissão de gases de veículos automotores leves de ciclo otto (movidos a gasolina), com o apoio do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU-DF).

Embora existam órgãos reguladores e programas de controle de emissões, estes não possuem estudos da frota circulante brasileira para avaliar o nível de poluentes permitidos por diferentes categorias de veículos e, assim, determinar os níveis de emissão veicular. Segundo dados estatísticos da ABRAMAN (2003), para acompanhar esta mutabilidade das organizações destaca-se a manutenção como função estratégica diretamente responsável pela disponibilidade dos ativos, tendo importância capital nos resultados da empresa.

Torna-se evidente a importância de se analisar o óleo lubrificante na avaliação do estado geral dos motores diesel. O óleo lubrificante atende a uma quantidade de horas de funcionamento do motor, durante as quais recebe continuamente acúmulo de contaminantes formados da própria deterioração pela ação do calor do motor e de produtos contidos no ar atmosférico, o desgaste natural dos aditivos usados na composição, gases da combustão e frações de combustível não queimado, evidenciado por Bouman (1950).

Uma possível diluição por combustível causaria a diminuição da viscosidade do óleo do cárter. Em contrapartida, a contaminação por água torná-lo-ia mais viscoso (Caines e Haycock, 1996). Adicionalmente, as quantidades de elementos metálicos indicariam o

desgaste dos componentes do motor, tornando o filtro de óleo saturado, deteriorando o óleo e impedindo-o de desempenhar com eficiência a lubrificação e o resfriamento das peças rolantes do motor.

A demulsibilidade de um óleo lubrificante é a sua habilidade de separar-se da água, característica importante para diversas aplicações, particularmente para aquelas em que é possível a contaminação pela água. (Monte, 1998).

Na maioria dos sistemas é desejável que qualquer água presente se separe do óleo fácil e rapidamente, e não forme emulsão estável, de forma a evitar efeitos adversos à vida útil dos equipamentos. (Monte, 1998).

A propriedade mais importante de um óleo lubrificante é sua viscosidade. Tem influência na formação de película protetora entre superfícies, afeta a geração de calor nos mancais, cilindros, engrenagens e desempenha papel fundamental na vedação e taxa de consumo ou perda (Norvelle, 2005).

Nesse contexto, é necessário identificar o quanto os veículos estão emitindo de particulados sólidos, ou seja, poluindo, visando desenvolver uma metodologia que irá analisar o índice de opacidade dos veículos aliado à análise do óleo lubrificante, utilizando para este fim a criação de uma plataforma de dados capaz de informar ao usuário as possíveis avarias existentes nesses sistemas mecânicos (Perakis & Inözu,1990).

Para definir o sistema utilizou-se a proposta baseada nas condições de contorno externo, que definem o aspecto global do sistema - isto é, os componentes que efetivamente farão parte da análise -, assim como nas condições de contorno internas, que definem o nível de resolução dos bancos de dados, o que significa a discretização do sistema para fins de localização de falhas.

8 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

8.1 Descrição do experimento

Os testes de opacidade foram realizados utilizando um opacímetro portátil (MARCA: Snap-on-Sun; MODELO: CSM-5000) acoplado a um sistema de aquisição de dados controlado por um programa cuja rotina permite a coleta e análises dos gases. As análises de óleo lubrificante foram realizadas com uma unidade de bancada (Solotest Oil Kit) utilizada para análise e obtenção de um conjunto de propriedades de óleos lubrificantes, importantes para investigação preditiva de falhas em motores de combustão interna. A logística de coleta foi possível através da montagem da unidade móvel mostrada na figura 22.

Figura 22 – Unidade móvel de análises

O fator de medição das emissões de gases de escape de motores a diesel é demonstrado conforme o diagrama de bloco da Figura 23.

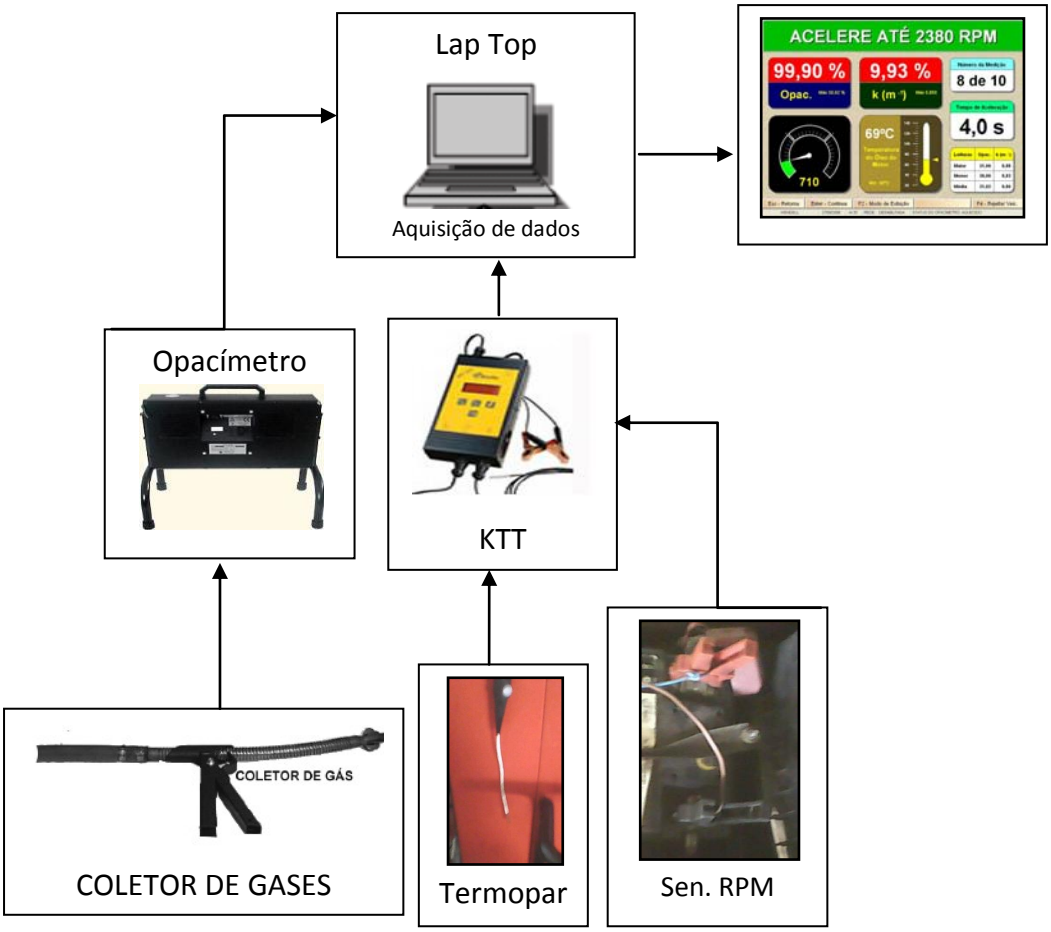


Figura 23: diagrama de bloco com o princípio de funcionamento do opacímetro.

Os dados obtidos em cada análise foram armazenados com o auxílio do banco de dados do programa (Microsoft Office Access 2007), sendo compilados para permitir a correlação e análise dos resultados obtidos no universo de veículos investigados.

8.2 Instrumentos

Os testes de opacidade foram obtidos através de um opacímetro (MARCA: Snap-on-Sun; MODELO: CSM-5000) e seus acessórios, tais como KTT, instrumento utilizado para a captura da aceleração angular do motor (tacômetro) e termopar do tipo K, usado para leitura da temperatura do motor. Os dados coletados foram imputados em um laptop, compatível com IBM PC (DELL), modelo latitude D 630. As análises do óleo lubrificante usado foram feitas com kit de análise de óleo (MARCA: Solotest; MODELO: Solotest Oil Kit); utilizou-se uma câmera fotográfica para evidenciar a coleta da análise e registrar as imagens das amostras (MARCA: Sony; MODELO: Cyber-shot 110s).

8.3 Procedimento de operação do opacímetro.

Uma das características dos motores a diesel é que, quando em aceleração, os gases de escape formam uma nuvem negra, uma fumaça de gás que compreende partículas suspensas no gás de escapamento, formadas devido a complexas reações químicas de queima incompleta do combustível. Estas partículas obscurecem, refletem ou refratam a luz onde não há somente partículas sólidas, como de ferrugem, carvão, hidrocarbonetos não queimados e sulfatos (devido ao conteúdo de enxofre no combustível) e gotas de água.

A fumaça é captada pela sonda no escapamento do veículo e levada até a câmara de medição, onde há um emissor de luz e um receptor. Esse facho de luz é interceptado pela fumaça e, assim, é medida a opacidade através da absorção da luz emitida.

Antes do início dos ensaios é realizado um *chek-list* (Apêndice - 4) para verificar se o veículo se encontra em condições mínimas para a realização do teste de opacidade, ou seja, se os níveis de água, óleo e outros parâmetros se encontram em condições para a realização do ensaio - caso seja evidenciada alguma não conformidade na amostra esta será rejeitada. Este procedimento é realizado para resguardar a integridade da amostra, impedindo que esta sofra algum dano durante o teste de opacidade.

Os ensaios são feitos de acordo com o método de aceleração livre, sendo a potência desenvolvida somente absorvida pela inércia dos componentes mecânicos do motor, embreagem, árvore-piloto da caixa de mudanças, estando o veículo estacionado.

O teste do veículo pode ser feito de acordo com as normas da ABNT NBR 13037/1993. Este consiste em medir a opacidade acelerando rapidamente até que a aceleração de corte se estabilize (corte da bomba injetora de combustível); esta operação é realizada dez vezes e devem ser analisados os quatro últimos resultados, e só podem ser considerados quando as quatro últimas medições consecutivas apresentarem a diferença entre o valor máximo e o mínimo igual ou menor que K = 0,25, e estes não estiverem em ordem decrescente. O resultado do ensaio é a média aritmética destes quatro valores.

Descrição da técnica do opacímetro

Esse equipamento, por força do regulamento NIT-DICOR 47 do INMETRO, é calibrado a cada 12 meses (Certificado de calibração - ver Anexo 2, Figura 1).

Algumas especificações técnicas dos equipamentos são apresentadas no anexo 3.

O Analisador de Fumaça Portátil da Snap-on-Sun possibilita uma avaliação precisa e eficiente da fumaça do escapamento de veículos a diesel.

O CSM-5000 utiliza o método de fluxo parcial, permitindo medições diretas e contínuas da fumaça amostrada, ou seja, permite a medição da quantidade de luz obstruída pela fumaça desde 0%, indicando ausência total de fumaça na câmara de amostragem, até 100%, indicando obstrução total. Foi desenvolvido para fins de análise, tendo então suas configurações de testes especificadas pela Resolução CONAMA nº 418/09, antecedida pela Resolução CONAMA 16/95 a qual prevê que todos os veículos movidos a óleo diesel ano-modelo1996 em diante devem afixar na coluna B da porta dianteira direita, etiqueta com valor do índice de fumaça, procedimento descrito na Norma NBR 13037 - a qual monitora a velocidade angular do motor (RPM) e da temperatura do óleo lubrificante (ºC).

8.4 Medidor de velocidade angular do motor (RPM) (KTT)

Utilizado em veículos com motores ciclo diesel, dois e quatro tempos, mede rotações angulares do motor através dos pulsos elétricos oriundos da bateria do veículo. (Fig. 24 e 25)

Figura 24 - KTT informando RPM

Figura 25 - KTT informando temperatura do óleo

8.5 Sensor de temperatura termopar

Um termopar consiste em dois condutores metálicos, de natureza distinta, na forma de metais puros ou de ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo ao qual se dá o nome de junta quente ou junta de medição. A outra extremidade dos fios é levada ao instrumento de medição da F.E.M. fechando um circuito elétrico por onde flui a corrente (Figura 26). O ponto onde os fios que formam o termopar se conectam ao

instrumento de medição é chamado de junta fria ou de referência.

Figura 26 - sensor de temperatura

8.6 Procedimento Experimental

Inicialmente liga-se o equipamento e aguarda-se o período de aquecimento do mesmo (em torno de 15 minutos). Em seguida efetua-se um *chek-list* conforme anexo 1, da Resolução CONAMA nº 251/99.

Após esses procedimentos o analisador está apto a efetuar as análises. Após o preenchimento dos dados do veículo (placa, ano-modelo, combustível, etc.), são conectados os sensores que irão monitorar e fornecer as informações para o opacímetro. As Figuras 27, 28 e 29 apresentam os sensores que são conectados ao veículo.

Ao dar a partida no motor o termopar é conectado à vareta de medição do nível do óleo, onde é verificada inicialmente a temperatura de trabalho do motor que deve ser superior ou igual a (60 ºC) para que seja dado início aos testes.

Figura 27
Opacímetro

Figura 28
Sensor de RPM

Figura 29
Termopar

Então, com todos os sensores conectados e condições de teste atendidas, iniciam-se as medições. O operador deverá acelerar lentamente, até atingir a velocidade angular

de máxima livre do motor, certificando-se de sua estabilização durante 4 segundos. Vale ressaltar que o motor deve estar em vazio, ou seja, isento de cargas, como por exemplo: faróis ligados, ar-condicionado acionado, entre outras.

Em seguida aguarda-se 10 segundos com o motor em marcha lenta (900 RPM +/- 100); depois, o inspetor efetua os procedimentos anteriores por 10 vezes. Ao final, o analisador emite um relatório com a média dos resultados e o valor da opacidade, em porcentagem, conforme contido no apêndice 4, Figura 2 .

8.7 Coleta de óleo lubrificante.

Para analisar o óleo lubrificante era retirada, com o auxílio de uma bomba de sucção (seringa de vidro) com capacidade de 25 ml, conectada a uma mangueira de Ø 5,3 mm e canhão de acoplamento, introduzida no alojamento da vareta do nível do óleo. Através deste é coletada uma amostra com 50 ml do óleo usado nos veículos reprovados no teste de opacidade, ainda com o motor em temperatura de operação, ou seja, ($\geq 60^0$ C). (Figura 30).

Figura 30 – Bomba (seringa) para coleta de amostra do óleo lubrificante

8.8 Descrição do kit de análise de óleo lubrificante.

Equipamento portátil para analisar óleos lubrificantes, como pode ser observado na Figura 31. Desde a coleta da amostra até o diagnóstico este é o procedimento mais simples e de grande confiabilidade, indispensável para manutenções preditivas nas áreas industriais, automotivas, ferroviárias e marítimas.

Figura 31 – Kit análise de óleo lubrificante.

O kit de análise de óleo permite avaliações precisas sobre as reais condições de um óleo, a qualquer momento, tantas vezes quantas forem necessárias, com confiabilidade cada vez maior. Este reúne em si, todas as soluções práticas, eficientes, e principalmente confiáveis, para que seja possível um controle sobre as características básicas que precisam estar presentes nos óleos lubrificantes em uso, informando de maneira clara e segura, qual o desgaste interno do equipamento de onde foi coletada a amostra de óleo, através da comparação por padrões de contaminação por metais, conferida em instrumento específico integrante do kit de análise.

Desta forma, motores, transmissões, sistemas e equipamentos industriais em geral, poderão ser utilizados na plenitude de sua vida útil, com menor custo de manutenção e menor tempo de máquina parada para manutenções.

Teste de viscosidade

No teste de viscosidade é obtido um valor empírico, não dimensional, que indica o efeito da variação do tempo sobre a viscosidade do óleo. É determinado baseado sempre na medição da viscosidade cinemática comparando-a ao seu padrão, ou seja, óleo virgem não utilizado. Em termos gerais, a viscosidade é definida como sendo a resistência oposta ao escoamento e consiste na medição do tempo que um fluido (óleo) leva para escoar por um "giclê" (orifício) na extremidade de pipetas graduadas, sob uma determinada temperatura controlada, entre duas marcas existentes em um tubo aferido (fatorado). A viscosidade cinemática é a resultante do produto entre esse tempo, em segundos, e o fator do tubo.

Para efetuar este tipo de análise foram utilizadas cinco pipetas idênticas e escalonadas de 5 ml (como pode ser visto na Figura 32), e em seguida realizada a comparação dos resultados das amostras com o padrão verificado no óleo novo. Foram produzidos "os orifícios 5/32" (cinco trinta e dois avos de polegadas) 3,969 mm (Figura 33), nas extremidades das pipetas, com furação confeccionada em fresadora. Modelo do desenho ilustrado com detalhes no Apêndice 1, Figura 1.

Figura 32 – Orifícios de 5/32"

Figura 33 - Pipetas idênticas escalonadas

Procedimento para validação do teste de viscosidade

Na verificação de utilização do viscosímetro tipo Corpo Ford utilizou-se o óleo padrão (virgem) SAE 15w40 com viscosidade cinemática, a 40ºC, 113.7 cSt ou 113,7 mm^2/s de acordo com dados do fabricante

As temperaturas dos fluidos foram monitoradas com auxílio de um banho termostático e termômetros calibrados, com valor de uma divisão de 0,01ºC a 27ºC.

Os tempos de escoamento foram medidos com cronômetros digitais, com valor de uma divisão de 0,01 s. Foram feitas seis medições de tempo para cada pipeta.

As médias dos tempos de escoamento para cada pipeta e a viscosidade dos óleos estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempo de escoamento para as pipetas.

Óleo	Viscosidade Medida (mm^2/s)	Pipeta (I) (s)	Pipeta (II) (s)	Pipeta (III) (s)	Pipeta (IV) (s)	Pipeta (V) (s)
SAE 15W40	113,7	19.03	19.66	19.55	19.21	21.84

SAE 15W40	113,7	18.87	18.35	18.48	18.14	25.76
SAE 15W40	113,7	19.56	18.89	18.67	18.67	24.87
SAE 15W40	113,7	18.84	18.76	19.22	18.24	23.98
SAE 15W40	113,7	19.40	19.11	19.12	18.71	25.76
SAE 15W40	113,7	19.25	18.92	18.67	18.32	21.87

Converteu-se a viscosidade cinemática medida com a equação 3, definida pelas normas NBR 5849 e ASTM D1200 para o viscosímetro, onde *v* igual ao valor obtido empiricamente, conforme Tabela 1.(Apêndice 1)

$$t = \frac{v+17,3}{1,546} \quad \textbf{(3)}$$

Com os valores dos tempos de escoamento medidos, determinam-se os erros ocorridos em relação aos valores.

Considerando que a temperatura da viscosidade dada pelo fabricante encontra-se acima da realizada no ensaio, constata-se que a pipeta V encontra-se com o desvio padrão e erro padrão com os valores 0,46 e 19,08%, respectivamente. O que leva a excluir-la do nosso experimento, como pode ser observado com os dados estatísticos contidos na Tabela 2 (Apêndice 1).

Procedimento experimental do teste de viscosidade.

Requisitos prévios: o teste deverá ser realizado em local sem corrente de ar e sem mudanças rápidas de temperatura. Para maior precisão, a temperatura ambiental deverá estar entre 22 e 28^{o}C. A amostra deve ser perfeitamente homogeneizada. No momento do ensaio, o viscosímetro e o material a ser ensaiado devem estar a 27 ºC (+/- 0,1).

1. Realizar a climatização da sala, deixando a temperatura em torno de 27^{0} C a (+/- 1) ºC, sendo controlada por meio condicionador de ar e monitorada através de um termômetro digital, para não existir distorções de valores entre as medições;

2. Com o auxílio de uma pêra de sucção (Fig. 34) preencher todo o conteúdo da pipeta até a marcação de referência (Fig. 35);

3. Fechar o orifício com o dedo e retirar cuidadosamente a pêra.

4. Posicionar a proveta abaixo da pipeta, de forma que o menisco de 5 ml, posicionar o menisco exatamente na altura dos olhos do observador, para evitar erros de paralaxe[6]; após a ausência total de bolhas de ar no interior da pipeta, retirar o dedo do orifício e acionar simultaneamente o cronômetro. Observe a Figura 36;

5 Parar o cronômetro quando o fluxo de óleo atingir o menisco contendo 5 ml da proveta. (Fig. 37);

6 Anotar o tempo de escoamento em segundos;

7 Repetir o procedimento, utilizando as outras pipetas idênticas.

Após a realização de quatro medições consecutivas do tempo de escoamento do óleo usado calcula-se a média aritmética.

Figura 34
Pêra para sucção

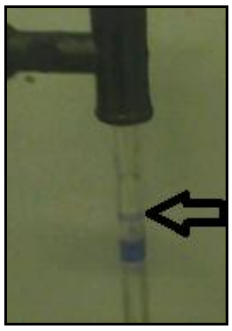


Figura 35
Marcação de referência

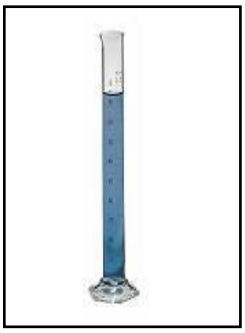


Figura 36
Pipeta graduada

Figura 37
Cronômetro

Repete-se este procedimento com o óleo padrão, ou seja, óleo novo e sem uso, e compara-se com o valor do tempo de escoamento do óleo usado: se o tempo de escoamento for menor que o tempo de escoamento do óleo padrão, constata-se que o óleo está com baixa viscosidade, apresentando tendência de diluição; caso contrário, diz-se que o óleo encontra-se com alta viscosidade e com tendências para aumentar esta viscosidade.

[6] Erros de paralaxe - São erros que ocorrem pela observação equivocada na escala de graduação de vidrarias. Acontecem devido a uma inadequação no ângulo de visão do observador. Por exemplo, quando é necessário medir um volume na proveta, o menisco deve estar exatamente na altura dos olhos do observador.

Procedimento experimental do teste diluição por combustível

Durante a partida do motor e algumas operações anormais, como a quantidade excessiva do combustível injetado no coletor de admissão, é depositado nas paredes do cilindro do motor o combustível líquido não queimado.

O combustível escorre por entre os anéis e entra no cárter, reduzindo a viscosidade do óleo. Esta diluição reduz o desempenho dos aditivos necessários, diminui a resistência da película de óleo e aumenta o consumo de óleo. A operação do motor em altas rotações e temperaturas elevadas tende a evaporar o combustível diluído, expulsando-o do óleo. Isto significa que, normalmente, a diluição é um problema secundário, a menos que decorra de um defeito do afogador ou do sistema de injeção do combustível.

A diluição pode se constituir em um problema em veículos constantemente utilizados em trechos curtos. Nestes veículos os motores raramente atingem a temperatura normal de funcionamento e o óleo não se aquece o bastante para evaporar o combustível diluente.

Procedimento experimental do teste de contaminação por água

O procedimento foi desenvolvido através de ensaio de crepitação comparativa, em chapa de metal cromado com saliência de obstrução aquecida em temperatura superior a 100 ^{0} C, realizada através de identificação do percentual volumétrico, por comparação com amostras padronizadas de óleos contaminados a 0.01%, 0,1 e 1% de água, conforme Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Óleos padrões contaminados

Figura 39 – Chapa metálica e fogareiro

Procedimento experimental do teste de contaminação por insolúveis

Este procedimento consiste em identificar partículas estranhas ao óleo coletados por meio de ensaio por filtragem em membrana filtrante de alta precisão, com mesh de 5 micras, e identificada por macroscópia.

Metais: da filtragem de alta precisão, e por *feedback* fornecido pelas próprias filtragens predecessoras, considerando-se as características das partículas encontradas, e quantificação por comparação com padrões universais de contaminação determinados por histórico generalizado, garantido por engenharia de Filtração.

Sílica: com identificação pelas próprias características, indisfarçáveis.
Caborno: com quantificação por comparação com membranas padronizadas em vários teores de contaminação. Como pode ser observado nas Figuras 40 e 41.

Figura 40 – Com alto teor de carbono

Figura 41 - Com baixo teor de carbono

Procedimento experimental e análise da característica detergente dispersante.

Desenvolvido por meio de absorção em papel capilar de densidade específica, em padrão determinado pela mesma análise em óleos novos. Como pode ser observado na Figura 42.

Figura 42 - Teste de característica detergente dispersante

Aspectos morfológicos para identificação microscópica de partículas sólidas.

O exame das diversas partículas sólidas presentes no lubrificante usado foi objeto de análises, uma vez que já se comprovou que esses elementos são portadores de inúmeras informações acerca do sistema lubrificado. Para a visualização desses particulados sólidos foi utilizado uma membrana filtrante depositado em suporte próprio, sendo o óleo utilizado diluído em hexano para análise. Após a filtração esta membrana era analisada no microscópio de até 100 x com iluminação dirigida, conforme ilustração abaixo (Figura 43).

Figura 43 – Microscópio

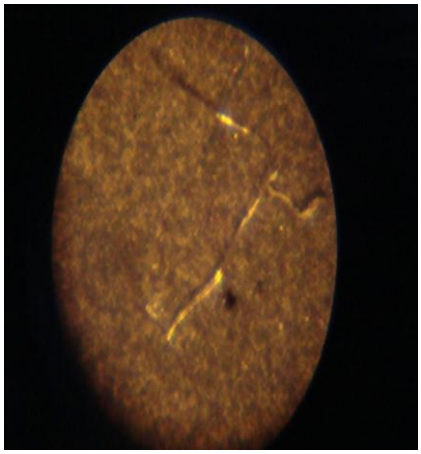


Figura 44 – Partículas sólidas em microscópio 100 x

O adequado tratamento dos dados trazidos por essas partículas leva ao conhecimento do perfil normal de desgaste bem como à predição de problemas no equipamento: de acordo com amostra apresentada (Figura 44), falhas e até mesmo fraturas são provocadas por desgaste, o que cria pontos de intensificação de tensão, enfraquece peças, desajusta mecanismos, provoca vibrações, etc.

Quando uma peça sofre desgaste, partículas são depositadas no lubrificante; dependendo do tipo de processo sofrido - abrasivo, adesivo, corrosivo ou composto -, tipos diferentes de partículas são detectados. Além de se conhecer o tamanho e o número de partículas, os estudos foram direcionados à investigação da morfologia das mesmas. Dos vários elementos encontrados pode-se determinar, na maioria dos casos, qual sua origem e se realmente indicam prejuízo ao sistema.

Partículas metálicas.

A presença de partículas metálicas é um forte indício do desgaste interno que está ocorrendo. Apresentam-se em fragmentos de dimensões e formas irregulares, assemelhando-se a pedaços de metais oriundos dos processos internos de atrito das engrenagens, resultando daí filamentos amorfos que podem ser encontrados com formas diferenciadas e tamanhos irregulares.

Podem ser encontradas em colorações e tons variados que são: do prateado ao amarelo avermelhado ou, ainda, do cinza chumbo ao grafite escuro.

Estes filamentos só podem advir de partes internas que tenham (ou possam ter) movimentos axiais ou radiais. Obviamente bronzinas/mancais.

A coloração indicará: prateado para o metal-patente (chumbo), amarelo-avermelhado para o cobre das bronzinas; neste caso serão de camadas mais profundas indicando o desgaste grave, digno de providências imediatas.

Quando de fácil observação, a calcinação (forte enegrecimento), estará indicando altas temperaturas na operação.

Fragmentos brilhantes e limpos, com formatos irregulares na cor prateada, serão provenientes da(s) camisa(s) dos pistões.

Fragmentos irregulares claramente vistos no microscópio, como sendo metais com formatos irregulares contendo pontos escuros em suas bordas, (ou mesmo, todo escuro, mas permitindo identificar que é metal) serão provenientes da(s) cabeça(s) dos pistões.

Os pontos escuros são partículas de carbono resultantes do processo de combustão deficiente, onde o combustível não queimado de forma eficiente, e não permanecendo em estado líquido, transforma-se em partículas sólidas, que irão impregnar a cabeça dos pistões, ou ainda, ficar depositado no cárter passando a ficar em suspensão no óleo lubrificante.

Pontos pretos minúsculos distintos em uma membrana denunciam partículas de carbono (serão estes que darão a cor preta às membranas-filtrantes); se refletirem a luz da lâmpada do microscópio possibilitarão a visualização destes provenientes das extremidades mais exigidas das partes que tenham movimentos (anéis de segmentos dos pistões, dentes de engrenagens), por estes serem constituídos por metais de ligas especiais com muito maior dureza (na membrana filtrante se apresentarão como pontos brilhantes).

Partículas de ferro em geral assemelham-se a pedras-pones, apresentando pequenos blocos de coloração cinza escuro, cheios de porosidades. É possível a confirmação desta suposição passando-se um imã por baixo da membrana, arrastando-se estas partículas para um único ponto da mesma e analisando este ponto na membrana do microscópio.

Partículas de Sílica

Em geral se apresentam na forma e aparência de cristais, lembrando os diamantes de um anel solitário. Vão do transparente ao vermelho, conforme as características ambientes do local onde os equipamentos estejam em operação.

Partículas Estranhas.

São as que dificultam a identificação, como metálicas ou carbonos, presentes em uma membrana filtrante; serão assumidas como sílica, mesmo não tendo as características específicas, pois serão oriundas da simples presença em suspensão no ar, onde o equipamento se encontra em operação.

Armazenamento dos Dados

Ao final de cada teste é gerado um relatório (Figura 45) com os valores das concentrações das opacidades, validando ou não o veículo, segundo a Resolução CONAMA Nº 16/95. Em seguida, é capturada a foto da traseira do veículo, evidenciando-se a placa data (Apêndice 4, Figura 3), constatando-se que o teste foi realizado. Então, logo após a realização dos testes, esses valores são digitados em uma planilha do Microsoft Access 2007, juntando com as análises de óleo, onde se realiza o cruzamento das informações para serem divulgadas as possíveis avarias e/ou falhas, as quais são disponibilizadas via relatório (Figura 53), organizadas de modo a permitir o tratamento dos dados apresentado no decorrer desse trabalho.

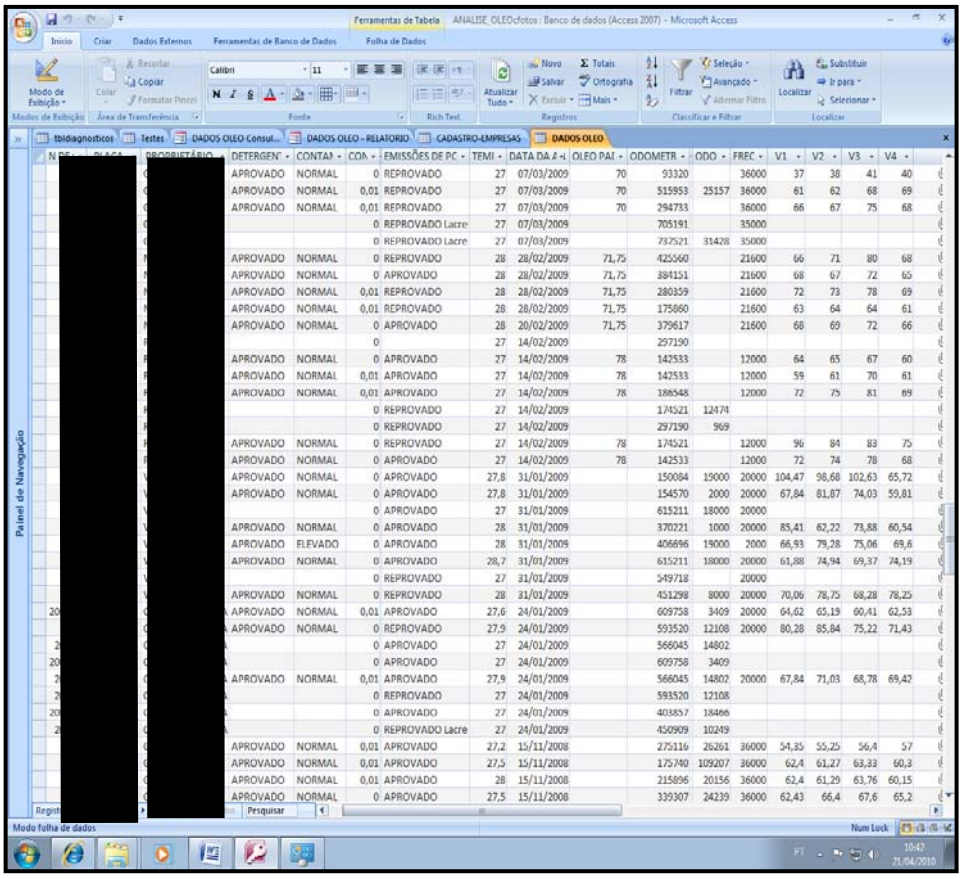


Figura 45– Dados imputados no Microsoft Access 2007

Definição de parâmetros para serem investigados.

Com o resultado do teste de opacidade tem-se a possibilidade de coletar ou não o óleo lubrificante; caso o veículo seja reprovado no teste de opacidade, realiza-se a coleta do óleo lubrificante usado, capturando o tempo de uso deste, ou seja, quantos quilômetros foram percorridos pelo veículo com o óleo coletado.

Foi feita uma seleção prévia das análises realizadas neste trabalho, na qual foram escolhidas as amostras na faixa de ano entre 2003 a 2006 por estes terem um maior histórico de manutenção. Além disso, por imposição da Legislação Ambiental, as análises foram realizadas em dois níveis de rotação, ou seja, sob duas condições de solicitação do motor:

Condição BR - Em velocidade angular de baixa rotação, com os valores especificados dentro de uma tolerância de ± 100 RPM, ou seja, (900 RPM), deve-se registrar também a velocidade angular de máxima livre, comparando-se os registros aos valores especificados dentro de uma tolerância de ± 100 RPM. Entretanto, se o resultado do teste de opacidade for

“reprovado” é feita a coleta do óleo lubrificante utilizado para a realização do diagnóstico de possíveis falhas do motor.

Nesse contexto, é necessário identificar o quanto os veículos estão emitindo de particulados sólidos, ou seja, poluindo. Este trabalho de pesquisa visa desenvolver uma metodologia que irá analisar o índice de opacidade dos veículos pesquisados, usando os valores fornecidos pelos fabricantes dos motores.

Os índices de opacidade servirão como subsídio para a criação de um banco de dados que descreverá os princípios básicos para a organização de um conjunto de regras de diagnóstico de falhas em motores a diesel, aliado à análise do óleo lubrificante usado. Utilizando para este fim um banco de dados capaz de informar aos usuários as possíveis avarias que existam nestes sistemas mecânicos, proposta por Perakis & Inözu (1990). Direcionar a análise para a descoberta de falhas;

i. Destacar os aspectos do sistema que são relevantes para identificar avarias;

ii. Fornecer opção para a análise quantitativa de confiabilidade do sistema;

iii. Permitir ao analista observar uma falha particular do sistema de cada vez;

iv. Fornecer uma visão sobre o comportamento do sistema.

A análise dos resultados contidos em um banco de dados possui, entre suas vantagens mais representativas, a possibilidade de determinação das causas potenciais de avarias e de ocorrência de falha em sistemas. Com isso, a informação pode ser estruturada, tornando possível a realização de um estudo de confiabilidade sobre os diagnósticos até a sua automatização.

Seleção das amostras coletadas

Com o banco de dados formado inicia-se a investigação dos índices de opacidades dos motores mais utilizados na faixa etária predeterminada para a elaboração de conclusões e posterior análise de falhas destes veículos.

Foram selecionados cinco tipos de motores da marca Mercedes Benz dos anos 2003 a 2006, cujos prefixos de construção e índices de opacidades estão descritos na Tabela 1 do

Apêndice 2, do qual resultou a construção de uma Tabela contendo o zero como sendo o número de referência, utilizando para tal a seguinte fórmula:

$$Ref = \frac{X_{ref} - X_{op}}{X_{ref}} \; x \; 100 \qquad (4)$$

Onde:

Ref. – valor dado para identificar o ponto de equilíbrio entre as opacidades,

X_{ref} - Média de todas as médias de referência de opacidades entre os anos 2003 a 2006.

X_{op} - Media dos índices de opacidades.

Definição do Sistema

Para definirmos o sistema utilizamos um sistema baseado nas condições de contorno externo, que definem o aspecto global do sistema, assim como nas condições de contorno internos, que definem o nível de resolução do bancos de dados, A representação esquemática do sistema é mostrada na Figura 46.

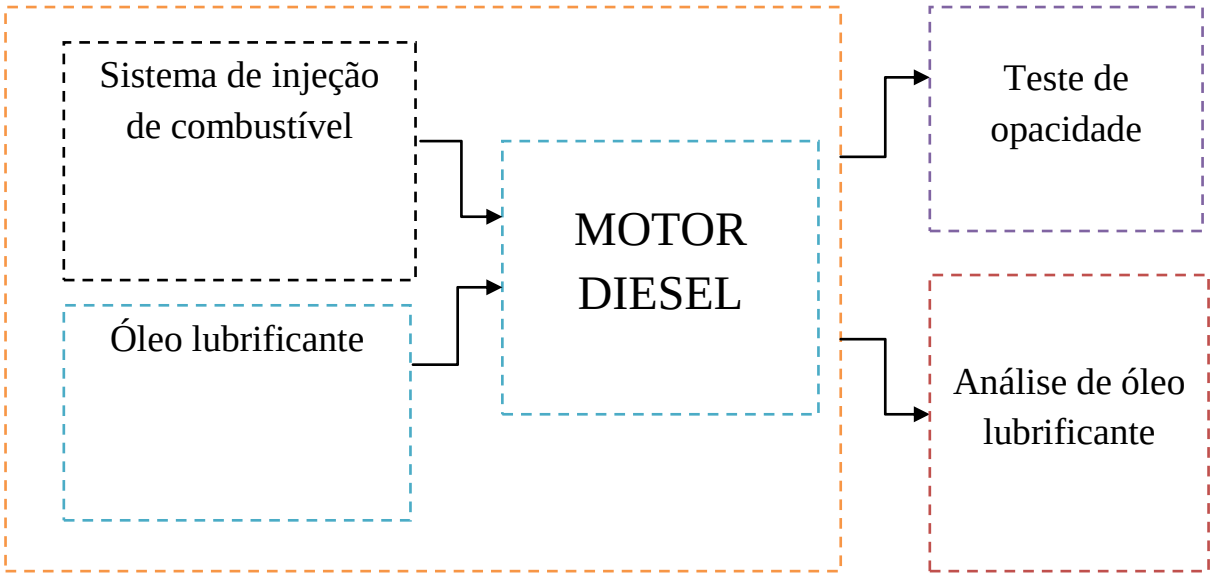


Figura 46 - Funcionamento do Sistema.

Condições de Contorno Externas

Definiu-se como sendo condições de contorno externa os motores a diesel de 4 tempos, turbocarregado, com resfriamento intermediário do ar de admissão, sistema de arrefecimento de água e sistema de injeção de combustível. O sistema funciona da seguinte forma: o combustível é injetado no ar de admissão dentro da câmara de combustão do motor para a realização do ciclo de operação representado.

Condições de Contorno Internas

I. Combustível;
II. Sistema de alimentação de combustível
III.Orifício do bico injetor;
IV. Filtro de ar;
V. Compressor;
VI.Turbina;
VII.Duto de passagem de água de refrigeração no radiador;
VIII.Duto de passagem do ar de admissão no resfriamento de ar;
IX.Mancais de eixo de manivelas;
X. Anéis de segmento;
XI.Cilindros;
XII.Válvulas de admissão;
XIII.Válvulas de descarga;
XIV. Duto de passagem da água de refrigeração do motor.

Evento Topo

Baseado no princípio de funcionamento considera-se que o sistema opera em estado de falha quando gera um índice de opacidade acima dos limites preestabelecidos pelos fabricantes, então é feita a coleta do óleo lubrificante para verificar se suas propriedades estão fora dos padrões ou há algum tipo de contaminação.

Fluxo de diagnósticos

A determinação das regras de diagnóstico é feita com base nos conjuntos de eventos que percorrem uma trajetória vertical até a ocorrência do evento que indica possível falha ou avaria (raiz). Conforme pode ser observado na Figura 47.

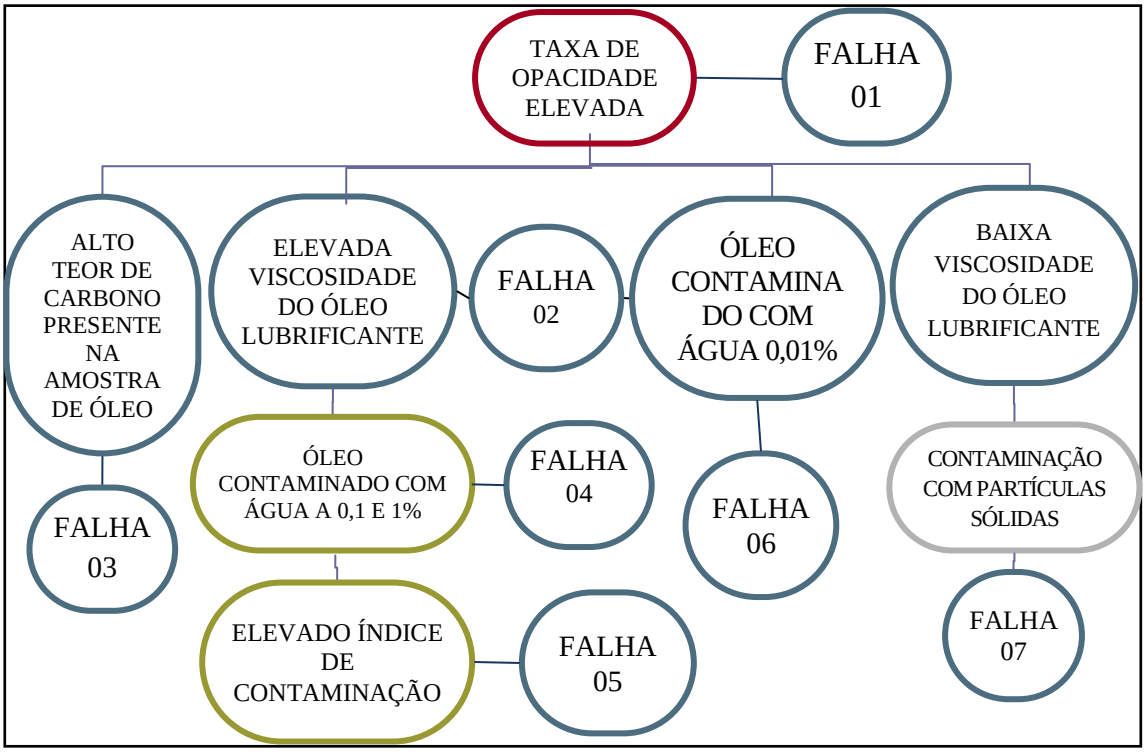


Figura 47 – Fluxograma de Diagnósticos e Falhas

Falha 01 – sistema de injeção desregulado/obstruído;

Falha 02 – combustível batizado ou com elevada concentração de condensados e/ ou regulagem de injeção muito avançada;

Falha 03 – desgaste no cilindro e/ou anéis de segmento e/ou válvula de admissão e/ou descarga;

Falha 04 – junta do cabeçote queimada e/ou empenada;

Falha 05 – óleo de baixa qualidade e contaminado com água condensada e/ou junta do cabeçote danificada;

Falha 06 – combustível contaminado usando de baixa qualidade de ignição;

Falha 07 – turbina e/ou compressor defeituosos;

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Os veículos movidos a óleo diesel são maquinas com elevado grau de complexidade pela potência que é gerada e pelos controles necessários para viabilizar e otimizar sua operação. Além disso, é de fundamental importância para a função fim que é o transporte de passageiros e de cargas. Este cenário mostra-se perfeitamente adequado para a implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade com ganhos reais em médio e longo prazo.

Do ponto de vista prático, a aplicação de fluxograma de diagnósticos aliado ao banco de dados comprovou a eficácia dos fatores levantados no estudo teórico. Assim, consegue-se diagnosticar a falha de maneira precisa, padronizada e em tempo reduzido. Este equipamento possui tecnologia embarcada complexa e, atualmente, há um grupo restrito de técnicos capazes de diagnosticar e solucionar as falhas mais complexas. A utilização desta metodologia possibilitará o diagnóstico adequado das falhas e sua solução eficiente e eficaz.

Por ser uma metodologia recentemente introduzida nas áreas de manutenção, os conceitos e definições deste estudo não são perfeitamente compreendidos por todos, o que torna sua implementação mais demorada. Assim, para conseguir os resultados desejados, a implantação deverá ser realizada em etapas, envolvendo também treinamento e conscientização dos envolvidos.

Durante a aplicação da metodologia proposta foram identificados alguns pontos que, à medida que as condições permitirem, poderão ser estudados sob uma abordagem diferenciada ou de modo mais aprofundado.

Conforme o analisado através do banco de dados, a representação espacial dos níveis de opacidade veicular permitiu identificar a grande quantidade de veículos com o teor de opacidade acima dos padrões estabelecidos.

Contidos no universo de veículos investigado resultou um número considerável de veículos reprovados na emissão de gases (teste de opacidade), fato este dado por não ter um plano de manutenção preditiva, na grande maiorias das empresas de ônibus visitadas, o que deu grande quantidade de amostras a serem investigadas, como pode-se observar na Figura 48.

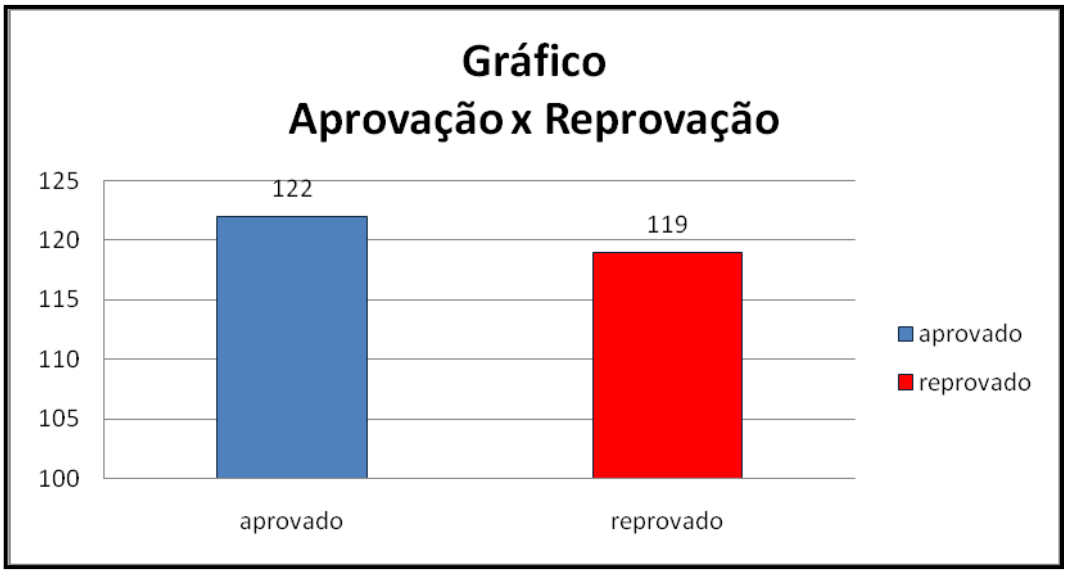


Figura 48 – Gráfico das amostras investigadas.

Foi realizado o diagnóstico com as possíveis falhas apresentadas em 119 amostras reprovadas no teste de opacidade; em seguida foi realizada a análise do óleo lubrificante em 56 amostras selecionadas, conforme critério de classificação etária. A Figura 49 informa a quantidade de amostras realizadas mês x seus respectivos estados.

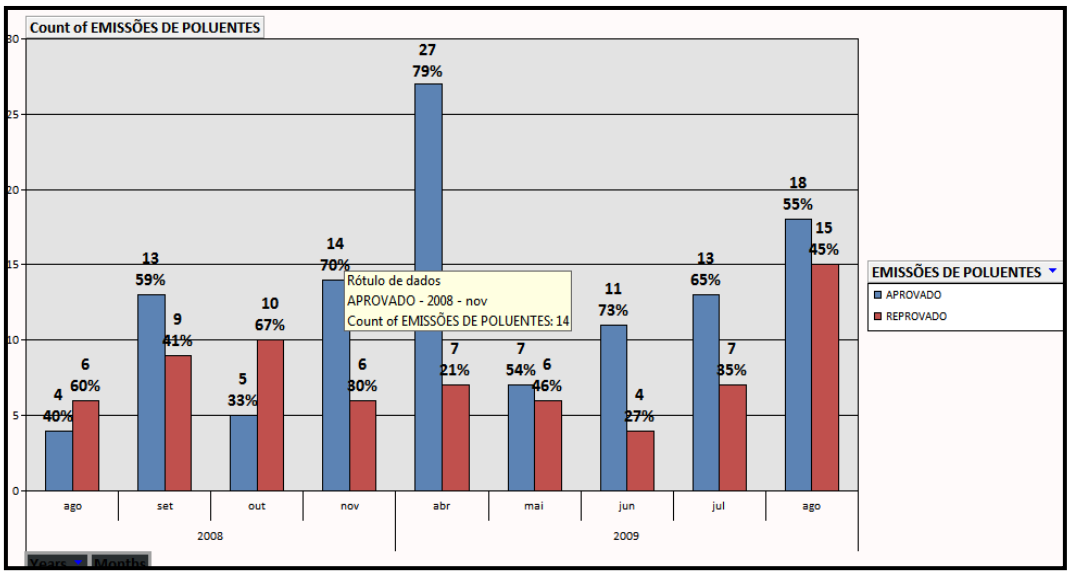


Figura 49 – Gráfico das análises realizadas por período

Com o banco de dados formado iniciou-se a investigação dos índices de opacidade dos motores mais utilizados, dos quais foi selecionada a faixa etária predeterminada.

Foram selecionados cinco tipos de motores mais utilizados na frota de ônibus urbanos da marca Mercedes Benz dos anos 2003 a 2006, cujos prefixos de construção e índices de opacidade estão descritos na Tabela 1 (Apêndice 2), a qual possibilitou a construção de um gráfico contendo o zero como número de referência, utilizando para tal a seguinte formula:

$$Ref = \frac{X_{ref} - X_{op}}{X_{ref}} \; x \; 100 \qquad (4)$$

Onde:

Ref. – valor dado para identificar o ponto de equilíbrio entre as opacidades;
X_{ref} - Média de todas as médias de referência de opacidades entre os anos 2003 a 2006;
X_{op} - Media dos índices de opacidades.

Com base nos resultados obtidos através do cálculo dos valores de referência igual a 0,52 foi configurada a tabela com a média dos índices de opacidade e as médias de referência. Foram selecionadas 36 amostras com as características descritas, indicando as aprovações e reprovações, isto é, os veículos contidos com valores positivos foram os veículos aprovados, e os negativos, consequentemente, os reprovados no teste de opacidade. Conforme Figura 50.

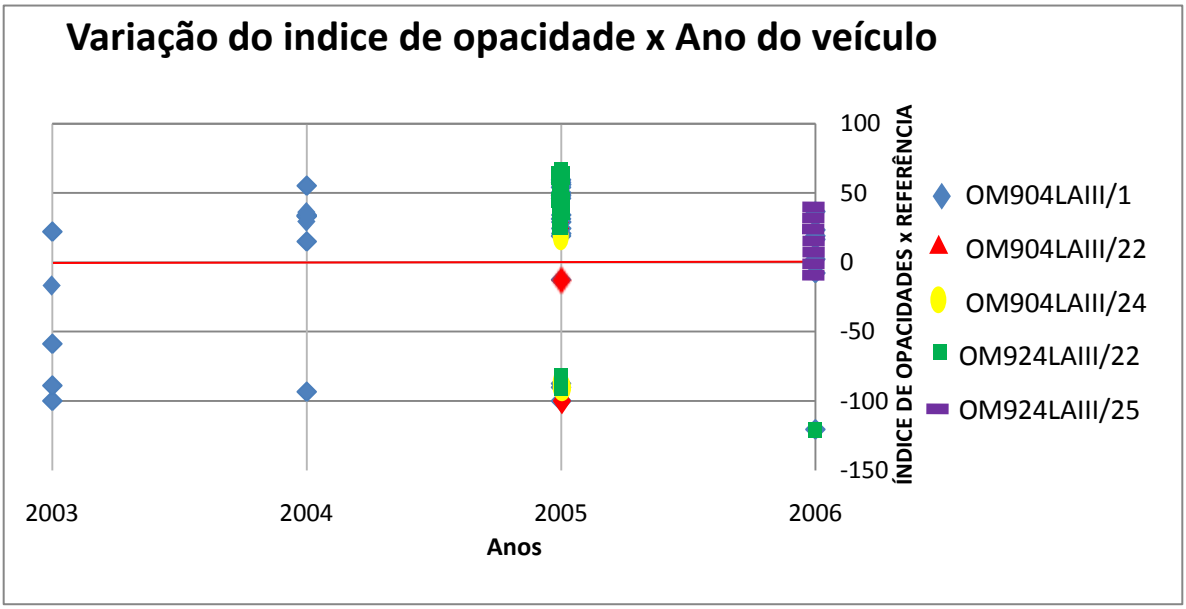


Figura 50 – Gráfico informando anos X valor de referência de opacidades

Ficou demonstrado que os motores OM 904 LA.III/24 e OM 924 LA.III/22 foram os mais analisados e os que apresentaram mais defeitos com relação ao índice de opacidade.

9.1. Regras de Diagnóstico

As regras de diagnóstico foram realizadas após a utilização de “filtros” na plataforma Microsoft Access 2007, o qual é um conjunto bem definido de premissas e conclusões, organizado de forma lógica, o que possibilita descrever os diversos eventos que podem acontecer, separadamente ou em conjunto, que conduzirão a um determinado modo de falha.

Ao analisar o fluxograma de diagnósticos, observa-se que a ocorrência do evento topo (taxa de opacidade elevada) pode ser causada por até três eventos intermediários. Tal tipo de anomalia foi determinado como falha 5 – óleo de baixa qualidade e contaminado com água condensada e/ou junta do cabeçote danificada. Com essa anomalia foi verificada apenas 1 (um) veículo como pode ser observado na Figura 51.

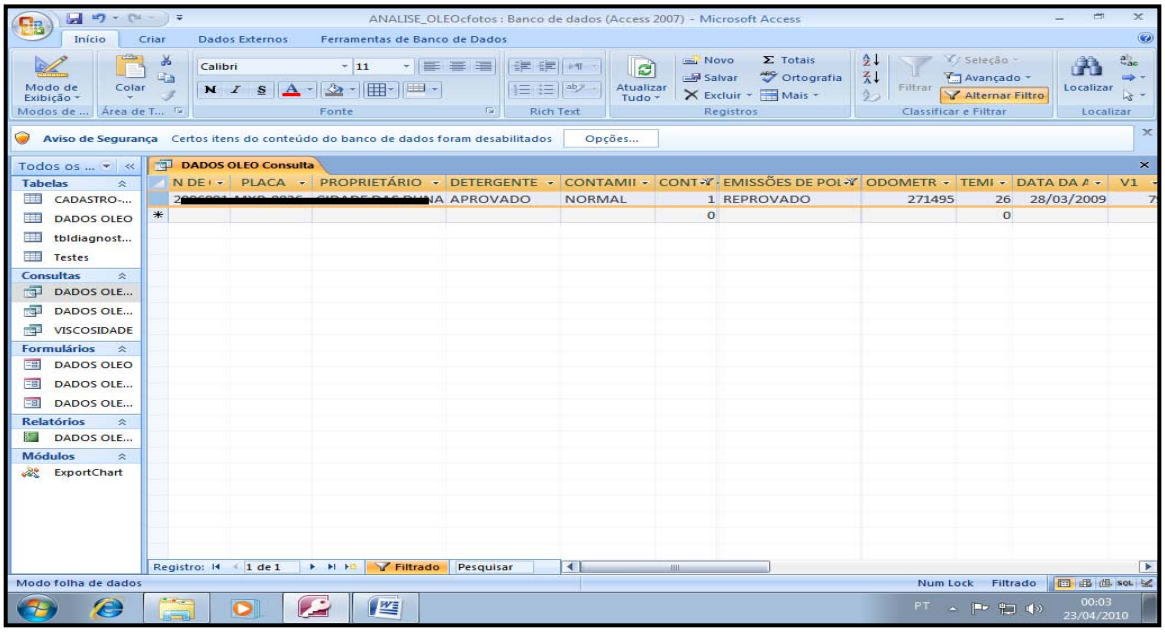


Figura 51- Indicação de falha 5

O mesmo procedimento foi adotado para indicação das demais falhas, tendo como exemplo a falha 1, nesta o óleo encontra-se em perfeito estado e o veículo apresenta alterações apenas no teste de opacidade. Com esta anomalia foram encontrados 14 veículos (Figura 52). Os demais casos poderão ser observados no Apêndice 3.

DADOS OLEO Consulta

N DE	PLACA	PROPRIETÁRIO	DETERGEN	CONTAI	C	EMISSÕES	ODON	ODO	FRE	TEI	DATA DA	V1	V2
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	252355	12713	21600	28,6	08/11/2008	58,5	67,4
		A	APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	593520	12108	20000	27,9	24/01/2009	80,28	85,8
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	451298	8000	20000	28	31/01/2009	70,06	78,7
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	149524	0	12000	27,2	27/09/2008	74,6	70,
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	144194		12000	27	01/11/2008	57,9	57,7
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	425560		21600	28	28/02/2009	66	7
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	740315		12000	27	14/03/2009	75	7
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	61000		12000	27	14/03/2009	62	6
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	351198		21600	27	28/03/2009	64	6
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	541927		21600	27	28/03/2009	76	8
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	537674		21600	27	28/03/2009	66	6
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	882999		21600	27	28/03/2009	64	6
			APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	356449		21600	27	28/03/2009	72	7
2		A	APROVADO	NORMAL	0	REPROVADO	649467	12637	13000	26	18/07/2009	75	7

Figura 52 – Veículos reprovados apenas no teste de opacidade.

Ao final do processamento das informações é disponibilizado o relatório contendo as informações processadas e o respectivo diagnóstico (Figura 53).

UFRN / FUNPEC / INSPETRANS
CAMPUS UNIVERSITARIO DA UFRN
LAGOA NOVA - NATAL/RN
FONE: (84) 9921-0561
ANÁLISE PREDITIVA DE ÓLEO LUBRIFICANTE E EMISSÕES GASOSAS VEICULARES

DADOS DO VEÍCULO:

N DE OS: [redacted]
PLACA: [redacted]
PROPRIETÁRIO: [redacted]
DATA DA COLETA: 11/7 /2009

FOTO DO VEICULO:

ANALISE DE POLUENTES:

Através da analise de emissões de poluentes feitas a partir da NORMA ABNT 13037, observou-se que o veículo foi **APROVADO** .

ANALISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE:

Observa-se que a amostra coletada foi retirada com o odômetro marcando **592118** km, com **5154** km rodados desde a última troca de óleo e periodicidade de troca prevista de km. Este óleo foi **APROVADO** quanto às características de detergente dispersante, apresentou viscosidade **NORMAL** para os padrões estabelecidos e na análise microscópica foi possível visualizar um grau **NORMAL** e partículas sólidas e **1,5** % de carbono, como pode-se evidenciar na foto abaixo.

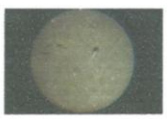


FOTO MICRO DA AMOSTRA

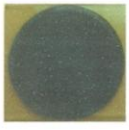


FOTO MACRO DA AMOSTRA

Eduardo Viana de Sousa
Registro no CREA: 0402428757

Figura 53 – Relatório da análise realizada.

10. CONCLUSÃO

Verificou-se, a aplicabilidade da metodologia proposta e, por meio dela, conseguiu-se determinar um fluxograma com um evento de topo desencadeando as possíveis falhas.

A criação do fluxograma de diagnósticos é facilitada pelo conhecimento em motores que remete a criação de um banco de dados de diagnósticos, sendo este aplicado como suporte para implementação do diagnostico de falhas, indicando que esta metodologia é viável e está alinhada com seus objetivos pelos seguintes fatores:

- **Levantamento de informações dos subsistemas:** A elaboração de fluxograma de diagnósticos exige um conhecimento prévio sobre o funcionamento dos motores a diesel. Este estudo faz com que os especialistas e técnicos busquem cada vez mais aumentar o conhecimento sobre o sistema, contribuindo, assim, para capacitação especializada.

- **Foco na operação do sistema:** O evento de topo (opacidade) é estabelecido de maneira a identificar as falhas que prejudicam o cumprimento da missão dos subsistemas analisados.

O processo de detecção e solução da falha visa utilizar um encadeamento lógico para atuar exatamente na falha. Assim, ganha-se em produtividade e disponibilidade do ativo.

- **Documentação técnica:** A aplicação desse método gera uma documentação técnica completa e detalhada sobre o funcionamento dos subsistemas. Isto é possível, pois aliam-se os conhecimentos práticos de anos de experiência dos técnicos e especialistas à metodologia de elaboração, realizando-se, portanto, a retenção e a formalização do conhecimento das empresas envolvidas.

É possível concluir que, de acordo com as estimativas apresentadas, a análise de opacidade aliada ao estudo das propriedades dos óleos lubrificantes utilizados constituiu a principal fonte para a elaboração deste trabalho. Neste estudo, não foi possível a inclusão de informações relativas a outras categorias veiculares e à aplicação de fatores de emissão para outros tipos de veículos. Por conseguinte, o encaminhamento para novas pesquisas nesse campo seria a inserção de dados referentes a outras categorias veiculares, complementando a avaliação das frotas de veículos do ciclo otto.

Principais Conclusões

Verificaram-se algumas limitações ao se aplicar a metodologia no estudo do histórico de manutenção dos veículos. Inicialmente, a inexistência de um histórico de manutenção para consulta foi uma das dificuldades encontradas para aplicar a metodologia do estudo realizado. A ausência de informações anteriores induziu ao uso de referencial prático, baseado no conhecimento adquirido pela vivência em garagens e oficinas mecânicas, conversas e leituras sobre o assunto.

Apesar do limitado número de amostras de óleo coletadas, constatou-se que os dados fornecidos e analisados permitiam representar de forma satisfatória as anomalias no óleo lubrificante, possibilitando uma aproximação real dos defeitos encontrados nos veículos.

Outra dificuldade foi a existência de veículos com a velocidade angular de máxima fixada em 2500 RPM, o que impossibilitou a coleta de informações, uma vez que a norma ABNT NBR 13037 estabelece que o veículo deve ser acelerado lentamente, até atingir a velocidade angular de máxima livre do motor estabelecida pelo fabricante.

Salienta-se, ainda, que a falta de lacre na bomba injetora de determinados veículos foi um dos fatores que impossibilitaram a coleta de maiores informações como pode ser observado na Figura 4, 5 e 6 do Apêndice 4.

A técnica da criação de um banco de dados apresenta a combinação entre as falhas dos componentes, facilitando a construção das regras de diagnóstico. Outra vantagem desta metodologia é fornecer a base para uma análise quantitativa de ocorrência de falhas alimentando o programa da plataforma *Microsoft Office Access 2007.*

As principais conclusões do estudo podem ser assim elencadas:

1. Índices de opacidade abaixo do especificado pelos fabricantes em veículos operando com injeção eletrônica de combustível.

2. Índices de opacidade elevados em veículos com maior tempo de uso.

3. Apesar de alguns veículos estarem com o valor da velocidade angular de máxima livre do motor fixo em 2500 RPM, os índices de opacidade estavam acima dos padrões estabelecidos em algumas amostras.

Em síntese, os resultados apontam para uma revisão dos atuais limites de emissões e padrões adotados pelo Programa de Manutenção e Inspeção de Veículos em Uso – I/M, conduzindo a criação de limites de emissão de poluentes mais rigorosos, visto que os MP emitidos pelos veículos movidos a diesel são os mais poluidores e nocivos à saúde humana.

Suscita-se também a possibilidade de se adotar menores índices de emissão para os veículos detentores da tecnologia de injeção eletrônica de combustível, bem como a utilização de diagnóstico de bordo (OBD), o qual monitora continuamente os componentes do motor em relação aos limites de emissão estabelecidos pela legislação vigente. Esta solução é a incorporação deste elemento ao sistema de injeção eletrônica, para monitoramento contínuo, com a finalidade de detectar falhas imediatas e realizar o pronto diagnóstico.

Adicionalmente, propõem-se possíveis alterações nas condições de teste adotadas pelas ABNT NBR-13037 e 13540, nas quais são baseados os procedimentos atuais de análise de gases e opacidade para veículos em uso, no que diz respeito à aceleração angular máxima, visto que em acelerações angulares menores os veículos já podem apresentar anomalia. Outro fator preponderante é que não irá solicitar tanto o motor a ponto de provocar desgaste excessivo.

A metodologia foi desenvolvida para identificar especialmente os índices de opacidade, juntamente com a análise das propriedades do óleo lubrificante usado. Este procedimento disponibilizou subsídios suficientes para elaborar um relatório de manutenção preditiva, o qual indica possíveis falhas em veículos movidos a óleo diesel. Esta proposta metodológica foi aplicada nas sete empresas de ônibus da cidade do Natal - RN.

Constatou-se, mediante este estudo, que a metodologia proposta possui grande viabilidade de aplicação em outros setores em que se necessite realizar um controle de manutenção preditiva, como por exemplo de automóveis do ciclo otto.

Para um melhor estudo e desenvolvimento de trabalhos futuros, sugere-se a análise das emissões em condições que possibilitem variar, não só níveis de rotação do motor, bem como a carga, através de linhas de inspeção equipadas com dinamômetros. Além disso, é pertinente a realização de um estudo de emissões a partir de medidas de concentrações de opacidade. Isso permite sugerir a dispensa dos testes em aceleração livre, indicando uma rotação intermediária, sugeridos 2/3 da aceleração livre do motor, resultando em um menor desgaste de seus componentes, reduzindo os riscos à saúde dos inspetores por inalarem menor carga de

poluentes, e gerando economia de combustível, uma vez que os motores com teores elevados de opacidade já podem ser percebidos em baixas velocidades angulares.

Para a obtenção de melhores resultados o ideal seria realizar a coleta do óleo lubrificante em uma faixa intermediária de tempo de uso, ou seja, tempo médio de troca, visto que em algumas situações a análise foi realizada com poucos quilômetros rodados, e em outras, com mais de trinta mil quilômetros. Outro ponto a ser ressaltado é que, apesar de os óleos terem as mesmas características físico-químicas, a troca nas empresas visitadas é realizada entre 12 mil quilômetros e até 37 mil quilômetros.

Também é possível realizar, futuramente, um estudo específico sobre as características dos óleos lubrificantes utilizados, melhorando de forma considerável as assertivas acerca das falhas ocorridas nos sistemas mecânicos estudados.

Finalmente, este trabalho buscou desenvolver um método prático e eficiente, visando a preservação do meio ambiente, aliado a um método de manutenção preditiva, proporcionando o bem-estar social e o desenvolvimento sustentável e econômico, para assegurar a qualidade de vida das futuras gerações. Adotou-se como ponto de partida o elemento básico "eficiência energética" aliado ao desenvolvimento sustentável e à avaliação do ciclo de vida de produtos da gestão ambiental. Nada impede, entretanto, que outras alternativas surjam, o importante é que os objetivos sejam buscados conjuntamente, com seriedade, e que os eventuais desvios sejam corrigidos com eficiência.

11 REFERÊNCIAS:

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, Associado em jan/2008.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil-Brasil. Inspeção de Conformidade de Produtos Aeronáuticos – MPH 310, 2006, 36p.

ANON, *Is there a reliable method of introducing a centrifugal pump predictive maintenance program* 6-11, *The Mc Nally Institute*, 2009. Internet: www.mcnallyinstitute.com.

ANFAVEA- Referências Internacionais – *International Data*, Capítulo 4, 2009, 8p.

ALFESIO, B., PEREIRA, L. A. A., SALDIVA, P. H. N., Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana - Faculdade de Medicina da USP – 20 p.BAUER, C. & DAY, M. *Water Contamination in Hydraulic and Lube Systems*, Pall Corporation Industrial Group, 8p.

AZUAGA, D. Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil, Dissertação de Mestrado – COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2000, 193p.

BALASSIANO, R. Alternativas Tecnológicas para ônibus Urbanos: Avaliação do ônibus à gás Natural comprimido, do Troleibus e de seus impactos Ambientais Atmosféricos. 1991. Dissertação de Mestrado , COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

BRANCO, G. M. e WALSH, M. Controle da poluição dos veículos a diesel – Uma estratégia para o progresso no Brasil. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Fundação Hewllet, São Paulo. 110p. 2005.

BRITO, H. P., Análise das emissões atmosféricas por veículos automotores em Natal-RN. 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

BOUBEL, Richard W, et al. *Fundamentals of Air Pollution*. 3ª Edition. San Diego. California: Elsevier. 1994.

BOUMAN, C. A. *Properties of lubricating oil and engine deposits*. Londres: MacMillan, 1950.

CAINES, A. J. e HAYCOCK, R. F. *Automotive lubricants reference book*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1996.

CEPRA – Centro de Formação Profissional da Reparação Automóvel. Coleção Formação Modular Automóvel – Análise de Gases de Escape e Opacidade. Lisboa/Portugal, 2000. 75p;

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2008). Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 1996. São Paulo, SP.

CHALLEN, B. e Baranescu, R., Diesel Engine Reference Book, Butterworth-Heinemann; 2ª ed., 1999.

CONAMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/BRASIL, Resoluções do CONAMA, 2ª Edição, Brasília/DF, 2008, 927p.

CYBIS, H. e JACONDINO, G. (2002). Avaliação de Modelos de Emissão de Poluentes em Simuladores de Tráfego. Anais do XVI Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. Volume 1, Rio de Janeiro, RJ.

DESPOLUIR-Programa Ambiental do Transporte. Estudo Técnico – A Qualidade do Diesel no Brasil, Brasília/DF, 2008, 50p.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2008 e 2009). Frota de Veículos por Ano de Fabricação segundo as Regiões e Unidades de Federação – Setembro de 2008. Disponível em http://www.denatran.gov.br/estatisticas. Último acesso em 2009.

DETRAN/RN – DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO RN (2009). Estatística. Disponível em http://www.detran.rn.gov.br/estatisticas. Último acesso em 2009.

DIESEL EMISSIONS, *Instructor's Guide*, 61p.

DIESEL ENGINE REFERENCE BOOK (2nd Edition - May 1999), Butterworth-Heinemann - 682 p.

NORVELLE F. D., "*Visgage Viscosity Comparator Determines Fluid Viscosity*". *Practicing Oil Analysis* Magazine. Janeiro 2005.

FERNANDES, C.S., Análise estatística das Emissões de Co e HC Produzidas por Gases da Exaustão Veiculares Oriundos de Gasolina, GNV e Mistura Álcool/Gasolina, Dissertação de Mestrado – PPGEM/UFRN, Natal/RN, 2009, 110p.

FILIZOLA, I. M. (2005). Identificação de valores referenciais do nível de emissão de gases veiculares automotores leves do ciclo Otto. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF.

FILTROS FRAM – Módulo 10 –Princípios de Funcionamento do Filtro do Combustível, 8p.

GARRET – Manual de Análise de Falhas, São Paulo/SP, 2005, 28p.

ISPTRANS – Prefeitura de São Paulo, Instrução Técnica/Serviços Veiculares – Procedimento para Inspeção de Manutenção e Conservação da Frota, 2007, 51p.

IPIRANGA. Apostila sobre Lubrificantes, Brasil, 2007, 44p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio; BARONI, Tarcísio. Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas - Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2002. Coleção Manutenção, Abraman.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. Manutenção Função Estratégica, 2ª edição, 1ª Reimpressão - 2004. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abraman.

KHATER, E. Diagnóstico de Falhas em Máquinas Rotativas Através da Análise da Vibração Torcional, Departamento de Engenharia Mecânica – FUNREI, São João Del Rei/MG, 11p.

LASTRES, Luiz Fernando M - Óleos Lubrificantes Automotivos - **30/5/1997** - http://www.mecanica2000.com.br/artigostecnicos_v.asp?Contador=33, acesso 31/03/2010

LAGO. D.F. – UNESP/Ilha Solteira/SP. Manutenção Preditiva de um Redutor Usando Análise de Vibrações e de Partículas de Desgaste, 16º Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – FEMEC/Universidade Federal de Uberlândia, 10p.

MIRSHAWKA, V.; Manutenção Preditiva: Caminho para Zero Defeitos, 1 ed. São Paulo: Makron Books, McGraw-Hill, 1991.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N.L. Manutenção - Combate aos Custos da Não-Eficácia: A Vez do Brasil. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1993.

MAFFEI, A.C.L. Monitoração e Diagnóstico de Motores de Propulsão Marítima. Dissertação de Mestrado – COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2007, 142p.

MALPICA, L.G.T. Manutenção Preditiva de Motores de Combustão Interna, à Gasolina, através da Técnica de Análise de Lubrificantes, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia – UNESP, Ilha Solteira/SP, 2007, 113p.

McGINN, S., *Noranda Technology Centre For The Diesel Emissions Evaluation Program (Deep), The Relationship between Diesel Engine Maintenance and Exhaust Emissions* – Final Report, 93p.

McGINN S. & GAULTIER, P. *Maintenance and Diesel Exhaust Emissions*, *DEEP Project Proposal – Noranda Technology Centre, 20p.*

McGINN S., WEEKS, S., GAULTIER, P. *Diesel Engine Maintenance Audit Plan*, DEEP Research Project, 25p.

McGINN, S. *Maintenance Guidelines and Best Practices for Diesel Engines in Underground Mining*, Noranda Inc. – Technology Centre for The Diesel Emissions Evaluation Program (DEEP), 23p.

MONTE, Vânia L. A., Bol. Téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 41(1/2): 3-11, jan/jun, 1998

MORAIS, W.A. Relatório de Análise Parcial de Falha – Falha em Pistão de Motor de Combustão Interna, Faculdade de Engenharia/ Curso de Engenharia Industrial Mecânica – UNISANTA, 2004, 25P.

MUNIZ, J.M. Fenômenos Tribológicos intrínsecos de juntas de engenharia aparafusadas, Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo/SP, 2007, 67p.

MWM International Motores, Apostila de Treinamento MWM Série 229, São Paulo/SP, 63p.

MWM International Motores, Apostila de Treinamento Insternational NGD 3.0 Electronic, São Paulo/SP, 77p.

PERAKIS, A., INÖZU, B., *"Reliability Analysis of Great Lakes Marine Diesels: State of the Art and Current Modeling", Marine Tchnology v.27, n. 4, Jul. 1990.*

PORTUGAL, B.F. Utilização de Árvore de Falhas como subsídio para manutenção centrada em confiabilidade de locomotivas, IME, Ministério da Defesa. Rio de Janeiro/RJ, 2006, 65p.

POLYPARTS – Central de Informações Técnicas, Manual de Instruções – Medidor de Compressão do Sistema de Arrefecimento Diesel, 4p.

POLYPARTS – Central de Informações Técnicas, Manual de Instruções – Equipamento para Limpeza e Descarbonização de Motores Diesel, 6p.

PROJETO PUC-RIO/PETROBRÁS, Diesel – Gás II – Relatório Parcial, Rio de Janeiro/RJ, 2005, 65p.

RRAKOPOULOS,C.D., GIAKOUMIS,E.G. *Review of Thermodynamic Diesel Engine Simulations under Transient Operating Conditions, School of Mechanical Engineering, National Technical University os Athens, SAE International, 2006, 38p.*

SALDIVA, P.H.N; PEREIRA, L.A.A. E BRAGA, A. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. Faculdade de Medicina da USP, São Paulo. 1995.

SILVA, Marcus Vinícius Ivo da e outros - Análise da Viscosidade do Óleo Lubrificante de um Motor Diesel Abastecido com Éster Etílico de Soja (*Glycine max*) e de Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*) - Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos – Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos.

SILVA, A.N. & VIEIRA, M.J.M. Autogeração com Grupo Motor Gerador Diesel, Projeto de Final de Curso – Escola de Engenharia Elétrica e de Computação – UFGO, Goiânia/GO, 2004, 39

SOLOTEST (2007). Solotest oil kit – vídeo de treinamento. Solotest aparelhos para Mecânica do Solo, São Paulo, 2007

TACO, G. B. G. *Emissão de Gases Derivados de Veículos Automotores nas Áreas Urbanas*, Dissertação de Mestrado – Faculdade de Tecnologia/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – UnB, Brasília/DF, 2006, 172p.

TECNOMOTOR – Manual de Instruções Opacer TM 133 Opacímetro de Amostragem, Edição 07/01, 26p.

VAZ DE MELO, C. R. (2004). Desenvolvimento de uma Metodologia para Determinar os Níveis de Emissão do Escapamento de Veículos Automotores Leves do Ciclo Otto em Condições Reais de Operação. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF.

VICENTE, M.C. *El Motor Diesel en el Automovil*, Enciclopedia Del Automovil, Barcelona/Espanha, Ediciones CEAC S.A., 1987, 222p.

VOLCI, G. A. Comportamento Tribológico do Anel de Primeiro Canalete em Motores Operando em Sistemas Flex Fuel, Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UFPR, 2007, 131p.

XAVIER, Julio Nascif. Manutenção Preditiva Caminho para a excelência. Disponívelem:<http://www.engeman.com.br/site/ptb/artigostecnicos.asp/manutencaopreditiva_Nascif.zip>, 2009. Acesso em 28 Mar.

XAVIER, Julio Nascif. Manutenção: Tipos e Tendências**.** Disponível em:<http://www.engeman.com.br/site/ptb/artigostecnicos.asp/manutencaotiposetendencias.zip>, 2009. Acesso em 28 Mar.

YAMAMOTO,C.I-UFPR, SOUZA, T.B.-UFPR, GRÖTZNER, M.B.-UFPR, *4º DPETRO*, Campinas/SP, Outubro/2007, 7p.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Procedimentos para o teste de viscosidade dos óleos lubrificantes

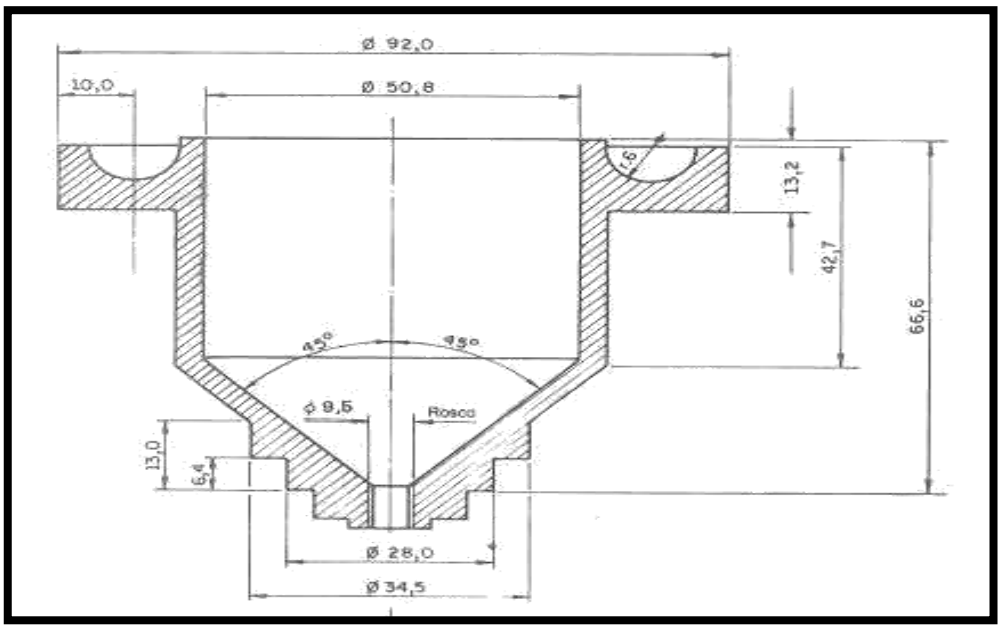


Figura 1 - Desenho da extremidade da pipeta

Tabela 1 – Tempo de escoamento para as pipetas com o valor convertido para mm^2/s.

Óleo	Viscosidade (mm^2/s)	Pipeta (I) (mm^2/s)	Pipeta (II) (mm^2/s)	Pipeta (III) (mm^2/s)	Pipeta (IV) (mm^2/s)	Pipeta (V) (mm^2/s)
SAE 15W40	34,0613625	23.4993	23.9069	23.8357	23.6158	25.3169
SAE 15W40	34,0613625	23.3958	23.0595	23.1436	22.9237	27.8525
SAE 15W40	34,0613625	23.8421	23.4088	23.2665	23.2665	27.2768
SAE 15W40	34,0613625	23.3764	23.3247	23.6223	22.9884	26.7012
SAE 15W40	34,0613625	23.7386	23.5511	23.5576	23.2924	27.8525
SAE 15W40	34,0613625	23.6416	23.4282	23.2665	23.0401	25.3364

Tabela 2 – Estatística descritiva para o escoamento do óleo nas pipetas.

	Pipeta (I)	Pipeta (II)	Pipeta (III)	Pipeta (IV)	Pipeta (v)
Tamanho da amostra =	6	6	6	6	6
Mínimo	9.3968	9.2694	9.3032	9.2148	10.1768
Máximo	9.584	9.61	9.5814	9.493	11.196
Amplitude Total	0.1872	0.3406	0.2782	0.2782	1.0192
Mediana	9.4748	9.4137	9.4111	9.3071	10.8489
Primeiro Quartil (25%)	9.415	9.3844	9.3526	9.246	10.3218
Terceiro Quartil (75%)	9.5326	9.4546	9.4891	9.3604	11.1382
Desvio Interquartílico	0.1177	0.0702	0.1365	0.1144	0.8164
Média Aritmética	9.4795	9.4249	9.4258	9.3209	10.7419
Variância	0.0058	0.0126	0.0114	0.0107	0.2184
Desvio Padrão	0.0762	0.1122	0.1065	0.1035	0.4674
Erro Padrão	3.11%	4.58%	4.35%	4.23%	19.08%
Coeficiente de Variação	0.80%	1.19%	1.13%	1.11%	4.35%
Assimetria (g1)	0.2547	0.5366	0.3867	0.8859	-0.4559
Curtose (g2)	-1.7862	1.5681	-1.3771	0.215	-2.054
Média Harmônica =	9.479	9.4238	9.4248	9.32	10.7247
N (média harmônica) =	6	6	6	6	6
Média Geométrica =	9.4793	9.4244	9.4253	9.3205	10.7333
N (média geométrica) =	6	6	6	6	6
Desvio Padrão (geom.) =	1.0081	1.0119	1.0114	1.0111	1.0448

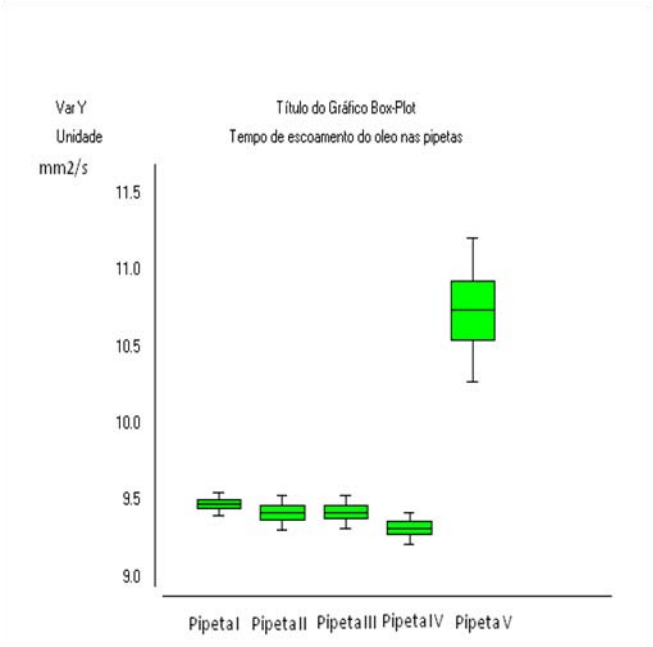


Figura 2 – Tempo de escoamento das pipetas

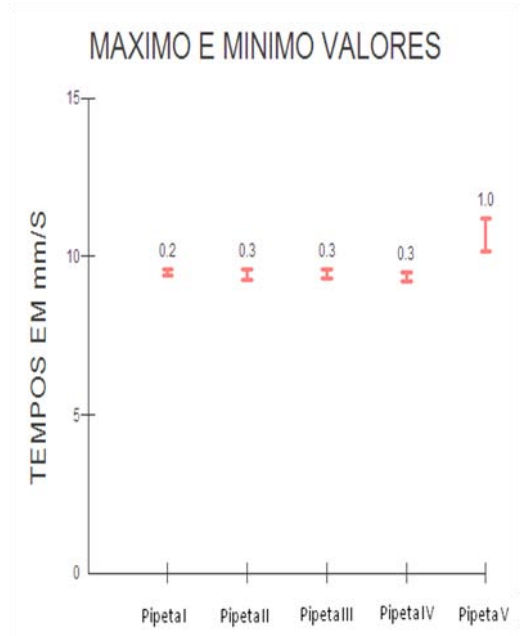


Figura 3 – Valores máximos e mínimos

Apêndice 2 - Valores de opacidades de motores para estudo estatístico

Tabela 1 – Motores Mercedes Benz serie 2003 a 2006 com índices de opacidade

MOTORES	OPACIDADE m^{-1}
OM 904 LA.III/24	1,56
OM 904 LA.III/22	1,58
OM 924 LA.III/1	1,35
OM 924 LA.III/22	1,35
OM 924 LA.III/25	1,14

Tabela 2 – Motor OM 904 LAIII/1 médias operacionais e medias de referência

MODELO	Ano_Fab.	X_{OP}	X_{ref}
OM 904 LA.III/1	2003	0	- 100
OM 904 LA.III/1	2003	0.40	22.07
OM 904 LA.III/1	2003	0.98	-88.94
OM 904 LA.III/1	2003	0.82	-58.82
OM 904 LA.III/1	2004	1.00	-93.40
OM 904 LA.III/1	2004	0.44	14.98
OM 904 LA.III/1	2004	0.34	34.02
OM 904 LA.III/1	2004	0.34	33.46
OM 904 LA.III/1	2004	0.23	55.21
OM 904 LA.III/1	2004	0.34	33.12

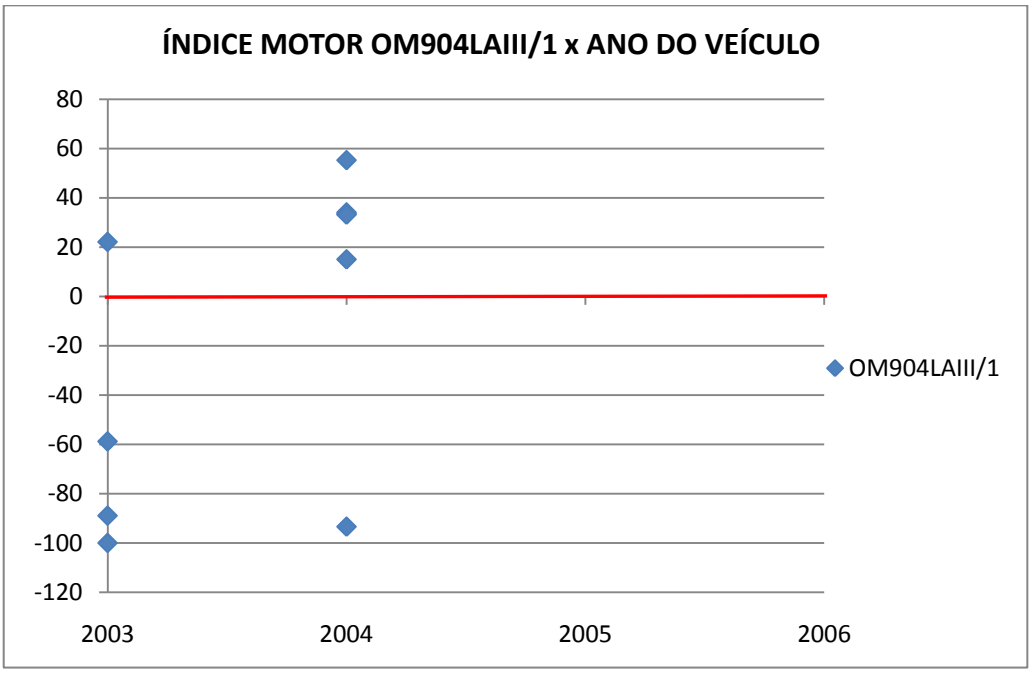


Figura 1 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/1

Tabela 3 – Motor OM 904 LAIII/1 médias operacionais e medias de referência

MODELO	Ano_Fab.	X_{OP}	X_{ref}
OM 904 LA.III/22	2005	0.34	34.221
OM 904 LA.III/22	2005	0.23	56.064
OM 904 LA.III/22	2005	0.39	24.372
OM 904 LA.III/22	2005	0	100
OM 904 LA.III/22	2005	0.58	-12.587

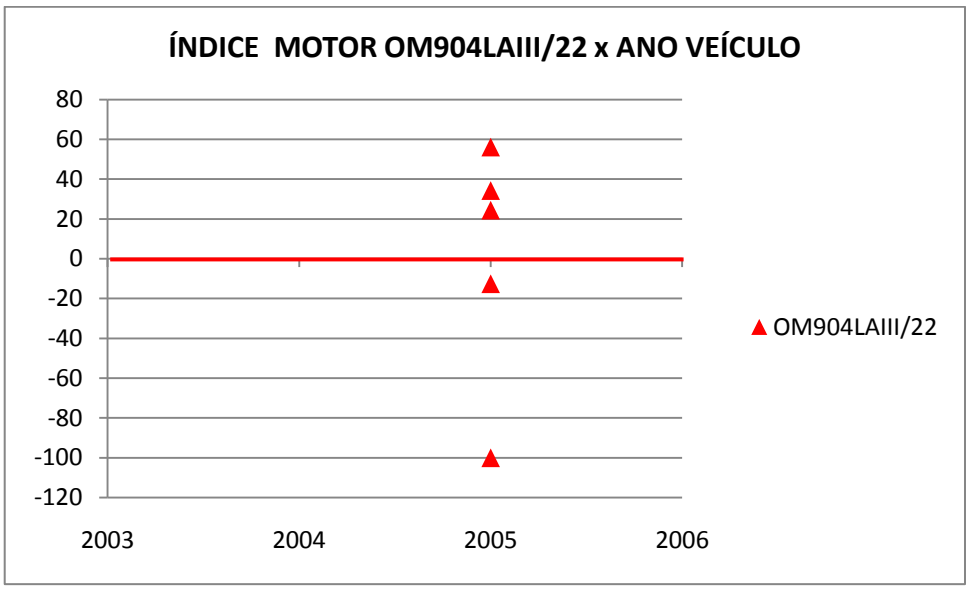


Figura 2 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/22

Tabela 4 – Motor OM 904 LAIII/24 médias operacionais e medias de referência

MODELO	Ano_Fab.	X_{OP}	X_{ref}
OM 904 LA.III/24	2005	0.41	20.776
OM 904 LA.III/24	2005	0	100

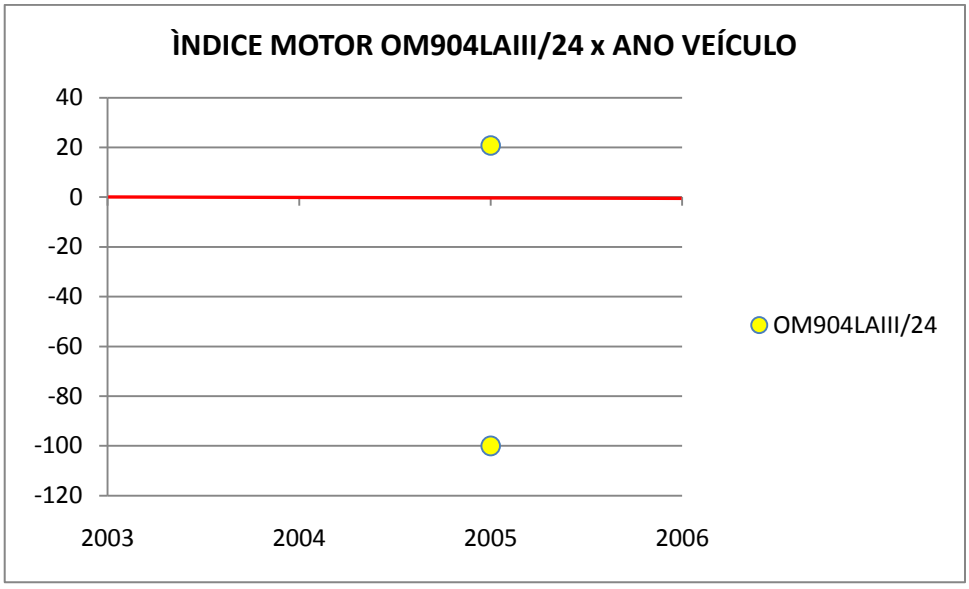


Figura 3 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/24

Tabela 5 – Motor OM 924 LA.III/22 médias operacionais e medias de referência

MODELO	Ano_Fab.	X_{OP}	X_{ref}
OM 924 LA.III/22	2005	0.99	-90.211
OM 924 LA.III/22	2005	0.22	57.626
OM 924 LA.III/22	2005	0.21	59.488
OM 924 LA.III/22	2005	0.28	46.139
OM 924 LA.III/22	2005	0.27	48.044
OM 924 LA.III/22	2005	0.27	48.577
OM 924 LA.III/22	2005	0.24	54.082
OM 924 LA.III/22	2005	0.36	31.33
OM 924 LA.III/22	2005	0.37	29.093
OM 924 LA.III/22	2005	0.97	-87.461
OM 924 LA.III/22	2005	0.31	40.314
OM 924 LA.III/22	2005	0.42	18.95
OM 924 LA.III/22	2006	4.26	-720.56

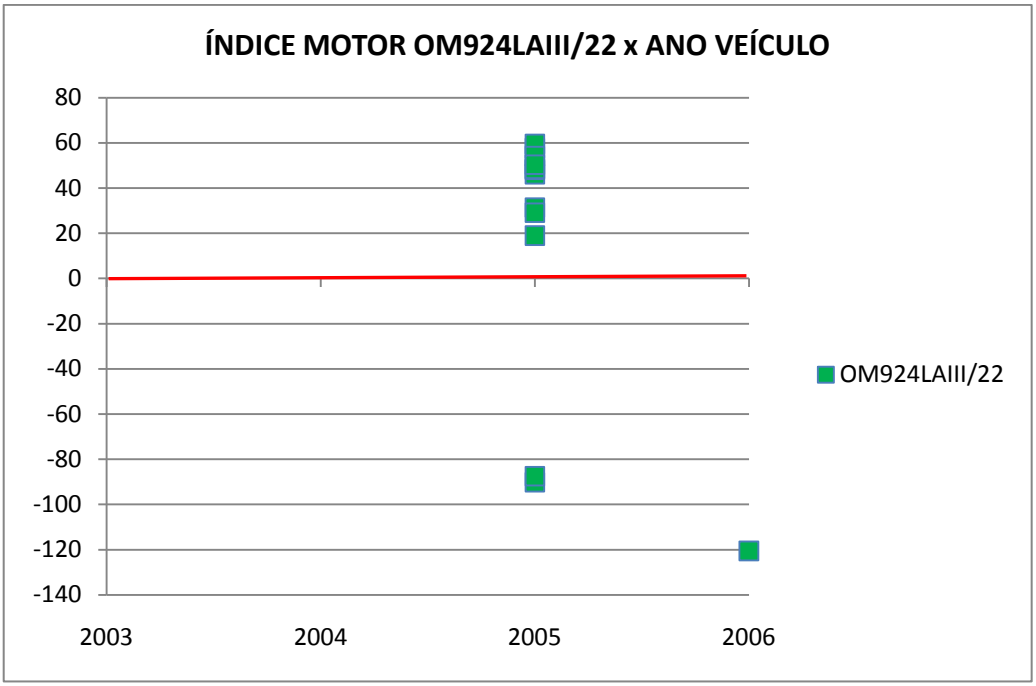


Figura 4 – Índice de opacidades encontrados em motores OM924LAIII/22

Tabela 6 – Motor OM 924 LA.III/25 médias operacionais e medias de referência

MODELO	Ano_Fab	X_{OP}	X_{ref}
OM 924 LA.III/25	2006	0.4	23.361
OM 924 LA.III/25	2006	0.42	19.051
OM 924 LA.III/25	2006	0.33	36.624
OM 924 LA.III/25	2006	0.51	2.2259
OM 924 LA.III/25	2006	0.56	-7.7502
OM 924 LA.III/25	2006	0.43	16.519

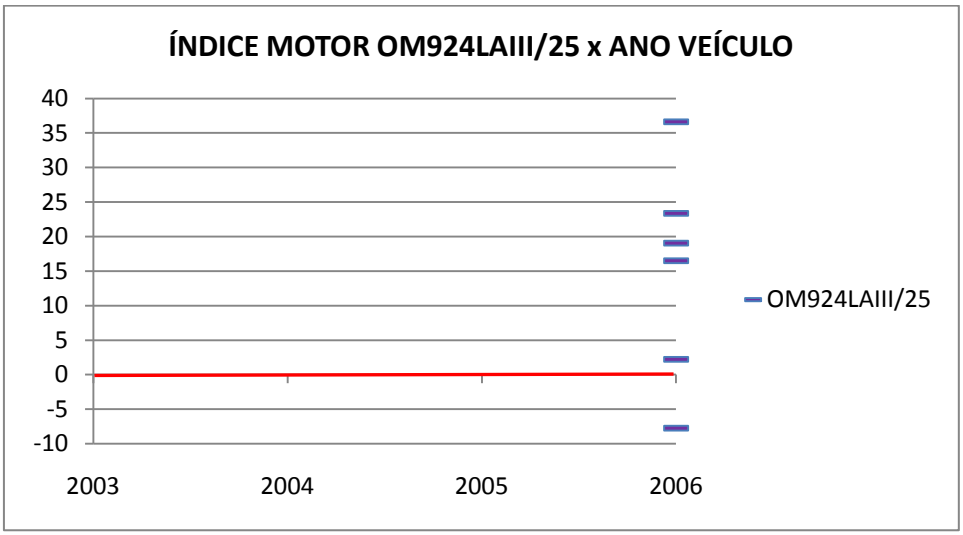


Figura 5 – Índice de opacidades encontrados em motores OM904LAIII/25

Apêndice 3 - Índices de falhas relatadas no banco de dados

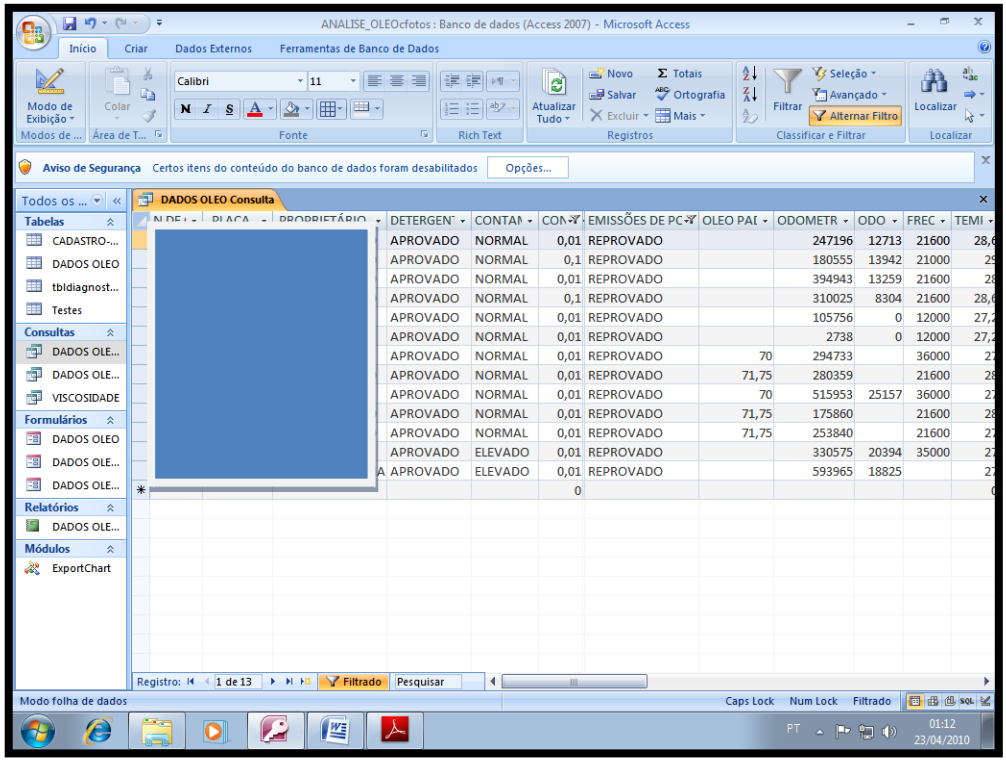


Figura 1 – Falha 2

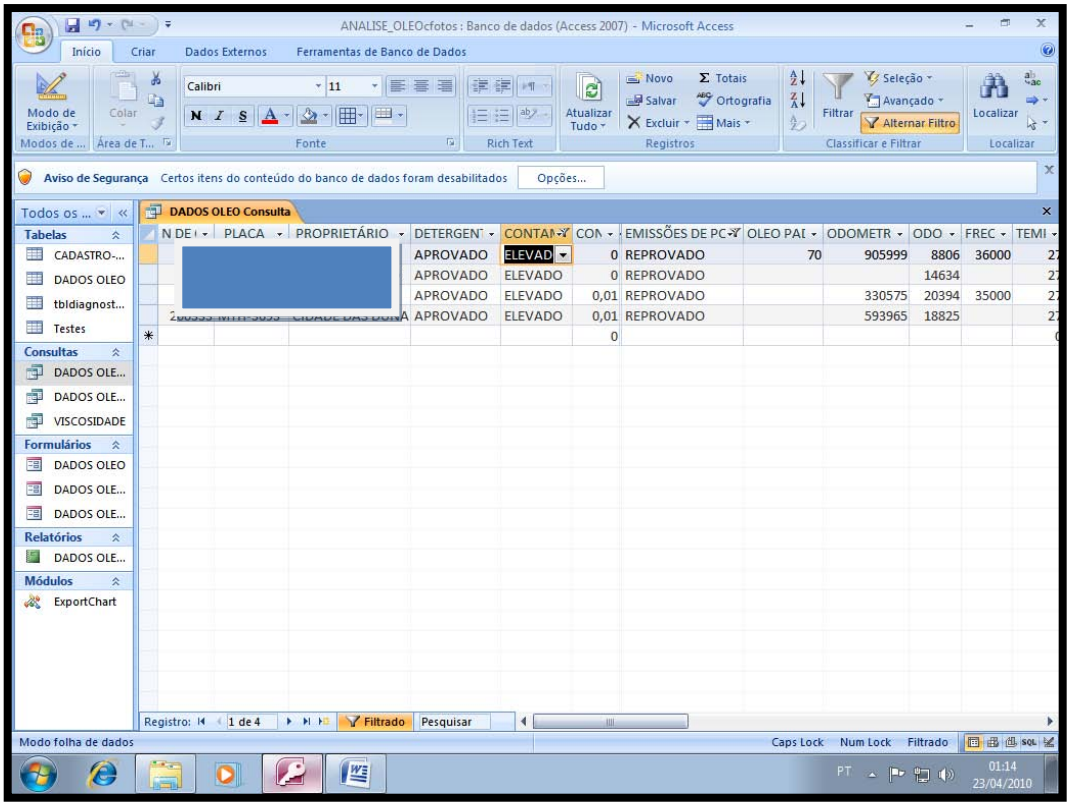


Figura 2 - Falha 3

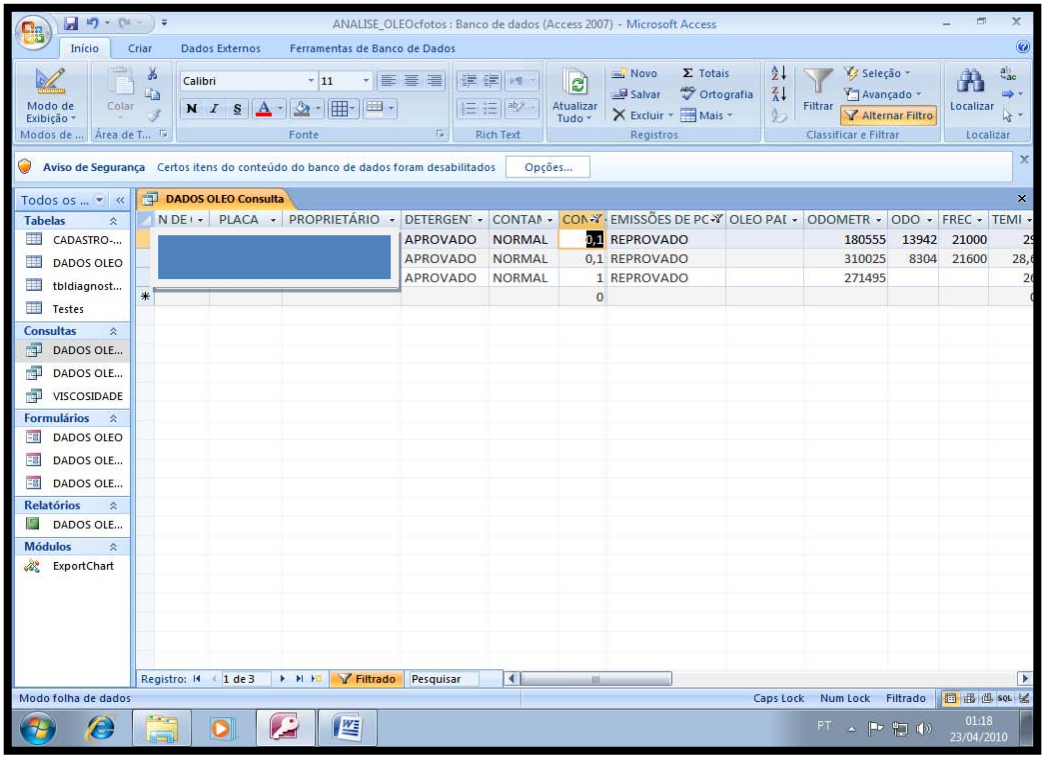


Figura 3 - Falha 4

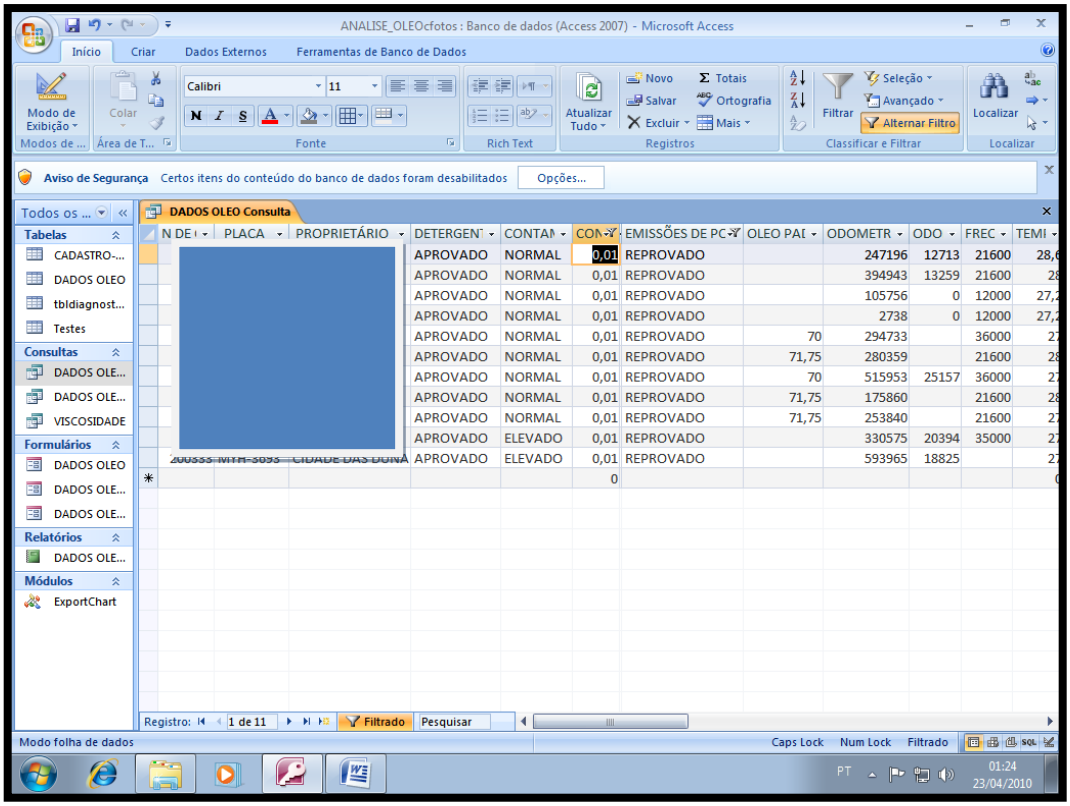


Figura 4 - Falha 6

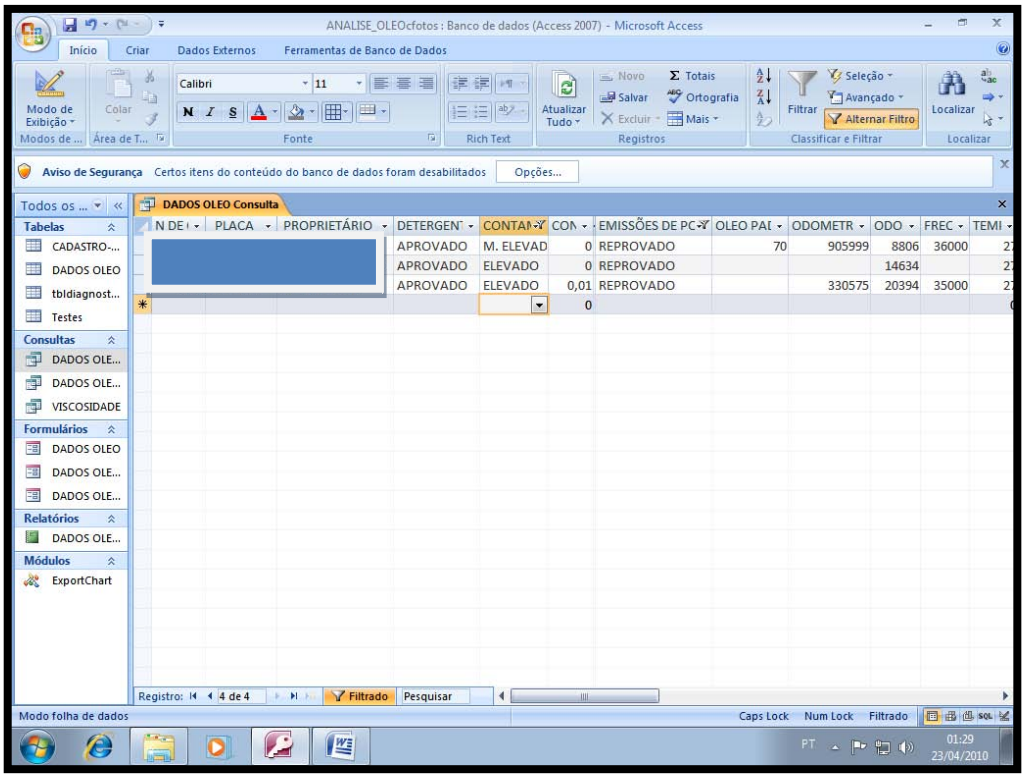


Figura 5 - Falha 7

Apêndice 4 – *chek list* e relatórios da análise de opacidade

UFRN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

LISTA DE INSPEÇÃO E CHEK LIST PAR CADASTRO DE CLIENTES.

ORDEM DE SERVIÇO Nº [redacted]

DADOS COMPLEMENTARES DO VEICULO PARA INCLUSÃO NO PROGRAMA

MARCA/MODELO: MARCEDES-BENZ

PLACA: [redacted]

ESPÉCIE/TIPO: ÔNIBUS

VALOR DO K: 1,15

KM de entrada 593411

KM C/ OLEO

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO:

ITEM	DESCRIÇÃO	LEGENDA
1.0	RETIRAR RELÓGIO, CORRENTES OUTROS ADERESSOS QUE POSSAM SE ENGANCHAR COM AS PARTES MÓVEIS DO MOTOR	✓
1.1	COLOCAR OS EPI'S (LUVAS, OCULOS E PROTETOR AURICULAR)	✓
1.2	DOCUMENTAÇÃO DO VEÍCULO	✓
1.3	CRLV OU CRV OU DOC. FISCAL DE AQUISIÇÃO	✓
2.0	INSPEÇÃO VISUAL DO VEÍCULO	✓
2.1	VERIFICAR NÍVEL DE AGUA E DE OLEO (COM O MOTOR FRIO)	NA
2.2	VERIFICAR O LACRE DA BOMBA INJETORA	✓
2.2.1	VERIFICAR SE HÁ VAZAMENTOS APARENTES DE OLEO NO MOTOR	✓
2.3	VERIFICAR SE ALGUM COMPONENTE ORIGINAL DO VEICULO FOI ALTERADO	✓
3.0	FUNCIONAMENTO DO VEÍCULO	✓
3.1	COLOCAR OS CALÇOS NOS PENEUS DO VEICULO	✓
3.2	ACIONAR O FREIO DE ESTACIONAMENTO E POSICIONAR A O CAMBIO NA POSIÇÃO NEUTRO	✓
3.3	ACIONAR O MOTOR DO VEICULO	✓
3.4	VERIFICAR BATIDAS OU BARULHOS ESTRANHOS NO MOTOR	✓
3.5	VERIFICAR SE HÁ VAZAMENTOS NO TUBO DO ESCAPAMENTO	✓
3.6	VERIFICAR A COLORAÇÃO DA FUMAÇA ORIUNDA DO ESCAPAMENTO ACELERANDO O VEÍCULO	✓
3.7	DESLIGAR O VEÍCULO	✓
4.0	SISTEMAS E COMPONENTES PARA A REALIZAÇÃO DO TESTE DE OPACIDADE	✓
4.1	LIGAR O KTT A BATERIA (PRIMEIRO O POLO NEGATIVO)	✓
4.2	INSTALAR O SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOPAR) VERIFICANDO O TAMANHO DA VARETA DE OLEO	✓
4.3	INSERIR O OPACIMETRO NO ESCAPAMENTO	✓
5.0	ENSÁIO DE OPACIDADE	✓
5.1	VERIFICAR O NUMERO DE CILINROS DO VEICULOS PARA INSERÇÃO NO KTT	✓
5.2	VERIFICAR SE O KTT ESTÁ INFORMANDO CORRETAMENTE A LEITURA DO RPM (LIGAR FAROIS E LUZES)	✓
5.3	REALIZAR OS TESTES CONFORME INSTRUÇÕES DO PROGRAMA	✓
5.4	AO FINALIZAR O ENSÁIO DESLIGAR O VEÍCULO	✓
6.0	DESCONECTAR O KTT AO CABO DA BATERIA DO VEÍCULO (PRIMEIRO POSITIVO)	✓
6.0.1	FEIXAR O COMPARTIMENTO DA BATERIA	✓
6.1	RETIRAR O SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOPAR)	✓
6.2	ENROLAR OS FIOS E GUARDAR O KTT E O OPACIMETRO	✓
7.0	COLETA DE OLEO	✓
7.1	INSCREVER NÚMERO DA PLACA NO RECIPIENTE DE COLETA COM LÁPIS PERMANENTE	✓
7.2	MEDIR A MANGUEIRA DE COLETA IGUAL AO TAMANHO DA VARETA DE OLEO E INTRODUZIR-LA PARA RETIRADA DA AMOSTRA DE OLEO.	✓
7.3	COM O AUXILIO DA BOMBA DE SUCÇÃO RETIRAR UMA PEQUENA QUANTIDADE DE OLEO, LIMPAR A BOMBA E FAZER DESCARTE EM LOCAL APRORIADO.	✓
7.4	FAZER A SUCÇÃO DE TODO O CONTEUDO DA BOMBA E INSERIR NO RECIPIENTE ATÉ COMPLETAR 50 MI APROX.	✓
7.5	RETIRAR MANGUEIRA.	✓
7.6	RECOLOCAR A-VARETA DE OLEO E FECHAR A TAMPA DO MOTOR	✓
8.0	SE VEÍCULO APROVADO FIXAR DO SELO VERDE NO PARA BRISA DO VEÍCULO	✓
8.1	RETIRAR FOTO DO VEÍCULO LATERAL TRAZEIRA ESQUERDA (PLACA) / (E DA NÃO CONFORMIDADE)	✓

NOTAS:

- Caso o veiculo seja aprovado haverá a emissão do laudo de conformidade com as resoluções.
- Se reprovado haverá a emissão de um relatório de não conformidade, sendo estabelecida uma análise de possíveis causas prováveis das avarias que o veiculo está apresentando, portanto o não cumprimento deste reparo implicará que o veiculo está em desconformidade com os critérios estabelecidos pelas resoluções vigentes no país.
- Não nos responsabilizamos por pertences deixados no interior do veiculo
- A metodologia aplicada na execução da amostra ficará a critério da UMAEG.

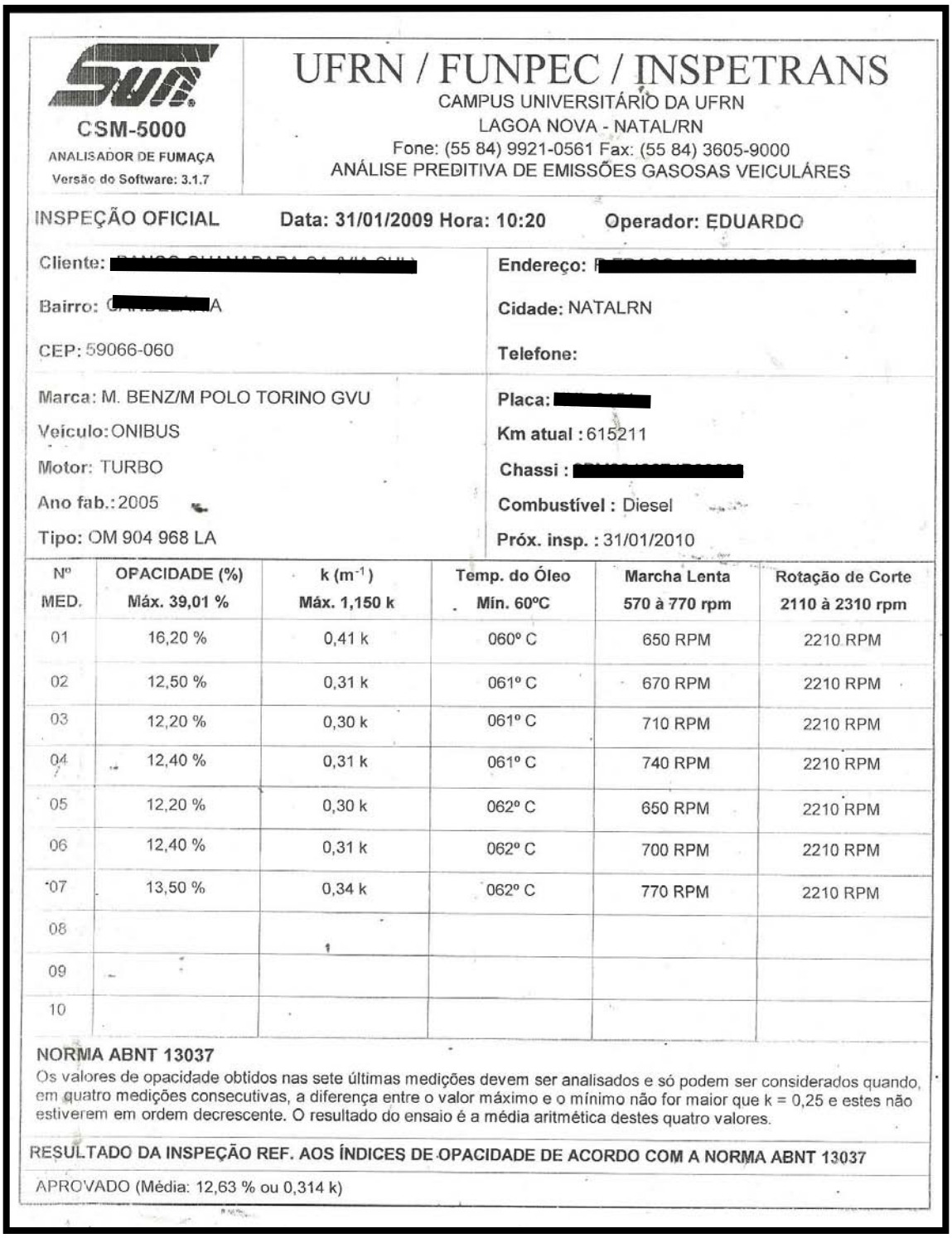
LEGENDA	DESCRIÇÃO
✓	APROVADO
R	REPROVADO
	NÃO APLICÁVEL

DATA: 01 NOV 2023

INSPETOR: WENDELL ALCANTARA

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Figura 1 - *Check-list* de veículo



CSM-5000
ANALISADOR DE FUMAÇA
Versão do Software: 3.1.7

UFRN / FUNPEC / INSPETRANS

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UFRN
LAGOA NOVA - NATAL/RN
Fone: (55 84) 9921-0561 Fax: (55 84) 3605-9000
ANÁLISE PREDITIVA DE EMISSÕES GASOSAS VEICULÁRES

INSPEÇÃO OFICIAL **Data: 31/01/2009 Hora: 10:20** **Operador: EDUARDO**

Cliente: [redacted] **Endereço:** [redacted]

Bairro: [redacted]A **Cidade:** NATALRN

CEP: 59066-060 **Telefone:**

Marca: M. BENZ/M POLO TORINO GVU **Placa:** [redacted]

Veículo: ONIBUS **Km atual :** 615211

Motor: TURBO **Chassi :** [redacted]

Ano fab.: 2005 **Combustível :** Diesel

Tipo: OM 904 968 LA **Próx. insp. :** 31/01/2010

Nº MED.	OPACIDADE (%) Máx. 39,01 %	k (m^{-1}) Máx. 1,150 k	Temp. do Óleo Mín. 60ºC	Marcha Lenta 570 à 770 rpm	Rotação de Corte 2110 à 2310 rpm
01	16,20 %	0,41 k	060º C	650 RPM	2210 RPM
02	12,50 %	0,31 k	061º C	670 RPM	2210 RPM
03	12,20 %	0,30 k	061º C	710 RPM	2210 RPM
04	12,40 %	0,31 k	061º C	740 RPM	2210 RPM
05	12,20 %	0,30 k	062º C	650 RPM	2210 RPM
06	12,40 %	0,31 k	062º C	700 RPM	2210 RPM
07	13,50 %	0,34 k	062º C	770 RPM	2210 RPM
08					
09					
10					

NORMA ABNT 13037

Os valores de opacidade obtidos nas sete últimas medições devem ser analisados e só podem ser considerados quando, em quatro medições consecutivas, a diferença entre o valor máximo e o mínimo não for maior que k = 0,25 e estes não estiverem em ordem decrescente. O resultado do ensaio é a média aritmética destes quatro valores.

RESULTADO DA INSPEÇÃO REF. AOS ÍNDICES DE OPACIDADE DE ACORDO COM A NORMA ABNT 13037

APROVADO (Média: 12,63 % ou 0,314 k)

Figura 2 - Laudo de opacidade de veículo aprovado (frente)

UFRN / FUNPEC / INSPETRANS

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UFRN
LAGOA NOVA – NATAL / RN
Fone: (84) 9921-0561

PESQUISA E ANÁLISE PREDITIVA DE EMISSÕES GASOSAS VEICULÁRES EM FROTAS CATIVAS COM MOTORIZAÇÃO DIESEL

Eduardo Viana de Sousa
Registro no CREA: 0402428757
PESQUISADOR

O veículo rodoviário acima foi inspecionado conforme os requisitos estabelecidos na legislação pertinente e as normas legais visando atestar o atendimento aos índices de opacidade. Este laudo não pressupõe qualquer garantia explicita ou implícita pela unidade móvel de inspeção relativa aos componentes inspecionados nem isenta o fabricante / transformador / instalador / proprietário do veículo de suas responsabilidades quanto aos danos pessoais, materiais ou quaisquer perdas provocadas por problemas de instalação, fabricação, manutenção ou operação incorreta.

Figura 3 - Laudo de opacidade evidenciando a amostra (verso)

LISTA DE INSPEÇÃO E CHEK LIST PAR CADASTRO DE CLIENTES.

ORDEM DE SERVIÇO Nº. [redacted]

DADOS COMPLEMENTARES DO VEICULO PARA INCLUSÃO NO PROGRAMA

MARCA/MODELO: MERCEDES-BENZ — PLACA: [redacted]

ESPÉCIE/TIPO: ONIBUS — VALOR DO K: — KM de entrada 216001 — KM C/ OLEO 3000 km

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO:

ITEM	DESCRIÇÃO	LEGENDA
1.0	RETIRAR RELÓGIO, CORRENTES OUTROS ADERESSOS QUE POSSAM SE ENGANCHAR COM AS PARTES MÓVEIS DO MOTOR	✓
1.1	COLOCAR OS EPI´S (LUVAS, OCULOS E PROTETOR AURICULAR)	✓
1.2	DOCUMENTAÇÃO DO VEÍCULO	✓
1.3	CRLV OU CRV OU DOC. FISCAL DE AQUISIÇÃO	✓
2.0	INSPEÇÃO VISUAL DO VEÍCULO	✓
2.1	VERIFICAR NÍVEL DE AGUA E DE OLEO (COM O MOTOR FRIO)	✓
2.2	VERIFICAR O LACRE DA BOMBA INJETORA	R
2.2.1	VERIFICAR SE HÁ VAZAMENTOS APARENTES DE OLEO NO MOTOR	
2.3	VERIFICAR SE ALGUM COMPONENTE ORIGINAL DO VEICULO FOI ALTERADO	
3.0	FUNCIONAMENTO DO VEÍCULO	
3.1	COLOCAR OS CALÇOS NOS PENEUS DO VEICULO	
3.2	ACIONAR O FREIO DE ESTACIONAMENTO E POSICIONAR A O CAMBIO NA POSIÇÃO NEUTRO	
3.3	ACIONAR O MOTOR DO VEICULO	
3.4	VERIFICAR BATIDAS OU BARULHOS ESTRANHOS NO MOTOR	
3.5	VERIFICAR SE HÁ VAZAMENTOS NO TUBO DO ESCAPAMENTO	
3.6	VERIFICAR A COLORAÇÃO DA FUMAÇA ORIUNDA DO ESCAPAMENTO ACELERANDO O VEÍCULO	
3.7	DESLIGAR O VEÍCULO	
4.0	SISTEMAS E COMPONENTES PARA A REALIZAÇÃO DO TESTE DE OPACIDADE	
4.1	LIGAR O KTT A BATERIA (PRIMEIRO O POLO NEGATIVO)	
4.2	INSTALAR O SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOPAR) VERIFICANDO O TAMANHO DA VARETA DE OLEO	
4.3	INSERIR O OPACIMETRO NO ESCAPAMENTO	
5.0	ENSÁIO DE OPACIDADE	
5.1	VERIFICAR O NUMERO DE CILINROS DO VEICULOS PARA INSERÇÃO NO KTT	
5.2	VERIFICAR SE O KTT ESTÁ INFORMANDO CORRETAMENTE A LEITURA DO RPM (LIGAR FAROIS E LUZES)	
5.3	REALIZAR OS TESTES CONFORME INSTRUÇÕES DO PROGRAMA	
5.4	AO FINALIZAR O ENSÁIO DESLIGAR O VEÍCULO	
6.0	DESCONECTAR O KTT AO CABO DA BATERIA DO VEÍCULO (PRIMEIRO POSITIVO)	
6.0.1	FEIXAR O COMPARTIMENTO DA BATERIA	
6.1	RETIRAR O SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOPAR)	
6.2	ENROLAR OS FIOS E GUARDAR O KTT E O OPACIMETRO	
7.0	COLETA DE OLEO	
7.1	INSCREVER NÚMERO DA PLACA NO RECIPIENTE DE COLETA COM LÁPIS PERMANENTE	
7.2	MEDIR A MANGUEIRA DE COLETA IGUAL AO TAMANHO DA VARETA DE OLEO E INTRODUZIR-LA PARA RETIRADA DA AMOSTRA DE OLEO.	
7.3	COM O AUXILIO DA BOMBA DE SUCÇÃO RETIRAR UMA PEQUENA QUANTIDADE DE OLEO, LIMPAR A BOMBA E FAZER DESCARTE EM LOCAL APRORIADO.	
7.4	FAZER A SUCÇÃO DE TODO O CONTEUDO DA BOMBA E INSERIR NO RECIPIENTE ATÉ COMPLETAR 50 MI APROX.	
7.5	RETIRAR MANGUEIRA.	
7.6	RECOLOCAR A VARETA DE OLEO E FECHAR A TAMPA DO MOTOR	
8.0	SE VEÍCULO APROVADO FIXAR DO SELO VERDE NO PARA BRISA DO VEÍCULO	
8.1	RETIRAR FOTO DO VEÍCULO LATERAL TRAZEIRA ESQUERDA (PLACA) / (E DA NÃO CONFORMIDADE)	

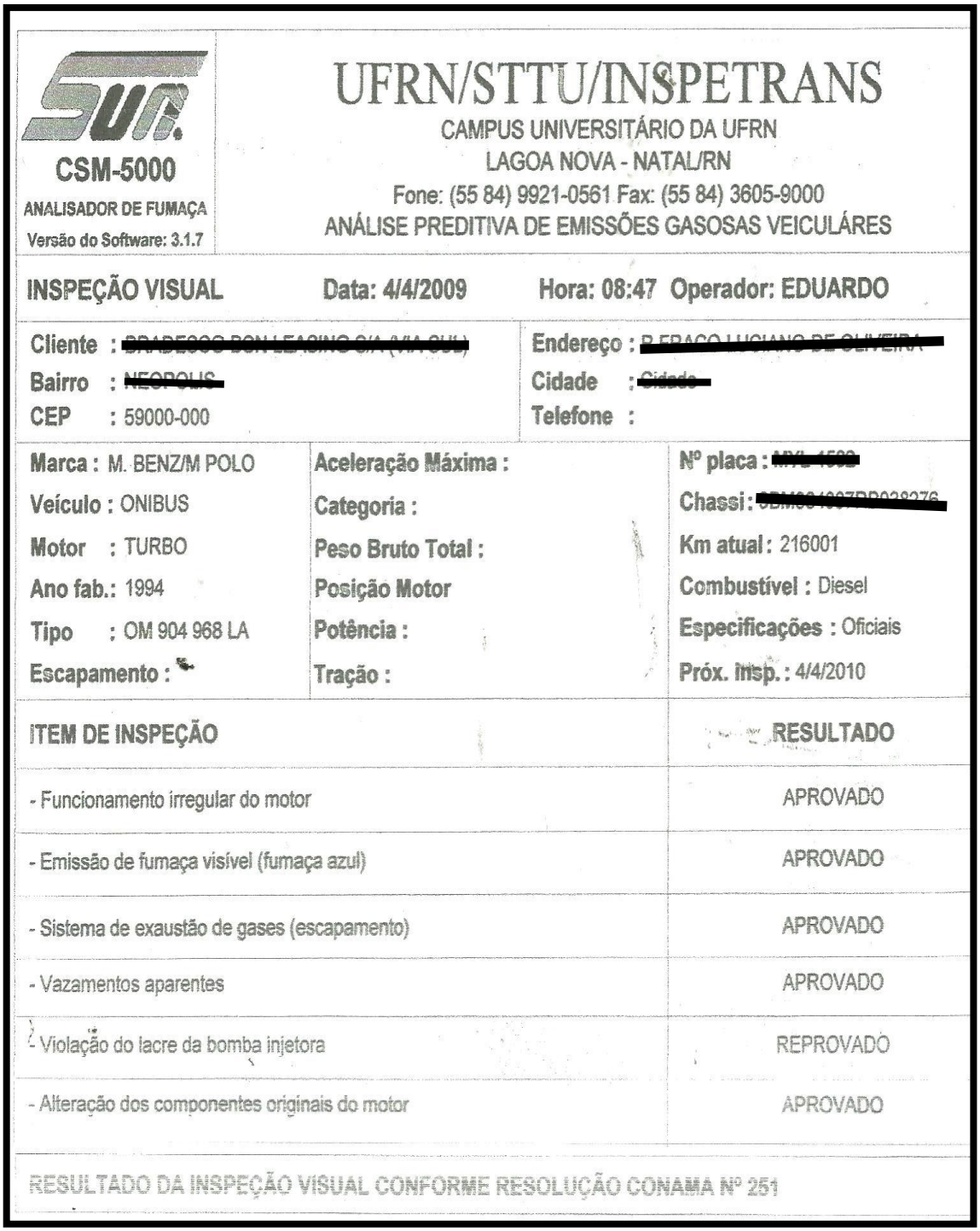
NOTAS:

- Caso o veiculo seja aprovado haverá a emissão do laudo de conformidade com as resoluções.
- Se reprovado haverá a emissão de um relatório de não conformidade, sendo estabelecida uma análise de possíveis causas prováveis das avarias que o veiculo está apresentando, portanto o não cumprimento deste reparo implicará que o veiculo está em desconformidade com os critérios estabelecidos pelas resoluções vigentes no país.
- Não nos responsabilizamos por pertences deixados no interior do veiculo
- A metodologia aplicada na execução da amostra ficará a critério da UMAEG.

LEGENDA	DESCRIÇÃO
✓	APROVADO
R	REPROVADO
	NÃO APLICÁVEL

DATA: 4/4/2008 — INSPETOR: WENDELL ALBANO — RESPONSÁVEL TÉCNICO

Figura 4 - *Check-list* de veículo reprovado na inspeção inicial



CSM-5000
ANALISADOR DE FUMAÇA
Versão do Software: 3.1.7

UFRN/STTU/INSPETRANS

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UFRN
LAGOA NOVA - NATAL/RN
Fone: (55 84) 9921-0561 Fax: (55 84) 3605-9000
ANÁLISE PREDITIVA DE EMISSÕES GASOSAS VEICULÁRES

INSPEÇÃO VISUAL **Data: 4/4/2009** **Hora: 08:47** **Operador: EDUARDO**

Cliente : [redacted]	**Endereço :** [redacted]
Bairro : [redacted]	**Cidade :** [redacted]
CEP : 59000-000	**Telefone :**

Marca : M. BENZ/M POLO	**Aceleração Máxima :**	**Nº placa :** [redacted]
Veículo : ONIBUS	**Categoria :**	**Chassi :** [redacted]
Motor : TURBO	**Peso Bruto Total :**	**Km atual :** 216001
Ano fab.: 1994	**Posição Motor**	**Combustível :** Diesel
Tipo : OM 904 968 LA	**Potência :**	**Especificações :** Oficiais
Escapamento :	**Tração :**	**Próx. insp. :** 4/4/2010

ITEM DE INSPEÇÃO	RESULTADO
- Funcionamento irregular do motor	APROVADO
- Emissão de fumaça visível (fumaça azul)	APROVADO
- Sistema de exaustão de gases (escapamento)	APROVADO
- Vazamentos aparentes	APROVADO
- Violação do lacre da bomba injetora	REPROVADO
- Alteração dos componentes originais do motor	APROVADO

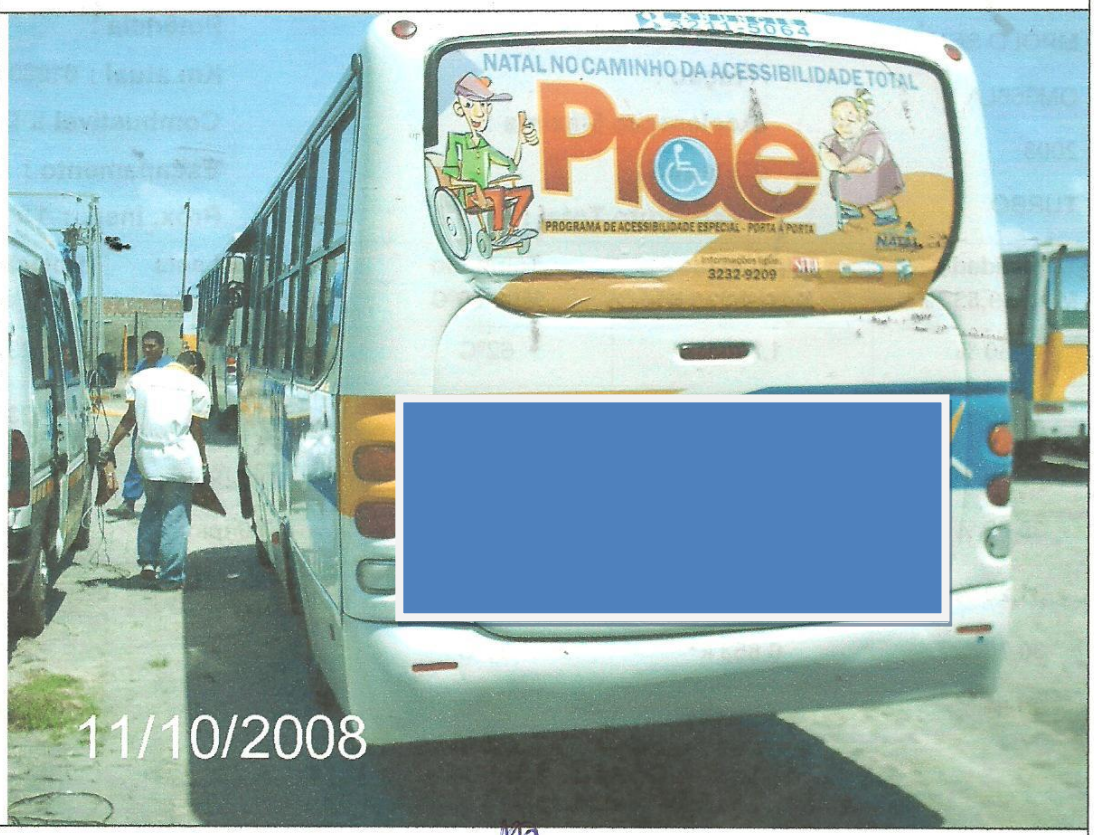
RESULTADO DA INSPEÇÃO VISUAL CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA Nº 251

Figura 5 - Laudo de inspeção veículo reprovado (frente)

UFRN / FUNPEC / INSPETRANS

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UFRN
LAGOA NOVA – NATAL / RN
Fone: (84) 9921-0561

PESQUISA E ANÁLISE PREDITIVA DE EMISSÕES GASOSAS VEICULÁRES EM FROTAS CATIVAS COM MOTORIZAÇÃO DIESEL



Eduardo Viana de Sousa
Registro no CREA: 0402428757
PESQUISADOR

O veículo rodoviário acima foi inspecionado conforme os requisitos estabelecidos na legislação pertinente e as normas legais visando atestar o atendimento aos índices de opacidade. Este laudo não pressupõe qualquer garantia explicita ou implícita pela unidade móvel de inspeção relativa aos componentes inspecionados nem isenta o fabricante / transformador / instalador / proprietário do veículo de suas responsabilidades quanto aos danos pessoais, materiais ou quaisquer perdas provocadas por problemas de instalação, fabricação, manutenção ou operação incorreta.

Figura 6 - Laudo de inspeção (verso)

ANEXOS

Anexo 1 - Anexo da Resolução CONAMA nº 251/99

PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DA OPACIDADE DE VEÍCULOS AUTOMOTORES DO CICLO DIESEL EM USO PELO MÉTODO DE ACELERAÇÃO LIVRE.

1. O inspetor deverá verificar se o veículo apresenta funcionamento irregular do motor, vazamentos aparentes, violação do lacre da bomba injetora, vazamentos e alterações do sistema de escapamento e do sistema de admissão de ar e retirada ou alteração de componentes originais do veículo que influenciam diretamente na emissão de fumaça, bem como se o veículo apresenta emissão de fumaça azul. Caso o veículo apresente pelo menos uma das irregularidades descritas, o veículo será considerado rejeitado, não podendo iniciar os procedimentos de inspeção.

2. Antes de iniciar as medições, o operador deve certificar-se que o veículo está devidamente freado e a alavanca de mudança na posição neutra. Todos os dispositivos que alteram a aceleração do veículo, tais como ar condicionado, freio motor etc., devem ser desligados. O motor do veículo deve estar na temperatura normal de funcionamento e em condições estabilizadas de operação conforme especificado pelo fabricante.

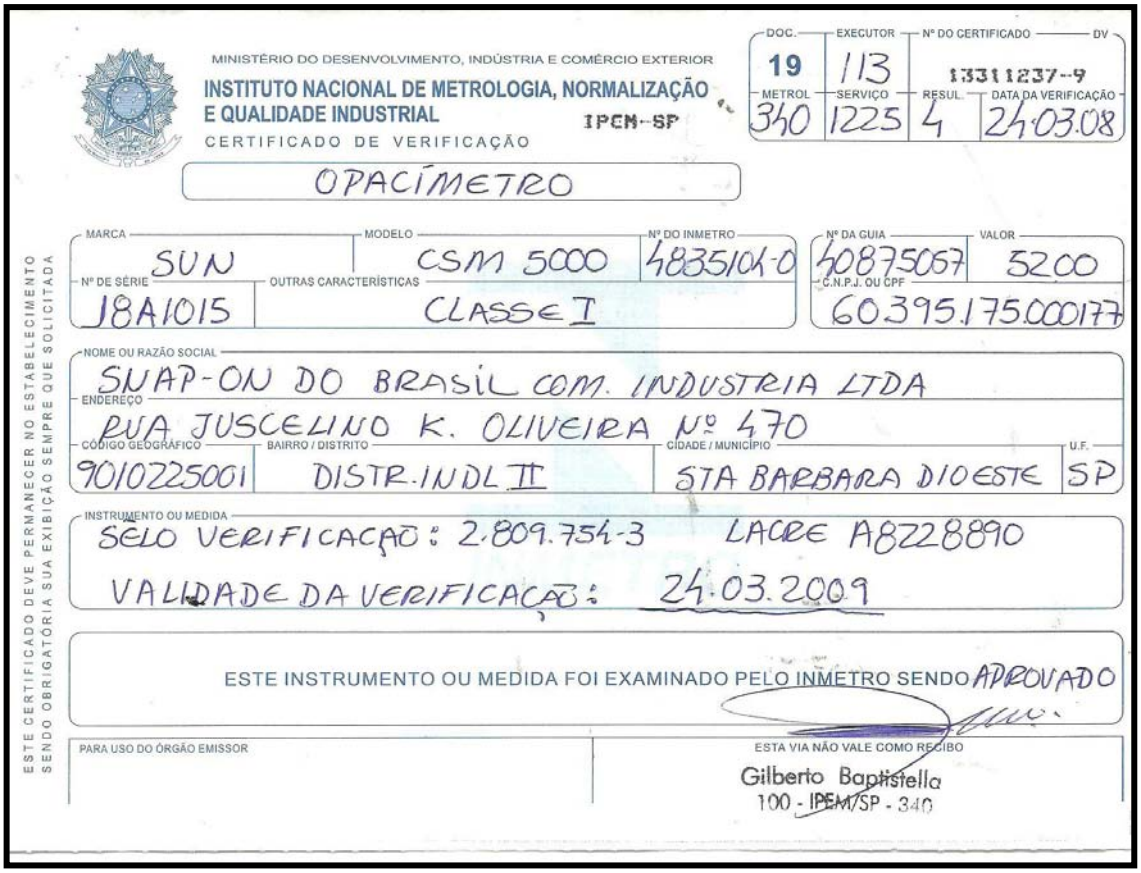
3. O inspetor deverá identificar as características do sistema de alimentação para a correta seleção dos limites aplicáveis para o motor naturalmente aspirado, turboalimentado ou turboalimentado com LDA.

4. Após a inspeção visual, deve-se registrar o valor da velocidade angular de marcha lenta do veículo, que será acelerado em seguida, lentamente, até atingir a velocidade angular de máxima livre do motor, certificando-se de sua estabilização. Deve-se registrar também a velocidade angular de máxima livre, comparando-se os registros com os valores especificados dentro de uma tolerância de ± 100 RPM. Se os valores de velocidade angular registrados não atenderem aos valores especificados o veículo será reprovado. Se ocorrer alguma anormalidade durante a aceleração do motor, o inspetor deverá desacelerar imediatamente o veículo, que também será reprovado.

5. Executar os ensaios para medição de opacidade conforme Norma Brasileira NBR 13037 - Gás de Escapamento Emitido por Motor Diesel em Aceleração Livre - Determinação da Opacidade - Método de Ensaio.

Se o resultado do ensaio for igual ou menor que os limites estabelecidos, o veículo será aprovado, sendo então emitido o Certificado de Aprovação do Veículo. Caso contrário, o veículo será reprovado e será emitido o relatório de Inspeção do Veículo, observados os requisitos do art. 2º desta Resolução.

Anexo 2 - Certificado de calibração opacímetro


MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
IPEM-SP
CERTIFICADO DE VERIFICAÇÃO

DOC. 19 | EXECUTOR 113 | Nº DO CERTIFICADO 13311237-9 | DV
METROL 340 | SERVIÇO 1225 | RESUL. 4 | DATA DA VERIFICAÇÃO 24.03.08

OPACÍMETRO

MARCA: SUN | MODELO: CSM 5000 | Nº DO INMETRO: 4835104-0
Nº DE SÉRIE: J8A1015 | OUTRAS CARACTERÍSTICAS: CLASSE I
Nº DA GUIA: 40875067 | VALOR: 52,00
C.N.P.J. OU CPF: 60.395.175/000177

NOME OU RAZÃO SOCIAL: SNAP-ON DO BRASIL COM. INDUSTRIA LTDA
ENDEREÇO: RUA JUSCELINO K. OLIVEIRA Nº 470
CÓDIGO GEOGRÁFICO: 9010225001 | BAIRRO / DISTRITO: DISTR. INDL II | CIDADE / MUNICÍPIO: STA BARBARA D'OESTE | U.F.: SP

INSTRUMENTO OU MEDIDA
SELO VERIFICAÇÃO: 2.809.754-3 LACRE A8228890
VALIDADE DA VERIFICAÇÃO: 24.03.2009

ESTE INSTRUMENTO OU MEDIDA FOI EXAMINADO PELO INMETRO SENDO APROVADO

PARA USO DO ÓRGÃO EMISSOR

ESTA VIA NÃO VALE COMO RECIBO
Gilberto Baptistella
100 - IPEM/SP - 340

ESTE CERTIFICADO DEVE PERMANECER NO ESTABELECIMENTO SENDO OBRIGATÓRIA SUA EXIBIÇÃO SEMPRE QUE SOLICITADA

Figura 1 - Certificado de calibração opacímetro

Anexo 3 - Especificações técnicas dos equipamentos.

Tabela 1: Especificações técnicas do opacímetro CSM-5000

Unidades de medição:	K(m^{-1}) N (%)
Alimentação:	220 V AC
Saída:	RS 232

Tabela 2: Condições de trabalho do opacímetro CSM 5000:

Temperatura ambiente:	5 a 40 C
Umidade:	0 a 95%
Poluição ambiente:	2 % máx. (ótica)
Comprimento físico:	174 mm
Comprimento óptico:	364 mm
Colimação:	3
Fonte de luz:	led verde 560 mm
Detector:	Arsenide de Gallium
Tempo de resposta:	1 ms
Temperatura da câmara:	75^0 C
Estabilidade:	+/– 1,0 %
Acuracidade:	+/– 2 % relativo
Resolução:	0,1 %
Dimensões:	380 x 270 x 420 mm
Peso:	7,700 kg
Altitude	-305 a 2133 m
Laptop	Compatível com IBM PC (DELL) modelo latitude D 630
Memória RAM	2 GB
Impressora	HP – deskjet D 2400 Series - Jato de tinta

Tabela 3: Especificações técnicas do KTT

Medida de rotação:	300 a 9990 RPM
Tempo de resposta:	Menor que 1s
Alimentação:	10 a 28 VDC (0,5A)
Para motores de:	1 a 12 cilindros

Dimensões:	200 x 110 x 49 mm
Peso:	1,100 kg
Altitude	- 305 a 2133 m

Tabela 4: Especificações técnicas do Termopar

Faixa de utilização	- 200 a 1200 ^{0}C
Sensibilidade	41µV/^{0}C
Comprimento	4 m
Peso	50 g
F.E.M. produzida	- 6,458 mV a 48,838 mV

Tabela 5 – Instrumentos do kit de análise de óleo lubrificante

IT	COMPONENTE	QUANT	UTILIZ.
01	Mangueira de Ǿ 5,3 mm, com canhão de acoplamento	1,5 m	Sim
02	Bomba de sucção	01	Sim
03	Becker de 50 ml	02	Sim
04	Becker de 250 ml	01	Sim
05	Viscosímetro portátil – escala saybolt ou c S t	01	Não
06	Angulador para 35 e 40^0	01	Não
07	Beker de 500 ml	01	Não
08	Papel capilar para teste da carac. detergente dispersante	100	Sim
09	Suporte para papel capilar	01	Sim
10	Bastão de cola	01	Sim
11	Chapa de metal cromado com saliência de obstrução	01	Sim
12	Cabo para chapa do teste de água	01	Sim
13	Fogareiro a GLP com acendimento próprio, eletrônico	01	Sim
14	Tubo de ensaio com óleo contaminado a 0,01% de água	10 ml	Sim
15	Tubo de ensaio com óleo contaminado a 0,1% de água	10 ml	Sim
16	Tubo de ensaio com óleo contaminado a 1,00% de água	10 ml	Sim
17	Seringa de vidro de 20 ml com luer look	01	Sim

18	Válvula de 3 vias	02	Sim
19	Pinça metálica com ponta reta e romba	01	Sim
20	Bastão de vidro lapidado	01	Sim
21	Pedestal para proveta de 25 ml	01	Sim
22	Proveta de 25 ml	01	Sim
23	Bombonas com membranas filtrantes	100	Sim
24	Recipiente contendo hexano p.a	500 ml	Sim
25	Kitassato de 125 ml	01	Sim
26	Adaptador suynex/kitassato	01	Sim
27	Laminas para microscópio	06	Sim
28	Pedestal para microscópio	01	Sim
29	Microscópio de até 100 x com iluminação dirigida	01	Sim
30	Pilhas alcalinas A.A.	02	Sim
31	Suporte para membrana filtrante	01	Sim
32	Retentor para suporte de membrana filtrante	01	Sim
33	Imã para teste de ferrosos	01	Não
34	Manual de instruções	01	Sim
35	Maleta com berço específico	01	Sim