

# IMPORTÂNCIA DA ESPECTROFOTOMETRIA NO MONITORAMENTO DE FALHAS EM MOTORES DIESEL

Ademilson José de Oliveira Junior<sup>1</sup>; Felipe Santos Moreira<sup>2</sup>; Nelson Pimenta Neto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Faculdade de Talentos Humanos - FACTHUS, Uberaba (MG), Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia (MG), Brasil

ademilsonjunior\_93@hotmail.com, felipe.moreira@facthus.edu.br, nelson.neto@facthus.edu.br

**RESUMO:** O presente trabalho tem como principal objetivo mostrar a redução de custos na manutenção de motores da linha diesel de veículos de transporte canavieiro através da espectrofotometria de absorção atômica na análise de óleo lubrificantes, mostrando os resultados obtidos com as análises e apresentar as falhas ocorridas durante o tempo de produção em safra, comparando gastos antes da implantação e mostrando a redução com custos de manutenção e suprimentos. Na questão dos resultados, é mostrado os elementos analisados nas amostras de óleo lubrificante e combinações de elementos que definem desgastes dos componentes dos motores. A pesquisa mostra o espectrofotômetro de absorção atômica o investimento necessário para aquisição do mesmo e o funcionamento no momento da análise.

**PALAVRAS CHAVE:** análise de lubrificantes; absorção atômica; espectrofotometria; lubrificação; motor diesel.

## IMPORTANCE OF SPECTROPHOTOMETRY FAULT MONITORING IN DIESEL ENGINES

**ABSTRACT:** This paper aims to show cost savings in maintaining diesel engine line sugarcane transport vehicles by atomic absorption spectrophotometry in lubricating oil analysis, showing results obtained with the analysis and present the failures occurred during the production time for harvest, comparing expenditures before deployment and showing the reduction in maintenance costs and supplies. The question of the results is shown the elements analyzed in the lubricating oil samples and combinations of elements that define wear of engine components. Research shows the atomic absorption spectrophotometer the investment required to purchase the same and functioning at the time of analysis.

**KEYWORDS:** analysis of lubricants; atomic absorption; spectrophotometry; lubrication; diesel engine.

## INTRODUÇÃO

A constante evolução da inovação tecnológica, faz com que as empresas se tornem cada vez mais empenhadas em investir em novos processos, em busca de confiabilidade na manutenção e disponibilidade integral dos equipamentos, visando a qualidade e o menor custo de manutenção.

Em termos de gerenciamento de manutenção, as empresas têm dado maior atenção ao monitoramento dos equipamentos, ou seja, o conhecimento e previsão de suas condições. Desta forma, implementam planos de manutenção preditiva, que otimizam, através das técnicas e ferramentas disponíveis, a detecção de falhas e defeitos de equipamentos, afim de evitar paradas inesperadas (SILVA, 2004).

Na linha veicular automotiva, os gastos com manutenção são designados ao motor e à caixa de transmissão, por serem, de forma geral, os componentes de maior custo na estrutura de um veículo automotor. Após o processo de amaciamento desses componentes, que consiste na acomodação das partes que possuem movimentos relativos, estes sofrem um desgaste inicial e liberam partículas que ficam em suspensão no óleo, se acumulando no sistema, sendo eliminadas após a primeira

troca de óleo. A partir desta troca inicia-se o devido monitoramento, com a lubrificação e manutenção dos componentes elementares de um veículo automotor.

O monitoramento irá permitir conhecer o estado e as condições dos componentes, a ocorrência de desgastes em certos componentes da estrutura de um motor à combustão, pode ocasionar o desgaste de outros componentes interligados a ele.

A análise do óleo lubrificante possibilita conhecer as condições que ele se encontra, sendo possível identificar falhas do equipamento e evitá-las através de uma manutenção pró-ativa.

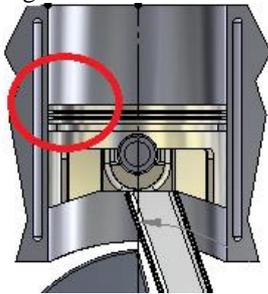
A técnica de espectrofotometria de absorção atômica (ICP), identifica elementos metálicos, o grau e a natureza dos mesmos, mensurando o teor dos elementos contidos na amostragem.

O objetivo deste trabalho é estudar os elementos que compõem os motores a diesel de veículos automotores, com destaque na técnica de espectrofotometria de absorção atômica para análise de óleo lubrificante, que possibilita a detecção dos componentes que sofrem desgaste e comparar custos da manutenção pró-ativa com a manutenção corretiva aplicada antes da implantação da técnica preditiva.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), quando uma superfície se move de forma relativa à outra, haverá uma força contrária a esse movimento, ou seja, toda estrutura de equipamentos tendem a realizar o deslocamento entre suas partes na qual o movimento relativo de suas superfícies gera uma força de resistência que na qual se denomina atrito, conforme pode-se verificar na Figura 1. O pistão de um motor de combustão interna em atrito com as paredes do cilindro, e gera um aumento de temperatura, que ocasiona desgaste superficial dos elementos. Para reduzir o atrito há a necessidade da lubrificação, ou seja, utilizar o fluido lubrificante adequado, que atenda às exigências de operação do equipamento.

Figura 1: Pistão em movimento no cilindro.



Fonte: Adaptado de Dantas, 2010.

A camada fluida (líquida ou gasosa) que separa as superfícies em movimento, é denominada lubrificante. O fluido lubrificante utilizado nos equipamentos tem como principal função reduzir a fricção das partes do equipamento, auxiliando na refrigeração, vedação, proteção contra a corrosão e manter a limpeza da estrutura do equipamento. O fluido permanece em contato todo tempo com as estruturas e componentes do equipamento, sendo possível verificar a situação em que se encontra (Carreteiro e Belmiro, 2006).

A análise do óleo possibilita identificar as condições de desempenho do óleo lubrificante, e verificar a presença de partículas em suspensão no fluido.

Segundo Nepomuceno (1989), alinhado a um plano de manutenção preventiva, a análise do óleo lubrificante gera um custo-benefício: aumenta a vida útil do equipamento, detecta falhas e minimiza possíveis danos. A identificação da quantidade de partículas de dimensões de pequeno grau, possibilita a verificação da estrutura do equipamento.

Com o avanço das tecnologias, os motores têm sido fabricados utilizando materiais mais leves e resistentes, que possibilita a melhora da troca de calor com o meio externo, tenacidade, ductilidade e da capacidade de absorver vibrações, prolongando a vida útil do motor (Guesser e Guedes, 1997).

Os materiais disponíveis para construção de blocos de motores diesel são ferros fundidos cinzentos, ferros fundidos vermiculares e ligas de alumínio. Com a intenção de reduzir custos e melhor manejo na fabricação dos

componentes dos motores, o ferro fundido cinzento é o mais utilizado, por ser um material que possui características de amortecimento, resistência mecânica, fusão e fácil moldagem (Gabaldo, 2010).

Segundo Chiaverini (1996), o ferro fundido cinzento possui vários elementos em sua composição, como carbono (C), silício (Si), manganês (Mn), fósforo (P) e enxofre (S), cada elemento com sua função definida na estrutura.

Podemos verificar alguns dos principais componentes dos motores de combustão interna do ciclo diesel, observando sua localização. Conforme mostrado na Figura 2, o cabeçote está localizado na parte superior de um motor, onde estão agrupados e montados os balancins, sede de válvulas, guias e unidades injetoras (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 2 : Cabeçote de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

Observa-se na Figura 3, a parte central do motor, onde todos os outros elementos que compõem o mesmo são montados, localizado a maior parte das galerias do circuito de lubrificação por onde o óleo é bombeado para realizar seu trabalho (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 3: Bloco de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015

A Figura 4 apresenta o cárter, que é localizado na parte inferior do motor, com funções de reservatório do óleo lubrificante, proteger as partes móveis inferiores do motor. O cárter está diretamente em contato com o ar ambiente, o que ajuda no resfriamento do óleo lubrificante pela troca de calor com o ambiente, sendo fabricado em ligas de alumínio, para facilitar a troca de calor do motor (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 4: Cárter de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

A Figura 5 mostra a biela do motor, fabricada em aço forjado, composta por dois elos, responsável por transmitir o movimento retilíneo do pistão à árvore de manivelas (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 5: Biela de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

A Figura 6 mostra as buchas, denominadas bronzinas, capa ou casquilhos, que são alojadas entre as superfícies de contato da biela e da árvore de manivelas formando uma bucha de bronze, reduzindo o atrito entre esses componentes de alto valor. A bronzina no seu desenho possui um rasgo longitudinal que permite a lubrificação das superfícies dos componentes que a mesma está em contato direto. São fabricadas com ligas de alumínio, estanho, cobre, chumbo e manganês (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 6: Bronzinas de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

Na Figura 7, observa-se o pistão do motor, componente responsável por receber diretamente a energia gerada pela explosão da mistura ar-combustível e transferi-la à árvore de manivelas através do movimento alternativo. Os pistões de motores são fabricados em ferro fundido ou ligas de alumínio (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

A Figura 8 apresenta a árvore de manivelas, designado virabrequim ou girabrequim, responsável por transformar a força do movimento alternativo do pistão em uma força momento de movimento rotativo e transferi-la para os demais componentes ligados as extremidades de seu eixo. A árvore de manivelas geralmente é fabricada em

aço forjado e para elevar sua dureza é realizado um tratamento de tempera por indução (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 7: Pistão de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

Figura 8: Árvore de manivelas de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

Na Figura 9 estão representadas as válvulas que compõem um motor, fabricadas em aço forjado podendo ser encontradas concentrações de níquel e silício em sua estrutura de fabricação. As válvulas são definidas em válvulas de admissão e válvulas de escape, por terem a função de liberar a entrada de ar para dentro da câmara de combustão e eliminar os gases restantes da combustão para o meio externo do motor, podem ser diferenciadas pela sua dimensão, as válvulas de escape são maiores em relação as de admissão (MAHLE AFTERMARKET, 2012).

Figura 9: Válvulas de motor.



Fonte: Tmpeças, 2015.

No sistema de lubrificação dos motores a diesel, o lubrificante permanece em grande quantidade na parte inferior do motor, mesmo em funcionamento. Alojado na parte inferior do motor também está a bomba de óleo lubrificante, que bombeia o óleo contido no cárter até as

galerias internas do motor, realizando a lubrificação dos componentes que estão localizados nas seções superiores do motor. Na Figura 10 pode-se verificar o sistema de circulação do óleo nos compartimentos e galerias do motor.

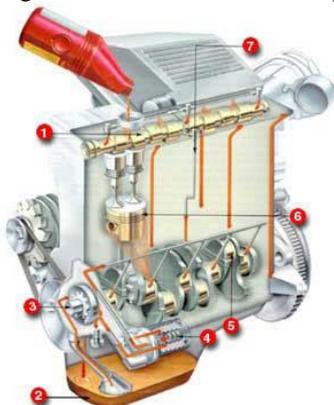
Para lubrificantes dos motores a diesel são levados em conta a resistência oferecida pelas moléculas em se deslocar em relação a outra, dada pela viscosidade e o desempenho definido pelo funcionamento do equipamento com o lubrificante. A viscosidade dos óleos lubrificantes é estabelecida pela classificação SAE (*Society of Automotive Engineers*), que define as características de lubrificantes para motores a combustão interna do ciclo diesel.

A classificação SAE indica o grau de viscosidade por um valor numérico, quanto maior o número maior o grau de viscosidade do lubrificante. Abaixo é listado as variações dos óleos lubrificantes:

- Óleos lubrificantes de verão: SAE 20, 30, 40, 50, 60
- Óleos lubrificantes de inverno: SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W.
- Óleos lubrificantes multiviscosos (verão e inverno): SAE 15W-40, 20W-40, 15W-40.

A técnica de análise do óleo lubrificante por espectrofotometria de absorção atômica tem como propósito, auxiliar o monitoramento das partículas presentes no óleo lubrificante. A análise é muito utilizada na manutenção aeronáutica e na manutenção de motores a combustão em geral.

Figura 10: Sistema de lubrificação de motor.



Fonte: Adaptado de Digus, 2008

Na espectrofotometria de absorção atômica identifica o elemento metálico e determina a concentração de através da absorção da luz emitida pelo equipamento. Ao aplicar uma determinada quantidade de energia sobre um átomo, forçando-o a absorver a mesma, os elétrons de valência se elevam sua energia a um nível superior, com a instabilidade do estado deste átomo, o mesmo retorna ao estado fundamental, liberando a energia aplicada em forma de luz, sendo captada pela célula de absorção, que mensurar o comprimento de onda emitido na liberação da

energia e determinando a quantitativa do elemento presente na amostragem.

Para se realizar a espectrofotometria de absorção atômica é necessário atomizar a amostra a ser analisada. A atomização é definida pela fragmentação de um corpo em partículas menores, que no caso da solução seria passar a mesma do estado atual para o estado gasoso. A atomização na espectrofotometria faz com que a temperatura da amostra seja elevada fazendo com que a mesma forme um plasma. A atomização influencia diretamente na qualidade do resultado a ser alcançado. No Quadro 2, pode se ver os tipos de atomizadores.

Por definição o plasma é considerado o quarto estado físico da matéria diferenciando dos estados sólido, líquido e gasoso, porém o plasma é um gás ionizado que na qual é formado pela alta elevação de temperatura forçando o rompimento das moléculas, ganhando ou perdendo elétrons e formando íons. Pode-se considerar que o número de partículas positivas e negativas seja quase neutras.

Quadro 2: Tipos de atomizadores utilizados na análise espectrométrica.

Tipo de atomizador	Temperatura (°C)
Chama	1700 – 3150
Vaporização eletrotérmica	1200 – 3000
Plasma de argônio	4000 – 6000
Plasma de descarga	Não térmico
Arco elétrico	4000 – 5000
Centelha elétrica	40000 – (?)

Fonte: Adaptado de Sousa, 2013.

Iniciando o processo da análise da amostragem a primeira etapa do processo é introdução que na qual será o meio que a mesma será introduzida no processo da análise espectrométrica. Para introduzir a amostra na análise existem vários meios e métodos que podem ser utilizados, entre eles podemos citar introdução por nebulização pneumática, que na qual a amostra é sugada por capilares pelo fluxo de alta pressão em torno da ponta do tubo, similar a uma pistola utilizada em pinturas automotivas. Ao ser introduzida para análise a amostra passa pelo processo de atomização e em seguida se inicia a análise, como pode ser verificada no diagrama da Figura 11.

Figura 11: Diagrama representativo do processo de ICP.



Fonte: Os autores, 2015.

A fonte de luz é a fonte de radiação que na qual ira emitir o feixe inicial. A fonte de luz é formada por uma lâmpada de descarga sem eletrodos. A radiação emitida pela fonte de luz passa pela fenda de entrada que lineariza

o feixe e transmite o feixe reto ao prisma que irá dispersar a radiação separando em seus diferentes comprimentos de onda referentes a cada material que será analisado, porém em cada situação não é necessário detectar todos os elementos, em tal situação após o prisma está localizado o feixe de saída que seleciona os comprimentos de onda relacionados aos elementos que serão analisados no processo e direciona-os à amostra que em seguida o detector recebe a onda de radiação emitida que na qual gera um corrente elétrica proporcional ao comprimento de onda referente ao elemento detectado. O amplificador amplia o sinal elétrico e contabiliza mostrando no indicador.

No indicador é mostrado os elementos detectados e sua concentração na amostra, a técnica é capaz de detectar uma ampla quantidade de elementos como alumínio, antimônio, bário, magnésio, boro, cálcio, cromo, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e silício. Todos estes elementos podem ser encontrados em inúmeros componentes de qualquer equipamento, inclusive em toda estrutura de um motor de combustão interna.

### MATERIAL E MÉTODOS

Na pesquisa foram realizadas análises em diversas amostras de óleo lubrificantes retiradas dos motores a diesel de uma frota de caminhões da linha pesada canavieira. As amostras foram retiradas em um intervalo de tempo de 400 horas de operação do equipamento.

Cada equipamento opera em média 20 horas diárias, ocorrendo pausas para abastecimento e troca de motorista. Realizando o cronograma das amostragens para não existir interferência na produção, a mesmas foram programadas para serem coletadas a cada 20 dias equivalendo às 400 horas de operação do equipamento, sendo executada durante o período da manhã, na troca do turno, na qual o motor permanece em temperatura de operação.

Com a frota de 40 caminhões a programação foi definida que seria coletada as amostras de 2 equipamentos diariamente, totalizando no prazo de 20 dias a coleta dos 40 equipamentos.

A coleta do óleo foi realizada pelo orifício localizado na parte inferior do cárter, onde o mesmo possui um tampão rosqueado ou bujão. Para realização da coleta foram seguidos os passos abaixo:

- Realizar a limpeza do local da coleta, eliminando umidade, poeira ou quaisquer outros tipos de corpos contaminantes.
- Retirar bujão rosqueado.
- Coleta do óleo utilizando um frasco lacrado enchendo-o até 80% do seu volume.
- Fechar a tampa do frasco e rosquear novamente o bujão.
- Realizar a limpeza externa do frasco e etiquetar o mesmo com os dados do equipamento, data da coleta, e número da amostra.
- Envio da amostra ao laboratório de análises.

Para garantir que a amostra esteja isenta de quaisquer contaminações os frascos utilizados nas coletas são lacrados até a realização da mesma e novamente lacrados após a coleta, realizando a etiquetagem após a coleta

Após a coleta, todas as amostragens de óleo lubrificante dos motores são enviadas ao laboratório para serem analisadas no espectrofotômetro de absorção atômica representado no modelo do Quadro 3. Conforme são realizadas as análises, os resultados são registrados no cadastro virtual de cada equipamento, onde também estão registrados os históricos, como dados das trocas de óleo, de abastecimento, de quebras, manutenções corretivas e preventivas realizadas e os resultados das análises de lubrificantes.

Quadro 3: Modelo de Espectrofotometro.

<b>Espectrofotômetro de Absorção Atômica</b>	
<p><b>Modelo:</b> AA240Z  <b>Fabricante:</b> Varian  <b>Preço:</b> R\$ 25.000,00  <b>Determinações:</b> PPM (partículas por milhão), µg/L (micrograma por litro).  <b>Gás inerte:</b> Argônio</p>	

Fonte: Varian Inc., 2013

Após a coleta de todas amostras, é gerado um relatório relacionado a análise atual conforme pode ser verificada no Quadro 4.

Quadro 4: Modelo de resultados da análise por ICP.

Equipamento	Al	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Si
001	30	13	87	58	0	78	40
002	14	10	47	105	1	47	35
003	25	38	140	12	0	12	24

Fonte: Os autores, 2015.

O relatório mostra os resultados em ppm (partículas por milhão) dos elementos encontrados nas amostragens: Al (Alumínio), Cr (Cromo), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Ni (Níquel), Pb (Chumbo) e Si (Silício).

A metodologia de avaliação da análise é realizada de acordo com os padrões e critérios definidos pelos fabricantes dos equipamentos, a empresa que realizará a análise de óleo coleta informações com o fabricante para determinar os critérios e definir os limites de desgaste em partículas (PPM). O Quadro 5 apresenta os limites permitidos em PPM dos elementos metálicos, seguindo os critérios da empresa de acordo com as recomendações do fabricante.

Quadro 5: Quantidade permitida.

Elemento	Quantidade limite (PPM)	Taxa de Segurança
Alumínio (Al)	20	+6
Cromo (Cr)	20	+4
Cobre (Cu)	100	+15
Ferro (Fe)	200	+20
Níquel (Ni)	20	+4
Chumbo (Pb)	50	+8
Silício (Si)	20	+3

Fonte: Os autores, 2015.

Os elementos encontrados na análise são provenientes dos desgastes dos componentes do motor, na qual a combinação e a quantidade significativa dos mesmos na amostra representam o grau de desgaste além de definir a possível falha ocorrente dos componentes.

Avaliando os resultados podemos definir as condições dos componentes através das combinações do desgaste metálico.

- Alumínio/Chumbo/Ferro/Silício: esta combinação independente do grau de partículas define o desgaste do mancal e da árvore de manivelas (virabrequim), na qual esses elementos são encontrados na estrutura.
- Cromo/ Ferro/ Silício: esta combinação define o desgaste das camisas e dos anéis de raspagem.
- Silício: elemento quando encontrado em um grau mais elevado que os outros elementos definem, a contaminação proveniente da manutenção inadequada de filtros, entrada falsa de ar no sistema de admissão, guarda-pó da vareta do óleo e bocal danificados, pois o silício é encontrado na terra ou poeira em suspensão no ar ambiente.
- Cobre: elemento quando observado na análise define o desgaste em vários componentes como bronzinas, mancais, engrenagens da distribuição ou a passagem do fluido de arrefecimento do motor.
- Chumbo: este elemento encontrado em uma taxa relativamente elevada em relação aos outros elementos pode definir o desgaste de mancais e bronzinas da árvore de manivelas.
- Cromo: pode definir o desgaste de anéis cromados, árvores de manivelas, vazamento interno do fluido de arrefecimento.
- Níquel: elemento quando encontrado pode definir o desgaste das válvulas de escape e admissão do motor.
- Ferro: elemento encontrado praticamente em grande parte da estrutura de um motor, que quando observado na análise em elevadas taxas de partículas pode definir o possível desgaste da bomba de óleo, árvore de manivelas, anéis e camisas dos cilindros, esse desgaste ocorre devido às peças sem aperto ou possíveis quebras da distribuição ou alguma falha na turbina.
- Alumínio: a ocorrência isolada deste elemento na análise, define a possibilidade de desgastes nos

pistões causados pela vibração proveniente do desgaste das bronzinas que na qual o elemento alumínio (Al) pode ser encontrado em alto teor na sua estrutura fabricação.

A avaliação do desgaste a partir dos resultados, pode denunciar uma elevada quantidade de falhas em componentes do motor, porém, um único resultado não garante exatamente falha do componente, o procedimento é realizado avaliando a faixa crescente dos elementos no histórico de análises e comparando com o resultado atual.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises após a emissão do relatório, são enviados para avaliação, que são comparados com histórico de análises de cada equipamento. Com o resultado da análise atual pode-se verificar desgaste normal ou anormal do equipamento e detectar possíveis falhas em componentes do motor.

Nas análises dos resultados algumas frotas mostraram desgastes que já eram de conhecimento da equipe de manutenção, antes da implantação da técnica ICP, como desgaste de bronzinas ou passagem de fluido lubrificante para seções internas do motor, porém a técnica possibilitou a premeditação de falhas severas em alguns equipamentos da mesma linha de fabricação.

Após a implantação do laboratório de análise espectrofotométrica de absorção atômica, pôde-se verificar nos relatórios a crescente taxa isolada do elemento alumínio em 4 dos 40 equipamentos que compõem a frota de canavieiros.

Os valores isolados do alumínio observados no Quadro 6, referente às amostras coletadas sequencialmente caracterizaram o desgaste dos pistões dos motores e das bronzinas. Observa-se no Gráfico 1, a taxa crescente do teor dos elementos contidos nas amostras.

Quadro 6: Histórico de análise espectrofotométrica – Alumínio.

Equipamento	20/04 e 21/04	04/05 e 05/05	24/05 e 25/05	13/06 e 14/06
Frota: 0011	15	18	21	22
Frota: 0012	18	20	23	25
Frota: 0013	14	19	22	24
Frota: 0014	15	19	23	24

Fonte: Os autores, 2015.

Com a avaliação dos resultados e aprovação para parada de manutenção dos equipamentos, após a desmontagem do motor, foi constatado definitivamente o desgaste das bronzinas do mancal.

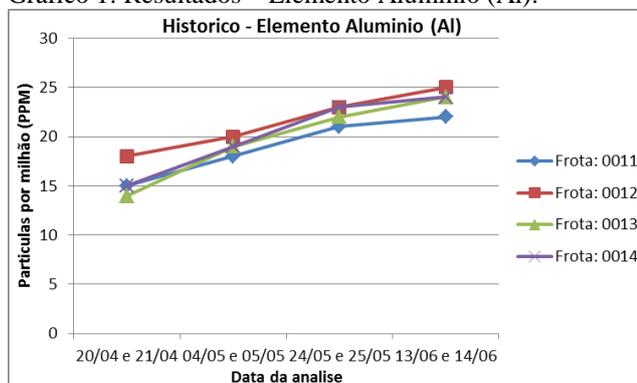
De modo geral os desgastes de bronzinas, podem ser ocasionados por partículas metálicas abrasivas em

suspensão no óleo lubrificante, diluição do filme de óleo lubrificante, folga excessiva entre a bronzina e o alojamento, insuficiência de lubrificação e alojamento não cilíndrico. Dentre todas as causas, teve como principal causa a folga entre as bronzinas e os alojamentos e a insuficiência lubrificante pós-parada, que quando o motor é desligado, ocorre o escoamento do óleo lubrificante para a seção inferior do motor (cárter) e ao ser acionado, ocorre um breve atrito entre as bronzinas com o colo da árvore de manivelas, gerando desgaste momentâneo.

No Quadro 7 pode-se observar o relatório dos custos, devido ao monitoramento dos componentes e ação premeditada através da espectrofotometria.

O desgaste das bronzinas quando não sanados com a troca das mesmas pode elevar a taxa de vibração dos componentes do motor, gerando a quebra dos mesmos, ocasionando a perda total do motor em curto prazo.

Gráfico 1: Resultados – Elemento Alumínio (Al).



Fonte: Os autores, 2015.

Quadro 7: Relatório de Manutenção.

Relatório de Manutenção Corretiva Planejada		
Data Inicial: 15/06/2015		Data Final: 16/06/2015
Itens	Qtd	Valor (R\$)
Kit bronzinas	4	986,24
Kit Junta/vedação	4	825,80
Kit serviço/manut.	1	2680,00
Valores totais		4492,04

Fonte: Os autores, 2015.

Um dos problemas recorrentes antes da implantação da espectrofotometria de absorção atômica, era a perda de potência e aumento no consumo de combustível, que indica a alta taxa no teor de silício e ferro. A poeira absorvida pelo sistema de admissão, ocasiona danos internos no motor de combustão, fazendo com que seja injetado maior volume de combustível, aumentando o consumo.

Observa-se no Quadro 8, a elevação das taxas de silício com pequenas quedas repentinas na amostragem, devido as trocas de óleo. Os equipamentos mostrados foram os que obtiveram maiores gastos com combustíveis durante o período de 20/06 a 20/10 e diagnosticados com maior perda de potência influenciando diretamente na produção.

No Gráfico 2 a representação do consumo de combustível em litros a cada 100 km, podemos observar a ocorrência da elevação no consumo médio de combustível dos equipamentos. Consumo diagnosticado devido às elevadas taxas de silício absorvidas pelo sistema de admissão dos equipamentos. A data de 20 de abril mostra o consumo de combustível no início da produção anual quando os equipamentos estão em produção leve e a partir de 20 de maio pode-se observar a elevação no consumo de 90 litros a cada 100 km para média dos 105 litros a cada 100 km no mês posterior. O consumo médio destes equipamentos segundo o fabricante gira em torno de 85 litros a cada 100 km, porém devido ao alto grau de silício detectado nas análises de óleo lubrificante, pôde ser definido a contaminação pelo mesmo.

As causas encontradas que favoreceram a absorção de poeira para interior dos motores foram detectadas:

- Altos desgastes em mangotes e mangueiras ligadas ao filtro de ar;
- Abraçadeiras dos tubos de enchimento do óleo lubrificante frouxas;
- Guarda-pó das varetas do nível de óleo danificadas;

Comparando o Quadro 8 e o Gráfico 2, pode-se verificar tanto a queda nas taxas de silício, quanto a redução no consumo de combustível no mês de novembro, que ocorreram devido aos ajustes realizados e peças trocadas.

Com a implantação da análise de espectrofotometria de absorção atômica, foi possível sanar elevada quantidade de avarias nos equipamentos.

Gráfico 2: Consumo combustível litros x 100 km.



Fonte: Os autores, 2015.

Das análises realizadas, foram observadas o aumento de partículas de vários elementos, porém observando o histórico de amostragem e o histórico de falhas dos equipamentos antes da implantação do laboratório de análises por ICP, foi possível diagnosticar de forma efetiva as causas e danos de acordo com o grau de desgaste e foram obtidos os benefícios à empresa, como:

- Redução nas paradas por quebras de alto grau como quebra de árvore de manivelas, bielas, cilindros e comandos de válvulas.

- Redução no intervalo de tempo na manutenção dos equipamentos, devido o diagnóstico antecipado e o pré-conhecimento da falha acelerando o processo de requisição dos suprimentos e a preparação da equipe.
- Redução nos custos de suprimentos para manutenção, pois o tendo o conhecimento da pré-falha em conjunto com a manutenção corretiva planejada reduz a quantidade de elementos a serem trocados ou ajustados.
- Aumento no tempo de produção dos equipamentos.

Quadro 8: Resultados ICP-AAS – Elemento Silício.

Equipamento	24/06 a 13/07	03/08 a 22/08	23/08 a 12/09	23/09 a 12/10	13/10 a 01/11	02/11 a 21/11
Frota: 002	24	30	20	21	24	13
Frota: 003	21	16	19	27	23	12
Frota: 004	18	20	12	23	29	9
Frota: 005	25	26	22	27	38	11
Frota: 006	32	23	36	32	25	14
Frota: 0020	12	35	12	11	9	10
Frota: 0022	16	29	8	12	11	12
Frota: 0023	38	42	13	10	11	7
Frota: 0033	24	29	39	30	23	14
Frota: 0036	17	22	28	36	20	16
Frota: 0039	9	15	16	19	16	11

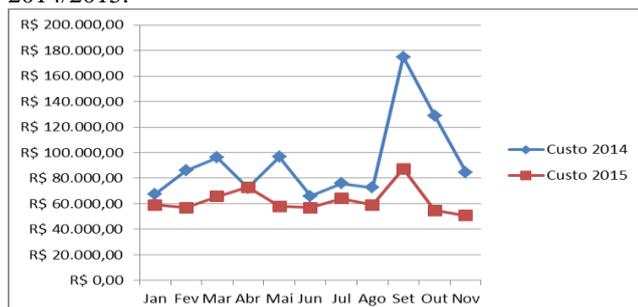
Fonte: Os autores, 2015.

Relacionado aos altos custos de manutenção em 2014 que na qual influenciou diretamente no desgaste excessivo ocasionando perdas irreversíveis como:

- Troca integral de motores;
- Alta troca de agregados e componentes internos (turbinas, bombas de combustível, bombas de óleo, camisas, pistões e cabeçotes);
- Perda de potência dos motores influenciando diretamente na produção do equipamento;

Comparando os custos gerais de manutenção no Gráfico 3, referente aos anos de 2014 e 2015, pode-se verificar a redução nos custos mensais. Avaliando os valores de acordo com o Quadro 9, pode-se verificar a redução de 33% nos custos totais de manutenção de motores dos veículos.

Gráfico 3: Custo geral de manutenção de motores 2014/2015.



Fonte: Os autores, 2015.

Quadro 9: Custos totais 2014/2015.

Custos totais com manutenção de motores 2014/2015		
Total 2014	Total 2015	Redução %
R\$ 1.021.693,57	R\$ 685.369,83	-33%

Fonte: Os autores, 2015.

## CONCLUSÃO

A pesquisa obteve sucesso em seu objetivo na qual possibilitou realizar o monitoramento de análises e falhas, acompanhar a manutenção de motores diesel na linha veicular de caminhões canavieiros, utilizando o método da análise de óleo por espectrofotometria de absorção atômica (ICP) como base na análise das falhas.

Concluiu-se que o monitoramento dos equipamentos juntamente com um amplo plano de manutenção programada se torna indispensável em vários quesitos, que na qual entre está a redução nos custos de manutenção, aumento na confiabilidade que implica diretamente na gestão, contribuiu com o aumento da disponibilidade dos equipamentos e uma melhor qualidade de informações relacionada aos mesmos, que na qual possibilita a criação de históricos mais complexos, visando determinar a possível falha do equipamento.

A técnica com o intuito da melhoria contínua e aumento na confiabilidade de forma gradativa, deverá ser ampliada garantindo assim o monitoramento integral não apenas do motor, mas também do sistema de transmissão dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS

CARRETEIRO, Ronald Pinto; BELMIRO, Pedro Nelson Abicalil. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica – Processos de fabricação e tratamento**. Volume III, 2ª edição 1996.

DANTAS, André Antônio. **Auto Entusiastas: Relação Análise Gráfica**. 2010. Disponível em: <<http://autoentusiastas.com.br/2010/09/relacao-rl-uma-analise-grafica/>>. Acesso em: 08 ago. 2015.

DIGUS. **Como Funciona a Lubrificação do Motor**. 2008. Disponível em: <<http://www.digus.com.br/phpBB3/viewtopic.php?p=508283>>. Acesso em: 15 set. 2015.

GABALDO, Sander. **Materiais para fabricação dos blocos de motores a diesel**. 2010. Disponível em: <<http://usagemsemsegredos.blogspot.com.br/2010/04/cgi-parte-3materiais-para-fabricacao.html>>. Acesso em: 24 out. 2015.

GUESSER, L. W. e GUEDES, L. C. **Desenvolvimentos recentes em ferros fundidos aplicados à indústria**

**automobilística.** In: IX Simpósio de Engenharia Automotiva, AEA, São Paulo, 1997.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção: Função Estratégica**, 4, Ed, Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

MAHLE AFTERMARKET. **Motores de Combustão Interna.** Jundiaí: Mahle Original, 2012.  
NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de Manutenção Preditiva**, São Paulo, Blucher, 1989.

SILVA, Romeu Paulo da. **Gerenciamento do Setor de Manutenção.** 2004. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Industrial, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.

SOUSA, Rafael. **Espectrometria de Absorção Atômica.** Juiz de Fora: Rafael Sousa, 2013. Color.

TELECURSO 2000, **Curso Profissionalizante - Mecânica: Manutenção** / Branca Manassés, Penteadó... [ET AL.] – Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho, 2003. Aula 33.

TMPECAS. **Tecno Motor: Peças e Serviços.** 2015.  
Disponível em: <<http://www.tmpecas.com.br/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

VARIAN INC. **Manual do Usuário.** Mulgrave: Varian Inc., 2013