



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO

Monitoração e Diagnóstico de Máquinas

Análise de Óleo em Compressores

Carolina de Souza Chacon - DRE: 118161764

Lucas Marques da Silva – DRE: 118150828

Professor Fernando Castro Pinto

Rio de Janeiro, RJ
Novembro/2022



Análise de Óleo em Compressores

1.Introdução

A prática da análise de óleo começou há mais de um século em motores de locomotivas. Agora, ela é um dos componentes mais importantes da manutenção preventiva, uma prática que avalia a condição de uma máquina ao reunir periodicamente dados sobre parâmetros da saúde da máquina para determinar cronogramas de manutenção. Bilhões de dólares são gastos todos os anos com a substituição de componentes de máquinas que se desgastam devido a folgas, mau desempenho do lubrificante e entre outras falhas operacionais. Saber como interpretar as propriedades variáveis do lubrificante, pode aumentar tanto o tempo de atividade quanto a vida útil de equipamentos.

As análises de lubrificantes, combustíveis e outros fluidos-chave fornecem informações críticas de alerta precoce indicativas de falhas na máquina. A existência ou quantidade de detritos e partículas provenientes de peças desgastadas, erosão e contaminação fornecem insights sobre os problemas que afetam o desempenho e a confiabilidade. O Princípio de Pareto persiste em afirmar que 20% da causa raiz são responsáveis por 80% de falhas. Analogamente, na indústria, 70% dessas falhas são causadas pela má lubrificação.

Ao analisar e acompanhar os dados, é possível agendar a manutenção antes que ocorra uma falha crítica. Os resultados são uma maior disponibilidade e produtividade do equipamento, custos de manutenção mais baixos, menos interrupções, desempenho ótimo do equipamento e uma operação mais sustentável.

2. Por que analisar óleo?

Em primeiro análise, podemos destacar o processo de lubrificação como princípio básico para o funcionamento da maioria das máquinas/equipamentos. Analogamente, ele é o sangue que corre dentro das máquinas. Assim como nós realizamos exames de sangue periodicamente, também é necessário o mesmo cuidado com equipamentos. A análise pode nos ajudar a monitorar desgaste de peças, degradação do óleo lubrificante e contaminações.



2.1 Monitoramento de Desgastes:

Engenheiros de confiabilidade podem tomar decisões de manutenção com base em diagnósticos dos resultados da análise de óleo. A análise de desgaste da máquina é essencialmente a análise das partículas presentes no óleo. O desgaste pode ocorrer pouco a pouco por simples fricção, pode ser abrasivo, corrosivo, tempo de vida do ativo, atrito, aumento de carga, desalinhamento entre componentes, etc. Outrossim, pode ser classificado como desgaste adesivo (deslizante), desgaste abrasivo (cortante), desgaste por fadiga e desgaste corrosivo. Uma análise completa das partículas de desgaste inclui: a medição da contagem e distribuição de partículas, forma e morfologia das partículas, elementos metálicos e ligas.

Por exemplo: motores a pistão tendem a gerar partículas de desgaste finas e os óleos do motor podem ficar escuros devido à fuligem (partículas de carbono de tamanho nano como subproduto da combustão). A análise de partículas é a principal ou às vezes a única análise realizada em laboratórios comerciais de óleo para avaliar as condições de desgaste do motor, pois as concentrações de diferentes elementos metálicos indicam a severidade do desgaste e a peça desgastada, devem ser observados os seguintes resultados através da contagem de partículas:

| Elemento | Diagnóstico |
|--------------------------|---|
| Ferro ou cromo | Desgaste revestimento do cilindro |
| Chumbo | Desgaste do casquilho ou virabrequim |
| Estanho | Desgaste de partes profundas do casquilho |
| Sódio, potássio ou cobre | Contaminação por refrigerante |
| Silício | Sujeira |



2.2 Monitoramento de Contaminantes:

Contaminantes no óleo podem estar na forma sólida ou líquida. Contaminantes sólidos, como areia e sujeira, são comumente monitorados por técnicas de contagem e dimensionamento de partículas. O contaminante líquido para máquinas rotativas industriais é principalmente a água. No entanto, para motores a diesel ou a gás, pode ser água, refrigerante ou combustível.

Um contaminante líquido bastante comum é o uso acidental ou intencional de um lubrificante incorreto ao completar o óleo antigo. Todos os contaminantes podem reduzir significativamente a vida útil do óleo e aumentar o desgaste da máquina. Eles precisam ser prevenidos de forma proativa com vedações adequadas e sistemas de filtragem, e precisam ser monitorados regularmente. Os pontos a serem analisados são: Contagem de partículas; Viscosidade; Fuligem; Combustível; (funciona como a solvente e afeta a viscosidade); Água. A tabela abaixo mostra os elementos e o diagnóstico.

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Sódio, potássio ou cobre | Contaminação por refrigerante |
| Silício | Sujeira |

2.3 Monitoramento de desgaste do lubrificante:

A monitoração da degradação do lubrificante ajuda a decidir se o óleo ainda é adequado para uso e se precisa ser trocado. Uma propriedade chave do óleo é a viscosidade. A viscosidade é tipicamente medida a 40°C para máquinas rotativas e a 100°C para motores. Para óleo em máquinas rotativas, a oxidação e a acidez do óleo (Número Total de Ácido ou NTA) são monitoradas para determinar se o óleo ainda é adequado para uso e para prevenir a corrosão. Para óleos de motor, são monitoradas: Oxidação, Nitração, Sulfatação; Total Base Number; Total Acid Number e Viscosidade.

A tabela abaixo mostra os parâmetros de análise e a tecnologia utilizada:



Table 2 shows oil analysis parameters and the technologies used to measure them

| Category | Engines | Rotating Machines |
|---------------|---------------------------------------|--|
| Machine wear | Fine wear metal elements | Rotating Disc Electrode (RDE) Spectroscopy*, Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy |
| | Large wear metal elements | FPQ-XRF*, Acid digestion ICP |
| | Particle count and distribution | Light blocking*, light scattering, laser imaging (LNF)* |
| | Wear particle shape analysis | Laser imaging (LNF)*, Ferrography* |
| Contamination | Yes, mostly dissolved water | Yes, dissolved and free water |
| | Sand and Dirt | Light Blocking*, Light Scattering, Laser Imaging (LNF)* |
| | Fuel Dilution | Fuel Sniffer*, Gas Chromatography (GC), Gravimetric |
| | Water/Moisture | Infrared (IR)*, Karl Fischer Titration (KF) |
| | Glycol/Coolant | IR* |
| | Soot | IR*, gravimetric |
| Degradation | Alien Fluid | IR* |
| | Oxidation, Nitration, Sulfation | IR* |
| | Viscosity | Viscosity* |
| | Acid Number (AN), or Base Number (BN) | Titration, IR* |

3. Boas práticas de amostragem:

Para se obter análises/resultados confiáveis, torna-se imprescindível a adoção de medidas padronizadas que forneçam controle sobre a amostra a ser analisada. Conforme o procedimento de análise de óleo se torna cada vez mais comum na rotina de monitoramento de máquinas, nota-se que os próprios fabricantes estão disponibilizando mais pontos de coleta de amostra nos novos equipamentos.

No processo de coleta da amostra, é necessário atentar-se ao fato de que há tanto propriedades homogêneas e que não se alteram em virtude da localização da coleta - como a viscosidade, acidez, FTIR de oxidação, sulfatação, nitratação e níveis de aditivos - enquanto há outras propriedades que são dependentes da localização da retirada da amostra, como a contagem de partículas, teor de umidade e, principalmente, o nível de desgaste. Deste modo, as melhores práticas para a formulação de uma base de dados confiável e que permita uma análise fidedigna do grau de desgaste do equipamento prevê uma inspeção periódica com coleta de amostras em um intervalo previamente estabelecido. Além disso, deve-se manter um registro histórico das intervenções realizadas, conforme as recomendações e orientações do laboratório, mantendo sempre o canal de comunicação em aberto.

Com intuito de exemplificar, demonstraremos um passo a passo a seguir do que se configura como boas práticas no procedimento de coleta da amostra. Primeiramente, devemos separar e ter em mão tanto o “Kit coleta”, constituído por um frasco de coleta, uma mangueira, uma válvula prope A, um saco plástico do tipo *ziploc* e, por fim, uma ficha de identificação, quanto os equipamentos necessários para a coleta, como o



material de descarte, o material absorvente e a caneta para a identificação. A seguir, recomenda-se o prosseguimento das seguintes condutas de intervenção:

- a. Manter o frasco fechado até o exato momento da coleta;
- b. Sempre iniciar a coleta pelos compartimentos não pressurizados;
- c. Limpar a área de coleta e válvula de pressão;
- d. Cortar a mangueira para a coleta somente com o tamanho adequado;
- e. Evitar que a mangueira toque o solo ou outras partes contaminadas do equipamento;
- f. Descartar o primeiro jato de óleo para fazer o “*flushing*” no ponto de coleta;
- g. Retirar a amostra com o óleo em temperatura de operação e homogeneizada;
- h. Evitar a coleta de amostras pelo dreno ou em recipientes de drenagem;
- i. Utilizar a válvula de pressão para a coleta nos sistemas pressurizados;
- j. Identificar a amostra imediatamente após a coleta

Assim, tomadas as devidas cautelas no procedimento de coleta, pode-se obter como resultado do processo a detecção do desgaste precoce ou acelerado, a prevenção de falhas, o planejamento do reparo e a disponibilidade operacional, além da identificação e o ingresso dos contaminantes.

Os principais erros e/ou problemas que podem ocorrer ao longo deste processo são decorrentes da parada e inspeção em equipamento incorreto e/ou a identificação incorreta de um componente ou sistema. Além disso, a coleta de amostras com um método inadequado, sem agitar e aquecer o óleo, bem como o preenchimento incorreto da ficha de identificação (sem informar possíveis anormalidades durante a coleta, por exemplo) também são fatores que podem prejudicar a análise das componentes do sistema.

Abaixo, temos um exemplo de uma ficha utilizada para a identificação da amostra. O preenchimento incorreto dos dados na ficha de identificação de uma amostra pode comprometer completamente a interpretação dos resultados. Conforme podemos visualizar, o campo de “Detalhes das anormalidades” pode ser utilizado para o preenchimento de informações adicionais como caso a coleta seja realizada com o equipamento parado ou a mangueira do cilindro possua um vazamento, etc. Com efeito, os resultados das análises de fluidos podem sofrer influência a respeito do procedimento empregado no processo de coleta da amostragem, como: coleta em ponto de óleo parado, coleta com a máquina fria ou fora de operação, coleta após filtros ou reservatórios, entre outros fatores. O preenchimento adequado da ficha de identificação, com o registro de eventuais anormalidades, torna-se crucial para se garantir a qualidade e precisão do resultado da coleta.



RESPOSTA AO S.O.S

FAVOR NOS INFORMAR AS INTERVENÇÕES E AS ANORMALIDADES ENCONTRADAS NESTE COMPARTIMENTO DESDE A ÚLTIMA COLETA.

FORAM ENCONTRADAS LIMALHAS NO FILTRO OU TELA MAGNÉTICA? ☐ SIM ☐ NÃO

FORAM ENCONTRADAS LIMALHAS NO BULÃO MAGNÉTICO? ☐ SIM ☐ NÃO

ESSE EQUIPAMENTO VEM APRESENTANDO RUÍDO ANORMAL? ☐ SIM ☐ NÃO

EXISTEM VAZAMENTOS NO SISTEMA? ☐ SIM ☐ NÃO

A TEMPERATURA DE OPERAÇÃO ESTÁ NORMAL? ☐ SIM ☐ NÃO

O DESEMPENHO DO SISTEMA ESTÁ NORMAL? ☐ SIM ☐ NÃO

RESPONSÁVEL: _____ TELEFONE: _____

DETALHES DAS ANORMALIDADES: _____

Dúvida sobre o Programa S.O.S?
SOS Fácil: 0800 940 1920
sos.facil@sotreq.com.br

PD-008-013 REV.02 (05/03/2013)

Figura: Exemplo de Ficha de Identificação do material coletado

| Ensaio | Apropriado local e método de amostra |
|------------------------|--------------------------------------|
| Contagem de Partículas | Importante |
| Contaminação água | Pouco Importante |
| Viscosidade | Mínimo Efeito |
| AN/BN | Mínimo Efeito |
| Análise de Elementos | Pouco Importante |
| Densidade Ferrosa | Importante |
| Diluição Combustível | Mínimo Efeito |
| Contaminação Glicol | Pouco Importante |
| Infravermelho (FTIR) | Mínimo Efeito |

Importante: ●
Pouco Importante: ●
Mínimo Efeito: ●

Figura: Exemplo do grau de importância de determinado ensaio para a amostra

4. Interpretação dos resultados

Todos os resultados das análises são interpretados por técnicos especializados que fornecem ao cliente um laudo informativo acerca dos resultados obtidos com a amostra e contemplando as recomendações necessárias dos três principais fatores: condição do equipamento, saúde do fluido e a presença de contaminantes. Os relatórios, usualmente, apresentam os seguintes níveis de criticidade:

- Normal: O equipamento não requer nenhuma intervenção, de acordo com seu histórico de resultados;
- Monitorar: As intervenções devem ser realizadas de acordo com as paradas programadas do equipamento para manutenção consoante o seu histórico de resultados e devem ser monitoradas quanto à sua evolução;
- Crítico: A amostra indicou a necessidade de execução de ações imediatas no equipamento, de acordo com o seu histórico de resultados e acompanhamento de manutenção.

Em caso de desgaste, deve-se compreender a que taxa se encontra o nível de desgaste. Cada sistema lubrificado com óleo apresenta uma concentração específica de metais de desgaste produzidos durante a operação normal, de modo que ao avaliarmos o

nível de desgaste no interior do compartimento lubrificado podemos ver se as taxas estão dentro do considerado aceitável ou não.

Com efeito, o desgaste pode ocorrer pouco a pouco por simples fricção, pode ser abrasivo, corrosivo, por atrito, por aumento de carga, por desalinhamento dos componentes ou até mesmo pelo tempo de vida útil do ativo, entre diversos outros fatores. No geral, devem ser observados os resultados dos componentes químicos Ferro (principalmente), Cobre, Cromo, Chumbo, Estanho e Alumínio, além de se observar os resultados da contagem de partículas e das limalhas.

Na imagem a seguir, podemos observar a mudança expressiva de concentração de Cobre na amostra. Tal mudança brusca e em apenas 2 meses de distância temporal da coleta da amostragem pode indicar um desgaste por amortecimento, por exemplo. Em outras palavras, o resultado do laboratório deve ser interpretado de maneira correta para adoção de medidas eficazes para a manutenção da máquina/equipamento.

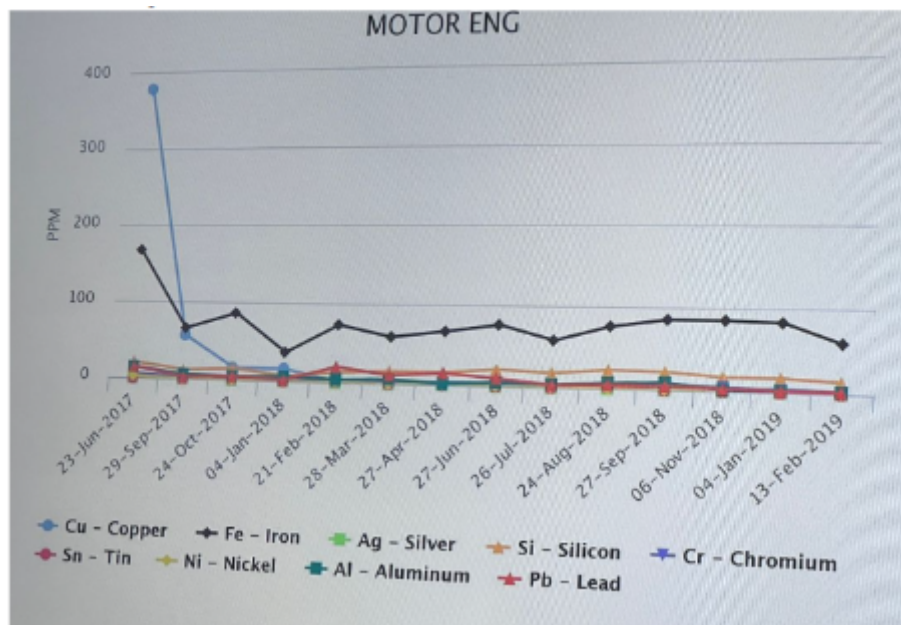


Figura: Possível desgaste por amortecimento identificado pela brusca queda de Cobre na amostragem

Além do desgaste, deve-se avaliar também a condição do óleo da amostragem. A degradação do óleo e o esgotamento dos aditivos podem ser causadas pelo tempo de uso, pela contaminação por água/combustível ou ainda pela operação em condições adversas, como altas temperaturas. Desse modo, destaca-se que a degradação do óleo pode danificar os componentes nos compartimentos lubrificados pelo próprio óleo, daí a relevância em saber se o óleo atingiu o fim da sua vida útil. Em geral, as propriedades analisadas do óleo são a oxidação, nitração, sulfatação, o *total base number* vs o *total acid number* e a viscosidade.

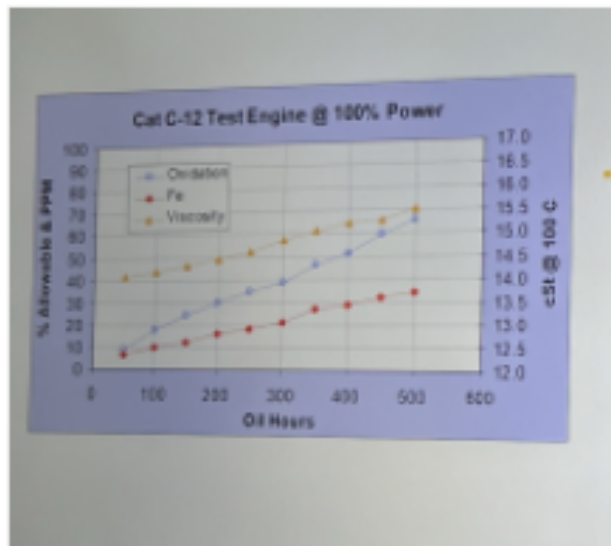


Figura: Evolução da viscosidade, oxidação e concentração de Fe em uma amostragem

Por outro lado, em caso de contaminação, considera-se como contaminante todo material ou partícula que não faz, originalmente, parte do óleo ou do fluido. Entre os materiais contaminantes, temos como o exemplo a poeira, água, combustível, limalhas, borracha, etc e devem ser observados os seguintes resultados: materiais químicos (Silício, Alumínio, Sódio e Potássio), a contagem de partículas, a viscosidade e a presença de fuligem, combustível (funciona como solvente e afeta a viscosidade) e água.

OBS: Deve-se sempre estudar, previamente, se o óleo utilizado é o correto para determinada aplicação. O uso de fluido incorreto no compartimento errado pode afetar o desempenho e a proteção da lubrificação, ou até mesmo causar sérios danos aos principais componentes do equipamento. Para se determinar se o fluido está correto, é importante utilizar uma amostra precisa com a identificação correta. Esta verificação contribui para a identificação se o óleo utilizado é o recomendado, de acordo com algumas especificações como viscosidade e aditivo anti-desgaste (mínimo 900 ppm de Zinco para óleo de sistemas hidráulicos, por exemplo). Nesse caso, observamos tanto a viscosidade quanto a carga aditiva na análise do óleo.

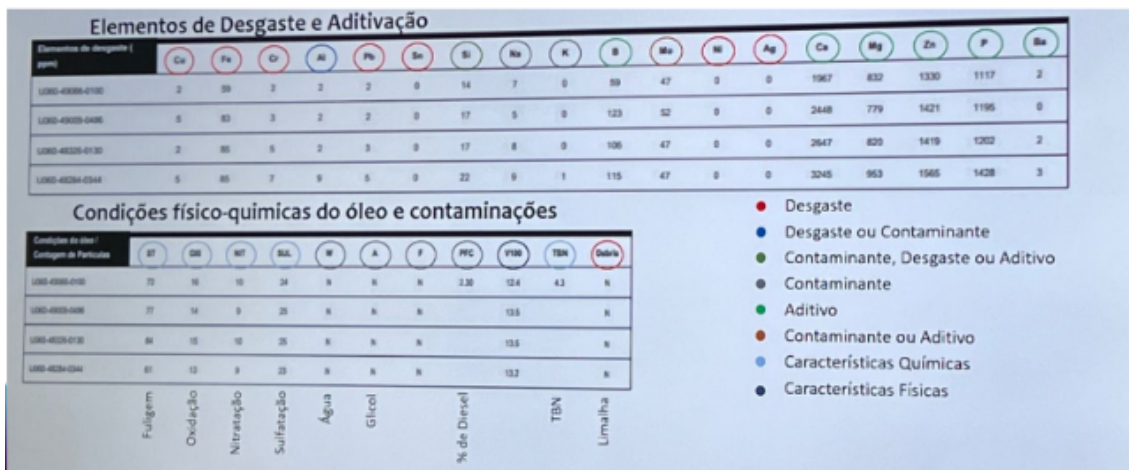


Figura: Demonstração do resultado da presença de elementos de desgaste e de aditivção, bem como as condições de degradação e contaminação do óleo

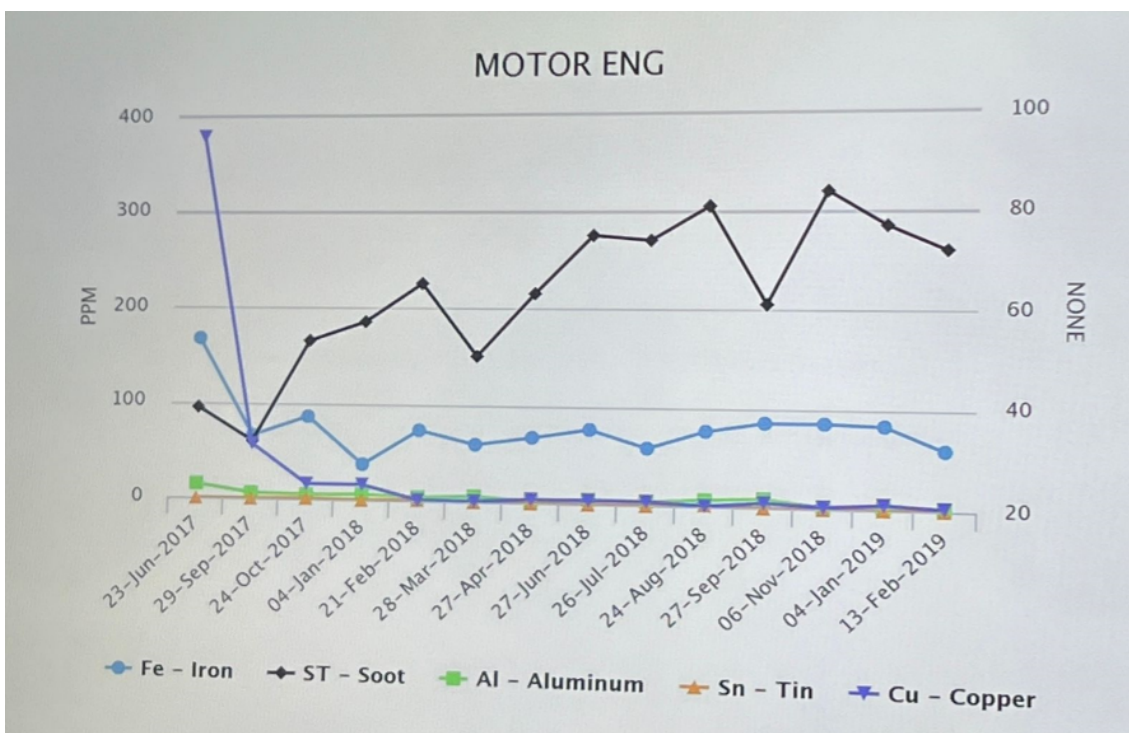


Figura: Aumento da quantidade de fuligem na amostra, podendo indicar troca de óleo ou filtro

5. Tomada de Ação

Por fim, após o recebimento do relatório de análise de óleo do laboratório, deve-se investigar e resolver as causas do problema, não os sintomas. Com o estudo dos procedimentos a serem tomados para mitigar os riscos, destacamos alguma das causas da entrada de poeira como exemplo:

- Entrada de poeira do motor: Quando a poeira é detectada, a primeira coisa a se fazer é inspecionar o sistema de admissão de ar. Primeiro verifique a entrada do alojamento do filtro de ar para ver se a sujeira ou detritos estão restringindo o



fluxo de ar. Em seguida, procure abraçadeira de mangueira soltas ou danificadas que possam estar deixando o ar não filtrado no sistema de admissão.

- Entrada de poeira - Hidráulica: Quando amostras do sistema hidráulico tem várias causas, possuem contaminantes. Inspeção as hastes do cilindro, ou cordões no raspador. Procure vazamentos ao redor dos vedações e verifique se há vazamento de óleo nas mangueiras do cilindro.
- Inspeção do filtro: O filtro diz muitas informações do óleo a partir das partículas retidas, sendo esta uma análise complementar à análise de óleo.

6. Conclusão

Os programas de análise de óleo são eficazes apenas se a amostra for representativa da condição do equipamento, e a técnica e localização da amostragem forem consistentes. Uma entrada de qualidade garante uma saída de qualidade. Os proprietários de programas, tanto novos quanto existentes, têm hoje uma ampla gama de suporte e tecnologias disponíveis para garantir que a amostragem seja consistente, fácil e confiável.