

APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA BASEADA EM ANÁLISE DE LUBRIFICANTES PARA A DETECÇÃO DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS MECÂNICOS

Ana Elisa da Costa Borges, anaelisacborges@gmail.com¹

Artur Maciel de Assis Pinto, artur.de.assis@hotmail.com²

Fellipe Estevam de Carvalho, fellipeestevam@live.com³

Wederley Mendes Miranda, wederley@yahoo.com.br⁴

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil,

Resumo: O cenário competitivo entre empresas, a necessidade de se reduzir custos de manutenção e de se aumentar a confiabilidade dos equipamentos contribuem para o desenvolvimento de técnicas de manutenção modernas. Estas técnicas incluem a manutenção preditiva, tema central do estudo aqui apresentado. Este trabalho apresenta um estudo de caso da aplicação da análise de lubrificantes para se detectar possíveis falhas em componentes de equipamentos de construção, sendo estes: cárter de motor de caminhões basculante e tratores tipo esteira, comando final de tratores tipo esteira, cilindros de compactação de rolos compactadores e diferenciais traseiros de caminhões basculante. Os resultados mostram como o monitoramento dos teores de contaminantes no lubrificante apontam claramente para os sinais de falha de tais componentes, além de permitirem monitorar a condição real e individual de cada máquina, permitindo-se otimizar o intervalo de troca do lubrificante, trazendo um ganho financeiro e ambiental.

Palavras-chave: Manutenção, Manutenção Preditiva, Análise de lubrificantes, Contaminantes, Ferrografia.

1. INTRODUÇÃO

O uso constante de máquinas e equipamentos é de suma importância para o crescimento de todos os setores da indústria, assim sendo, a falha do aparato industrial é um obstáculo preocupante para a indústria. Dados da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) indicam que o custo das indústrias com a manutenção de máquinas e equipamentos no Brasil representou cerca de 4,7% do PIB Brasileiro em 2013, o que equivaleu a mais de R\$ 206 trilhões de reais (ABRAMAN, 2013). Ou seja, o valor gasto com manutenção de máquinas e equipamentos é altíssimo, comprometendo de forma significativa o lucro industrial.

Uma forma de evitar falhas em equipamentos mecânicos é através da técnica de manutenção preditiva. Segundo Xenos (2004, p.25), a manutenção preditiva otimiza o processo de troca ou reforma de peças dos componentes, prolongando o intervalo de manutenção destes. Para tal, diversas técnicas são utilizadas, como o monitoramento de vibrações, ferrografia e análises tribológicas, sendo necessário o uso de tecnologia avançada para a realização destas técnicas, sendo isto o que diferencia a manutenção preditiva dos outros tipos de manutenção. A manutenção preditiva através da análise de lubrificantes agrega não apenas um ganho industrial, mas também um ganho ambiental (BARTZ, 1998).

2. METODOLOGIA

Este é um trabalho de pesquisa exploratória, que teve como metodologia o estudo e acompanhamento do desgaste de componentes de máquinas de grande porte, realizado através de resultados de análises laboratoriais de óleos lubrificantes. A Figura 1 apresenta as etapas da metodologia deste trabalho.

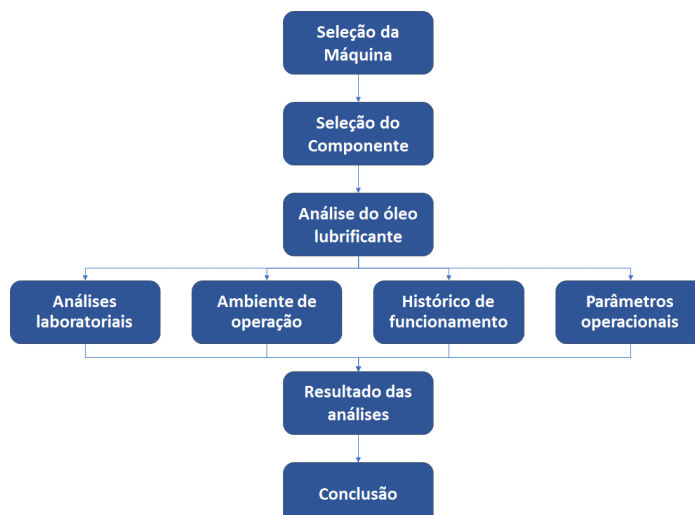


Figura 1: etapas da metodologia

Foram coletadas amostras de lubrificantes em diversos períodos de operação de diferentes componentes de caminhões basculante, tratores tipo esteira e rolos compactadores utilizadas nas obras de duplicação da BR-101 no estado da Bahia, entre os municípios Rio Real e Entre Rios. Após a escolha dos componentes de máquinas a serem analisados, foram realizados estudos analíticos dos óleos lubrificantes. Através das análises laboratoriais dos lubrificantes, do ambiente de trabalho da máquina, dos parâmetros operacionais das máquinas e do histórico de funcionamento, determinaram-se possíveis motivos para o desgaste dos componentes.

3. RESULTADOS

Foram analisados três tipos diferentes de máquinas, sendo estes: rolos compactadores, tratores de esteira e caminhões basculante. Todos os equipamentos operam em ambientes agressivos, com alta concentração de partículas abrasivas no ar ambiente e em diversos regimes de trabalho.

Este estudo avaliou não apenas os resultados dos relatórios dos componentes de máquinas, mas também os parâmetros operacionais dos equipamentos, considerando-se o ambiente de atuação e histórico de funcionamento das máquinas.

3.1. Comparação entre a contaminação do lubrificante do comando final direito e esquerdo de um trator do tipo esteira.

A Figura 2 e a Figura 3 apresentam a concentração de ferro e silício presentes nos lubrificantes utilizados no comando final direito e no comando final esquerdo de um mesmo trator de esteira, dentro de um período de operação de 1645 horas. Conforme recomendações do laboratório de análise de lubrificantes, para os comandos finais o limite máximo de ferro no lubrificante é de 150 ppm e o de silício é de 100 ppm.

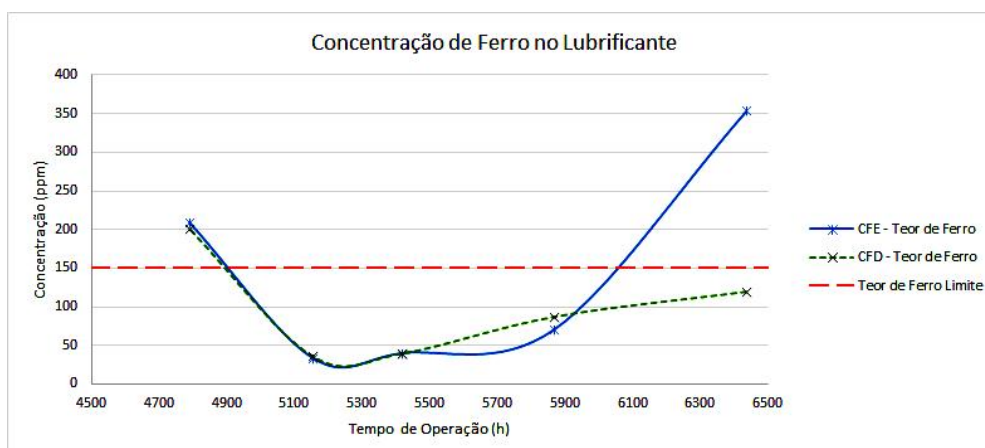


Figura 2: Concentração de Ferro no lubrificante do comando final direito e esquerdo de um trator tipo esteira

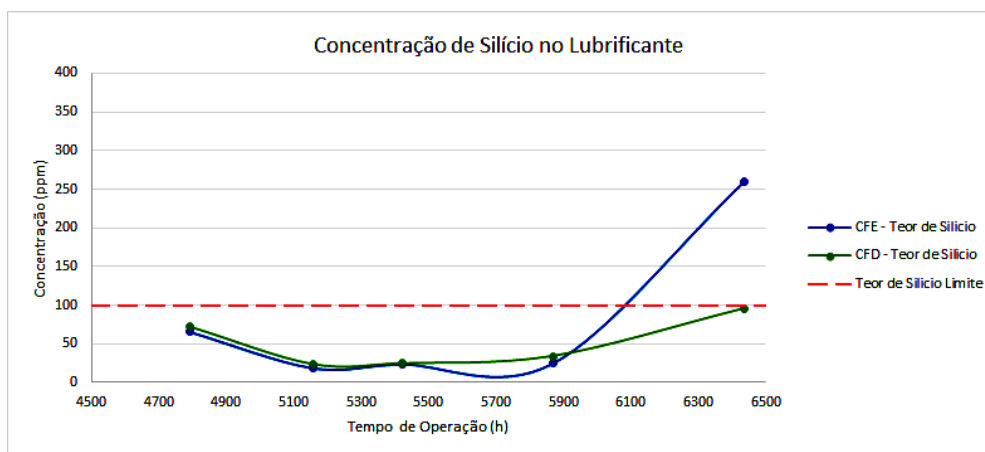


Figura 3: Concentração de Silício no lubrificante do comando final direito e esquerdo de um trator tipo esteira

Através da análise da Fig. 2, percebe-se que o lubrificante de ambos os comandos finais apresentou alto teor de ferro em sua composição na primeira amostra monitorada, sendo esta realizada com um tempo de operação da máquina de 4791 horas e tempo de utilização do lubrificante de 893 horas, conforme o histórico de resultados de análise dos lubrificantes.

De acordo com o histórico de coleta de amostras, ocorreu uma troca de óleo com 4918 horas de operação da máquina. Com esta troca, percebe-se que houve uma diminuição na concentração de silício e ferro no lubrificante para ambos os componentes. Os teores de ferro e de silício permaneceram em níveis aceitáveis durante um período de operação da máquina de aproximadamente 1000 horas. Após a troca de óleo, ocorrida no tempo de operação da máquina de 5992 horas, o lubrificante do comando final esquerdo apresentou um alto teor de silício e de ferro na análise amostrada, coletada após 444 horas de uso do lubrificante.

Uma vez que o óleo lubrificante utilizado no comando final esquerdo não se encontra próximo ao período de troca prevista, tempo este que é de aproximadamente 1000 horas para comandos finais, assim como o fato do trator tipo esteira trabalhar em uma obra de terraplanagem, tipo de obra onde ocorre alta contaminação externa por silício, acredita-se que o motivo do alto teor de ferro e silício no lubrificante do comando final esquerdo ocorreu devido à contaminação externa.

Devido ao crescimento do teor de silício, logo após a realização da troca de lubrificante, acredita-se que a contaminação ocorreu devido a um fechamento inapropriado do bocal de inserção de lubrificante, após a introdução deste. Outra hipótese é que, em virtude da produção da obra, as manutenções preventivas dos equipamentos podem ocorrer no próprio trecho da obra, ou seja, não ocorrendo em local apropriado para a troca de óleo lubrificante. Sendo assim, além de não ser devidamente lavado antes da manutenção, a poeira excessiva do campo pode ser responsável por contaminar internamente os sistemas de lubrificação.

3.2. Comparação entre a contaminação do lubrificante de dois cárteres de motor de tratores do tipo esteira distintos

A Figura 4 e a Figura 5 exibem a concentração de ferro e de silício presentes em amostras de lubrificante coletadas no cárter do motor de dois tratores tipo esteira que trabalham na mesma obra de terraplanagem, sob as mesmas condições. A linha tracejada indica o limite (ppm) estabelecido pela empresa para este elemento. As amostras analisadas foram coletadas em um período de aproximadamente 500 horas para o TE-63 e 400 horas para o TE-64, período este o qual não houve troca de lubrificante dos componentes, sendo o trator de esteira TE-64 com escarificador.

Para o óleo lubrificante utilizado em motores, é recomendado que os teores de ferro e silício não sejam superiores a 100 ppm e 20 ppm, respectivamente (MIRANDA e LIMA, 2017).

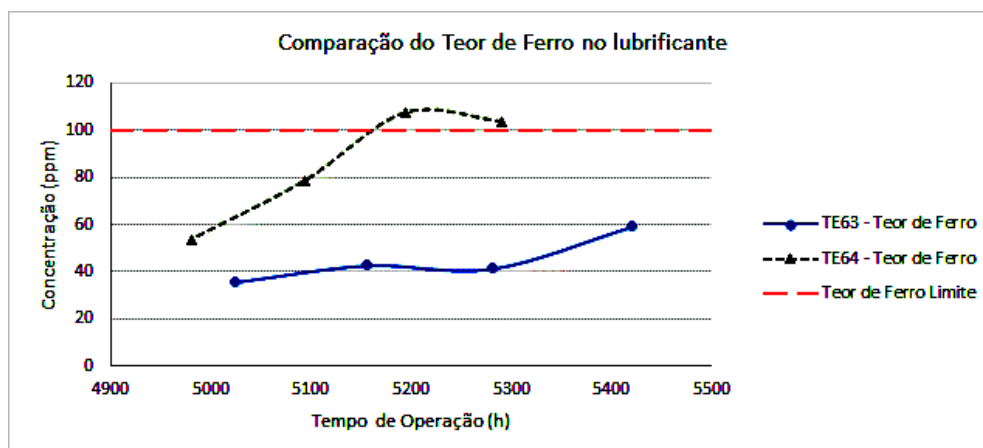


Figura 4: comparação da concentração de Ferro no lubrificante do cárter do motor dos tratores tipo esteira TE-63 e TE-64

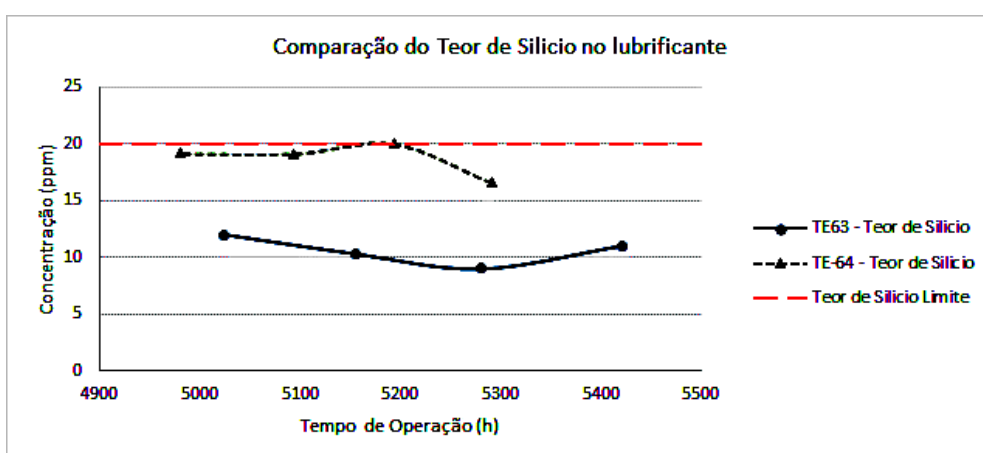


Figura 5: comparação da concentração de Silício no lubrificante do cárter do motor dos tratores tipo esteira TE-63 e TE-64

Analisando a Figura 5, percebe-se que o teor de silício no trator TE-64, trator de esteira com *ripper*, é aproximadamente 50% maior do que o teor de silício presente no lubrificante do trator de esteira TE-63. Uma avaliação dos parâmetros operacionais dos tratores tipo esteira aponta que o TE-64, por operar com *ripper*, trabalha em condições de carga mais severas. A Figura 6 apresenta as análises de tração dos tratores tipo esteira, análise esta realizada pelos sensores presentes nas bombas hidráulicas destes.

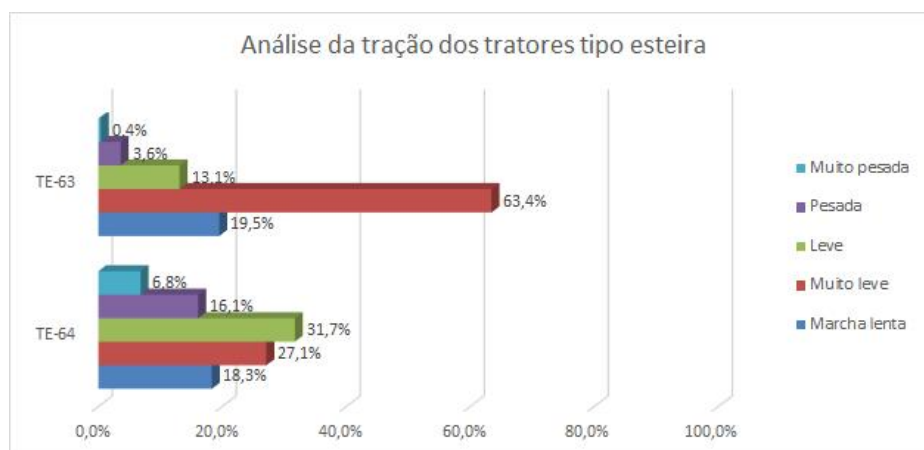


Figura 6: análises das trações dos tratores tipo esteira TE-63 e TE-64

Através dos dados apresentados na Fig. 6, percebe-se como o TE-64 trabalha com uma tração mais elevada do que o trator TE-63. Desta forma, é possível concluir que o motor do TE-64 precisa trabalhar com o torque maior, que gera um maior desgaste do motor. Por este motivo, componentes do motor como anéis de segmento, bomba de óleo, comando de válvulas, cilindros e virabrequim, que são compostos por ligas ferrosas, sofrem maior desgaste no trator tipo esteira com ripper, aumentando a concentração de ferro no óleo lubrificante deste equipamento.

3.3. Comparação entre a contaminação do lubrificante de diferenciais traseiros de dois caminhões tipo balsa

O ambiente de operação da máquina é um fator importante na aplicação da manutenção, podendo haver grandes mudanças em equipamentos iguais trabalhando em ambientes diferentes. Diferenciais traseiros de dois caminhões balsa de mesmo modelo foram analisados. O primeiro veículo, VP-338, trabalha apenas no pátio da obra, enquanto o segundo veículo, VP-340, trabalha na terraplanagem, um meio muito mais agressivo do que o pátio, pois a máquina fica em contato direto com todas as operações de terraplanagem.

A Figura 7 mostra uma comparação entre o teor de silício encontrado no diferencial traseiro anterior dos dois veículos de produção. Conforme recomendações do laboratório, o teor de silício limite recomendado para diferenciais é de 100 ppm.

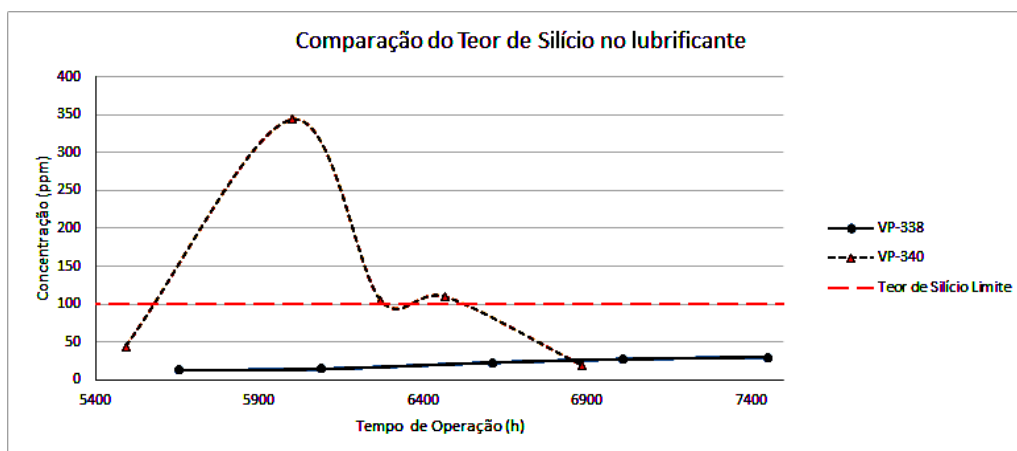


Figura 7: Comparação do teor de silício entre diferenciais de caminhões balsa VP338 e VP340

O VP-338, que trabalha transportando material de base da construção da duplicação da rodovia (terra, material rochoso, etc.) em curtas distâncias e na maior parte do tempo na via já pavimentada da rodovia, apresentou um teor de silício sempre muito abaixo do teor limite, tendo apenas uma troca de óleo lubrificante na segunda análise. Já o VP-340, que trabalha executando o mesmo transporte de material na obra e percorre longas distâncias, em percursos mais acidentados e não pavimentados, mostrou elevada concentração de silício na maior parte do tempo. A excessiva vibração causada pelo tráfego em vias acidentadas pode ter causado falhas nas juntas, anéis e o desparafusamento do bujão de dreno do óleo lubrificante, que lubrifica o sistema do diferencial, fazendo com que o ambiente com mais poeira que a via já pavimentada permita a contaminação.

Entre a primeira e a segunda análise, houve um aumento acentuado na concentração de silício, indicando uma provável contaminação pelo meio externo, que é composto de solo argiloso e arenoso, devido a uma possível falha no sistema de vedação. A manutenção foi executada e o óleo lubrificante trocado, entretanto, nas duas análises seguintes também foi necessária a troca de óleo, uma vez que o teor de silício ainda estava acima do limite.

Enquanto o veículo que percorre menores distâncias em vias já pavimentadas, um ambiente comparativamente pouco agressivo, não apresentou problemas quanto à contaminação por silício pelo meio externo em quase duas mil horas trabalhadas, o óleo lubrificante do diferencial do outro caminhão sofreu muita influência do meio externo em um período similar, precisando de várias trocas de óleo devido à contaminação pelo solo arenoso.

O ambiente de operação então se torna um fator decisivo para a manutenção preditiva. É necessário verificar se as rotinas de manutenção estão de acordo com o ambiente de operação da máquina, visto que a influência deste parâmetro pode definir intervalos mais curtos ou longos e o surgimento de defeitos de naturezas diferentes em máquinas iguais.

3.4. Otimização da manutenção preditiva em caminhões balsa

Analisando os dados e os históricos dos equipamentos, sugere-se que o intervalo de horas em serviço das máquinas seja padronizado para 300 horas, facilitando, assim, as rotinas de manutenção, conforme Tab. 1.

Tabela 1 - análise econômica do ajuste de intervalos

<i>Intervalo</i>	<i>Média (h)</i>	<i>Análises</i>	<i>Trocas</i>	<i>Preço por análise R\$</i>	<i>Preço por troca R\$</i>	<i>Total R\$</i>	<i>Economia R\$ Horas</i>	
Atual	208	85	46	100	1700	86700	-	-
Otimizado	300	60	32			60400	26300	81

Com os intervalos otimizados, estima-se uma economia de R\$26.300,00, cerca de 30% do valor total gasto com os atuais intervalos empregados na manutenção preditiva. Este ajuste ainda representa uma solução sustentável, visto que a estimativa de economia de óleo lubrificante nesse período seria de aproximadamente 460 litros graças à redução no número de análises e trocas de óleo, utilizando recursos de forma mais eficiente.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou como a manutenção preditiva através da análise de lubrificantes auxilia na detecção de falhas em componentes de máquinas de grande porte. Através da investigação da contaminação do lubrificante e do entendimento do ambiente de operação da máquina mostrou-se que em ambientes mais agressivos a máquina está mais sujeita ao desgaste abrasivo. Além disto, foi mostrada a importância de se considerar os parâmetros operacionais da máquina para a otimização da manutenção preditiva.

Utilizando a técnica da manutenção preditiva através da análise de lubrificantes, foi proposto um aumento no período de troca de lubrificante, mostrando como a manutenção preditiva pode trazer um retorno financeiro para uma empresa, assim como uma diminuição do descarte de óleo lubrificante no ambiente, mostrando que este tipo de manutenção pode trazer tanto um benefício financeiro quanto ambiental.

5. REFERÊNCIAS

- Andrade, L. and Horta, M., 1997, Mecânica Lubrificação, Espirito Santo.
- Barret, M. and Stover, J., 2013, "Understanding Oil Analysis: How It Can Improve Reliability of Wind Turbine Gearboxes", Gear Technology, Elk Grove Village, pp. 102-109.
- Bartz, 1998, "Wilfried. Lubricants and the environment", Tribology International, Vol. 31, pp. 35-47.
- Belmiro, P. and Carreteiro, R., 2006, Lubrificantes & Lubrificação Industrial, Rio de Janeiro.
- Buckley, D. and Miyoshi, K., 1985, "Tribological Properties of Structural Ceramics", NASA Technical Memorandum, Cleveland.
- Glaeser, W., 1981, "Wear experiments in the scanning electron microscope", Wear, Vol. 73, pp. 371-386.
- Glaeser, W., 2000, "Wear debris classification", Modern Tribology HandBook, Cap. 8, pp. 301-316.
- Govindarajan, N. and Gnanamoorthy, R., 2008, "Ferrography - A procedure to measuring wear rate", Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, Vol. 15, p. 377-381.
- Hammami, M. et al, 2017, "Axle gear oils: Friction, wear and tribofilm generation under boundarylubrication regime", Tribology International, Vol. 114, pp. 88-108.
- Koulocheris, D. et al, 2013, "Comparative Study of the Impact of Corundum Particle Contaminants Size on Wear and Fatigue Life of Grease Lubricated Ball Bearings", Modern Mechanical Engineering, Vol.3, Athens, pp. 161-170.
- Lockwood, D., 1992, "Metals Lubricant Analysis", Metals HandBook, Cap. 19, pp. 300-312.
- Malpica, L., 2007, "Manutenção Preditiva de Motores de Combustão Interna, à Gasolina, Através da Técnica de Análise de Lubrificantes", Ph.D. Thesis, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Marçal, R. and Susin, A., 2005, "Detectando falhas incipientes em máquinas rotativas", Gestão Industrial, Vol. 1, pp. 087-096.
- Miranda, W. and Lima, O., 2017, "Aplicação de manutenção preditiva baseada na análise de lubrificantes e de parâmetros operacionais para detecção de falhas em motores diesel de equipamentos de construção" COFEB – 9 Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação.
- Mobley, K., 2007, Maintenance Fundamentals.
- Mulhearn, T. and Samuels, L., 1962, "Abrasion of metals: a model of the process", Wear, Vol. 5, pp. 478-498.
- Neale, M., 2001, Lubrication and Reliability Handbook.
- Parker, R., 2012, "Sustainability and the global lubricants industry", Lube Magazine, Vol. 109, pp. 20-25.
- Peng, Z. and Goodwin S., 2001, "Wear Debris Analysis in Expert Systems", Tribology Letters, Vol.11, pp. 177-184.
- Pina, M., 2013, Terraplanagem: Projeto e Execução, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Pirro, D., Webster, M., and Daschner, E., 2016, Lubrication Fundamental, New York.
- Rigney, D., 1992, "The role of characterization in understanding debris generation", Wear Particles: From the Cradle to the Grave, Vol. 21, pp. 405-412.
- Scott, T., 2008, "Basic Wear Modes in Lubricated Systems", Machinery Lubrication.
- Sinha, A., 2010, Vibration of Mechanical Systems, Cambridge University Press.

- Stachowiak, G. and Podsiadlo, P., 2001, "Characterization and classification of wear particles and surfaces", *Wear*, Vol. 249, pp. 194–200.
- Stathis, A. et al, 2014, "The Impact of Particle Contaminants' Hardness on the Wear Mechanism of Rolling Element Bearings", *International Journal of Mechanical and Electrical Engineering*, Vol. 1, Athens, pp. 10-19.
- Xenos, H., 2004, Gerenciando a manutenção produtiva, Brasil.
- Zhao, X. and Bhushan, B., 1998, "Material removal mechanisms of single-crystal silicon on nanoscale and at ultralow loads", *Wear*, Vol. 223, pp. 66-78.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

APPLICATION OF PREDICTIVE MAINTENANCE BASED ON LUBRICANTS ANALYSIS FOR MECHANICAL EQUIPMENT FAILURE DETECTION

Ana Elisa da Costa Borges, anaelisacborges@gmail.com¹

Artur Maciel de Assis Pinto, artur.de.assis@hotmail.com²

Fellipe Estevam de Carvalho, fellipeestevam@live.com³

Wederley Mendes Miranda, wederley@yahoo.com.br⁴

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil,

Abstract. *The competitive scenario between organizations, the need to diminish the equipment maintenance costs and the need to increase machinery availability, have contributed to the development of modern maintenance techniques. These concepts and methodology are present in Predictive Maintenance, theme of this work, as well as the investigation of how predictive maintenance can help on the early detection of failures, using tools as lubricant analysis. Theoretical conceptions of the subject will be discussed, as well as the external environment influence on the contamination level of lubricants. Furthermore, it will be presented different case studies and analysis of lubricants of heavy machines components such as oil pan engine of trucks and track tractors, final drive of track tractors, compaction rollers of compaction rollers and rear differentials of trucks. The present work also reaffirms the importance of the implementation of the predictive analysis in heavy machines used in earthworks, asphalt paving and rigid concrete pavement, bringing financial return in the prevention of failure of machine components.*

Keywords: *Maintenance, Predictive Maintenance, Lubricant analysis, Wear Debris, Ferrography, Wear.*