

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE PARTÍCULAS DE DESGASTES EM ÓLEOS E ANÁLISE DE VIBRAÇÕES APLICADAS NA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Prof. Dr. Aparecido Carlos Gonçalves

UNESP – Universidade do Estado de São Paulo, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Brasil, 56, Centro, Ilha Solteira, SP, CEP 15385000, [cido@dem.feis.unesp.br](mailto:cido@dem.feis.unesp.br).

Profa. Dra. Maria de Consolação Fonseca de Albuquerque

UNESP – Universidade do Estado de São Paulo, Campus de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia. Avenida Brasil, 56, Centro, Ilha Solteira, SP, CEP 15385000.

**Resumo.** *A análise de partículas de desgastes é um forte indicador da interação tribológica na qual estas são formadas. A quantidade de partículas, tamanho, forma e composição dão informações precisas sobre as condições das superfícies em movimentos sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem. De acordo com o estudo destas partículas pode-se relacionar as situações de desgastes do conjunto e atribuí-las a condições físicas ou químicas. A análise de partículas de desgaste é feita, geralmente, através da Ferrografia que consiste na contagem e observação visual das partículas existentes em um lubrificante. Baseia-se nos princípios de que a maior parte dos sistemas mecânicos desgasta-se antes de falhar, que este desgaste gera partículas, que a natureza e quantidade destas partículas dependem da causa e da severidade do desgaste e que a análise destas partículas é o mesmo que analisar as superfícies que se desgastam. A análise de vibrações é outra técnica utilizada para se verificar o estado atual de máquinas e equipamentos em movimentos. Um desbalanceamento em um componente de máquina pode causar desequilíbrio no sistema e resultar em aumento da força aplicada com conseqüente aumento da vibração. Pode-se, pois, graças a captadores colocados em pontos particulares, registrar as vibrações transmitidas pela estrutura à máquina, e graças, ainda, à sua análise, identificar a origem dos esforços aos quais ela está submetida. Como a tendência atual é a utilização, em conjunto, das duas técnicas de manutenção preditiva (análise de partículas de desgastes e análise de vibrações) que vinham sendo estudadas separadamente, neste trabalho pretende-se fazer uma revisão bibliográfica das duas técnicas quando as mesmas são aplicadas em conjunto para se determinar o estado de uma máquina ou equipamento. Serão também discutidas as definições de manutenção.*

**Palavras-chave:** *análise de vibrações, partículas de desgaste, óleo, manutenção.*

## 1. INTRODUÇÃO

A manutenção é uma função estratégica dentro de uma organização e assim o seu desempenho afeta, diretamente, o desempenho de uma empresa (Xavier, 1998).

Algumas tentativas de estabelecimento de uma terminologia padrão têm sido feitas:

- a) Manutenção é uma combinação de ações conduzidas para substituir, reparar, revisar ou modificar componentes ou grupos identificáveis de componentes de uma fábrica, de modo que esta opere dentro de uma disponibilidade especificada, em um intervalo de tempo também especificado (Kelly e Harris, 1980).
- b) Manutenção é o conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem a um estado específico ou, ainda, assegurar um determinado serviço (Mirshawaka, 1991).
- c) Manutenção é todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada (ABNT-P-TB 116, 1975).

Nas definições propostas não existem muitas divergências quanto ao significado da palavra Manutenção como "ato ou efeito de manter" e/ou "medidas necessárias para conservação ou permanência de alguma coisa ou de uma situação" (Holanda, 1975).

Os órgãos de Normatização Técnica, os grupos coordenadores dos diversos ramos industriais, a organização das Nações Unidas e os Comitês Internacionais, têm proposto alternativas de caracterização das subdivisões da manutenção, visando o intercâmbio de informações, sem, entretanto conseguir atingir esta meta (Tavares, 1978). Segundo a ABNT, pode-se subdividir a manutenção em Corretiva e Preventiva.

A manutenção corretiva é efetuada após a pane ou avaria. A quebra não prevista traduz-se por uma parada brusca, geralmente levando a grandes prejuízos e a perda de tempo de produção.

Aplicando-se somente a manutenção corretiva os custos aumentam de uma forma brutal à medida que os equipamentos ou aparelhos vão envelhecendo.

## **2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Este tipo de manutenção se subdivide em Sistemática (Manutenção Produtiva) e Condicional (Manutenção Preditiva).

### **2.1. Sistemática**

Na manutenção sistemática o mantenedor intervém em intervalos fixos, baseando-se em uma expectativa de vida mínima dos componentes que obteve a partir da sua experiência ou a do construtor. Estes intervalos são freqüentemente determinados com o auxílio da Estatística e da Teoria de Probabilidades, tomando-os como o período (a partir do estado de novo ou renovado) ao fim do qual a taxa de falhas acumulada não supere, para algum tipo de máquina, um particular valor.

Este tipo de manutenção tem alguns inconvenientes ( Mirshawaka, 1991):

- i)O custo das operações se eleva devido à periodicidade e, além do mais, não se pode esquecer que quanto maior é a freqüência maior se torna a probabilidade de erro humano;
- ii)A intervenção comumente é antecipada para ficar em fase com outras paradas (elétricas, produção, etc);
- iii)A desmontagem, mesmo parcial, de um aparelho, incita a substituição de peças provocada pela precaução; e
- iv)A multiplicidade de operação de desmontagem aumenta o risco da introdução de novas avarias.

### **2.2. Condicional**

É uma manutenção preventiva subordinada a um tipo de acontecimento predeterminado tais como as informações dadas por um captor ou a medida de um desgaste que revelam o estado de degradação de um bem (Xavier, 1998).

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

- i) Monitora o nível de colesterol. Se exceder algum número tido como bom, significa que as artérias estão sofrendo perigo de entupimento. Deve-se mudar a dieta antes que isto possa ter alguma consequência no futuro.
- ii) Monitora a pressão sanguínea. Se estiver muito alta você poderá sofrer algum desmaio.
- iii) Monitora a temperatura corpórea. Uma febre alta indica a necessidade de atenção médica antes que algum mal aconteça.

Já para o caso da Mecânica automotiva podemos ter:

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

### **3. TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA**

Existem vários tipos de máquinas que podem ser analisadas quanto ao estado de conservação. A seguir são descritos vários tipos de ensaios que podem ser realizados para a análise desta condição do estado do sistema.

#### **3.1. Análise de Partículas de Desgaste**

A principal função de um óleo em elementos de máquinas em movimento é reduzir o desgaste ao evitar o contato metal-metal. Isto acontece de duas maneiras. Separando as partes em contato com um filme fino de óleo e formando uma camada superficial protetora no metal através da interação com os aditivos presentes no óleo (Brucato, 1991).

Quando o óleo está executando sua função o desgaste ocorre na camada superficial. Pouquíssimas partículas vêm das camadas subjacentes. Porém, cargas excessivas, altas temperaturas, partículas abrasivas e diluição por combustível (em motores de combustão interna) ou solvente podem quebrar o filme e a camada superficial de óleo (Ding, 1999; Godfrey, 1987).

Para peças de ferro e aço, partículas de desgaste depositam-se no óleo. Suas concentrações são bons indicadores de contato metal-metal.

As partículas pequenas das camadas superficiais são, freqüentemente, óxidos, sulfetos e outras partículas não metálicas (JOAP, 2000).

A presença de partículas abrasivas no óleo é uma causa comum de desgaste. Seu tamanho é importante. Se forem muito grandes elas não conseguem entrar nas folgas dos mancais. Se forem muito pequenas elas não conseguem atravessar o filme de óleo e a camada protetora.

Como numa reação em cadeia as partículas duras causam desgaste abrasivo gerando mais partículas de desgaste (Bressan et al, 1999).

A análise destas partículas de desgastes, geralmente, é feita através da Ferrografia que consiste na contagem e observação visual das partículas existentes em um lubrificante. Baseia-se nos princípios de que a maior parte dos sistemas mecânicos desgasta-se antes de falhar, que este desgaste gera partículas, que a natureza e quantidade destas partículas dependem da causa e da severidade do desgaste e que a análise destas partículas é o mesmo que analisar as superfícies que se desgastam.

Há dois níveis de análise ferrográfica. Uma quantitativa que fornece uma indicação de severidade do desgaste e uma analítica que leva ao conhecimento das causas. Esta última permite a observação visual das partículas para que sejam identificados os tipos de desgaste presentes.

Para a análise das partículas de desgaste é necessária a coleta do óleo. Este óleo pode ser verificado quanto às partículas magnéticas contidas no seu interior, através do Quantificador de Partículas ilustrado na Fig. (1), pode ser trabalhado para separação das partículas por faixa de

tamanho, através do RPD também ilustrado na Fig. (1) e pode ser verificado quanto ao conteúdo total de partículas existente em seu interior através de um contador de partículas.



Figura 1. Separador de Partículas RPD e Quantificador de Partículas Magnéticas PQM.

### 3.2. Análise de Vibrações

O princípio de análise de vibrações está baseado na idéia de que as estruturas das máquinas, excitadas pelos esforços dinâmicos, dão sinais vibratórios cuja frequência é idêntica àquelas dos esforços que os tenham provocado; e a medida global tomada em algum ponto é a soma das respostas vibratórias da estrutura aos diferentes esforços excitadores (Wang e Williang, 1995).

Pode-se, pois, graças a captadores colocados em pontos particulares, registrar as vibrações transmitidas pela estrutura à máquina, e graças, ainda, à sua análise, identificar a origem dos esforços aos quais ela está submetida (Mirshawka, 1991; Diana e Cheli, 1995).

Dessa forma, assim que se obtém a "assinatura" vibratória da máquina quando ela era nova ou reputada como em bom estado de funcionamento, poder-se -á, por comparação, apreciar a evolução de seu estado e identificar o aparecimento de esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento (Azovtsev e Barkov, 1998).

Pode-se representar um nível vibratório de várias formas e a mais importante é a Representação Espectral (ou frequencial) (Mirshawka, 1991).

Para descrever completamente o sinal é suficiente conhecer a amplitude máxima  $A$ , a frequência do sinal  $f$ , e fase  $\varphi$ ; conforme Fig. (2).

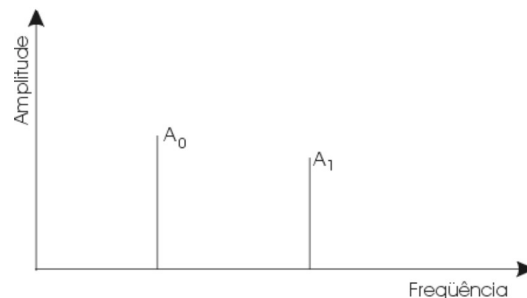


Figura 2. Espectro de frequência simplificado.

Na maior parte das medidas de vibração é mais fácil trabalhar no domínio das frequências que no domínio do tempo (Breitenbach, 1999).

Um sinal no domínio do tempo enviado por um transdutor é convertido em suas componentes de frequência.

As forças existentes podem ser (Saavedra e Espinoza, 1987):

- i) cíclica: desbalanceamento, ou forças da malha de engrenamento que desenvolvem um espectro em forma de linha;
- ii) impulsiva: pitting nos mancais, dente de engrenagem quebrado que desenvolve um espectro modulado;
- iii) randômica: fricção, cavitação que geram espectro contínuo.

Em um espectro, todos os componentes de um nível vibratório são representados sob a forma de "picos" e pode-se seguir individualmente uma variação de amplitude, sem que se tenha, como acontece na medida global, o efeito de mascarar, com o que se corre o risco de não notar um defeito em desenvolvimento. A Fig. (3) apresenta um espectro em frequência.

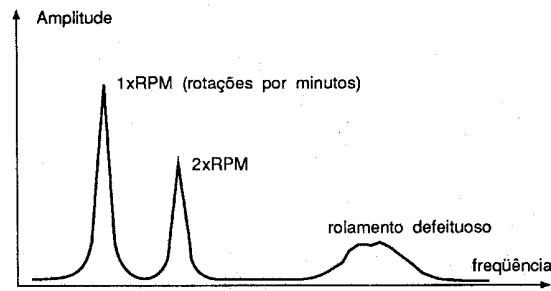


Figura 3. Exemplo típico de traçado de um espectro de rolagem (Mirshawaka, 1991).

Entre as novas soluções técnicas estão os processamentos espectrais automáticos com a extração das componentes harmônicas e a detecção de suas amplitudes e frequências, assim como suas possíveis origens (Thomas e Crum, 1996). Tal automatização permite uma melhor visualização do desenvolvimento do sinal, especialmente em casos de flutuação da rotação de uma medida para outra (Barkove e Azovtsev, 1998).

Os sistemas de diagnoses automáticos realizam a diagnose com a identificação dos possíveis defeitos, mesmo em seu estado incipiente (Gunter, 1992; Oashi, 1991). Cada defeito é monitorado durante o seu desenvolvimento. Isto permite a predição do desenvolvimento do defeito e a predição precisa do tempo de vida restante da máquina ou algum de seus componentes (Barkov et al, 1998).

### 3.3.Viscosidade

É a propriedade mais importante dos óleos lubrificantes, podendo ser definida como a resistência ao escoamento que os fluidos apresentam.

Os viscosímetros mais usuais no Brasil são os dos tipos Saybolt e Cinemático. Também existem outros como o Engler e Redwood de construção similar ao Saybolt.

Estes quatro tipos de viscosidade possuem uma inter-relação para a mesma temperatura.

A viscosidade de óleos usados em redutores de velocidades é geralmente determinada a 40°C. Esta pode diminuir devido à diluição por solventes ou pode aumentar devido à contaminação dos óleos por resíduos e/ou oxidação (Roylance et al, 2000; Sperring et al, 2000 e Viney et al, 2000).

### 3.4.Índice de Acidez, alcalinidade ou neutralização.

Uma alta acidez do óleo pode causar desgaste corrosivo. A acidez TAN (Total Acidity Number) ou o Índice de alcalinidade TBN (Total Base Number) não representam um valor absoluto e não podem ser usados para "predizerem o desempenho de serviço". Os testes são úteis para indicar as mudanças relativas ocorridas durante a operação devido às condições de oxidação. Às vezes as conclusões empíricas podem ser obtidas dependendo das experiências de laboratório (Roylance, 2000). O índice de acidez ou alcalinidade de um óleo novo está normalmente na faixa de 0,02 a 0,10.

O Índice de neutralização de um óleo é aplicável de duas maneiras. É uma medida de acidez ou alcalinidade de um óleo novo e é um indicador do grau de degradação do óleo usado devido à oxidação. É uma técnica útil, pois a determinação periódica indica o progresso da oxidação do lubrificante (Davis, 1997). O aparelho para verificação do TAN e TBN está ilustrado na Fig. (4).



Figura 4. Bureta Digital (verificação do TAN e TBN), Aparelho para verificação do Ponto de Fulgor e Combustão e Aparelho para verificação do teor de água (Karl Fischer).

### 3.5. Teor de Água

Água é o maior inimigo dos óleos e das máquinas. Um alto teor pode influenciar a viscosidade pela formação de emulsão e/ou pela reação química com alguns aditivos. A água pode restringir o funcionamento dos inibidores e pode também hidrolisar os aditivos que contenham zinco. A presença de água num sistema de lubrificação pode indicar contaminação através das juntas ou vedadores com vazamento, fugas do fluido de resfriamento através de trincas ou poros, inadequada armazenagem do óleo ou sua aplicação incorreta. Água livre é a principal causa de ferrugem, borra e lubrificação deficiente. Portanto, a origem da água deve ser localizada e eliminada o mais cedo possível (Kirt et al, 1999). O aparelho para verificação do teor de água está ilustrado na Fig. (4).

### 3.6. Ponto de Fulgor e Combustão

Ponto de Fulgor é a mais baixa temperatura na qual uma amostra de óleo desprende vapores, quando aquecida, em proporções suficientes para formar uma mistura inflamável com o ar, provocando um flash, quando se aproxima uma chama de sua superfície, sob condições prescritas de ensaio.

É utilizado para avaliar as temperaturas de serviço que um óleo lubrificante pode suportar com absoluta segurança operacional, além de determinar diluições por solventes ou contaminações com óleos lubrificantes mais leves, no caso de óleos em uso (Roylance, 2001).

O ponto de chama é a temperatura a qual o óleo aquecido queima continuamente durante certo tempo. O aparelho para verificação do ponto de fulgor e combustão está ilustrado na Fig. (4).

### 3.7. Diluição

A diluição de solventes em óleos de redutores é determinada por destilação. As quantidades medidas de usado são depositadas num balão de vidro e destiladas. O destilado (solvente e água) é coletado num recipiente graduado. O solvente flutua sobre a água no recipiente. Seu volume é medido e calculado sua porcentagem no óleo. A presença de 5% de solvente pode acarretar uma redução de viscosidade equivalente a aproximadamente um grau SAE (Nowell, 2000).

### 3.8. Densidade

É uma propriedade inerente aos derivados de petróleo o fato de um aumento de temperatura provocar uma expansão de volume do produto com a conseqüente queda de sua densidade. Por isso o método de realização da densidade fornece resposta a uma temperatura de referência, que no Brasil é de 20°C. A partir desta densidade, com o uso de tabelas, podemos encontrar o valor da densidade na temperatura desejada.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS EM ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

A Fig. (5) apresenta o conjunto motor - bomba hidráulica para bombeamento de água de um sistema de refrigeração de ar condicionado de uma biblioteca.

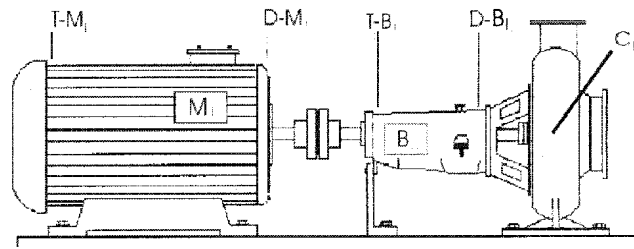


Figura 5. Pontos de medidas no conjunto motor – bomba hidráulica.  $M_i$  = motor;  $B_i$  = Eixo da bomba;  $C_i$  = Caracol da bomba. As posições são: D = posição no mancal dianteiro; T = posição no mancal traseiro, i varia de 1 a 6 ( seis conjuntos).

A Fig. (6) apresenta as medições dos valores globais em todos os pontos do conjunto n°1. A Fig. (7) mostra os valores medidos no ponto D-M2 (mancal dianteiro do motor do conjunto 2) num determinado dia.

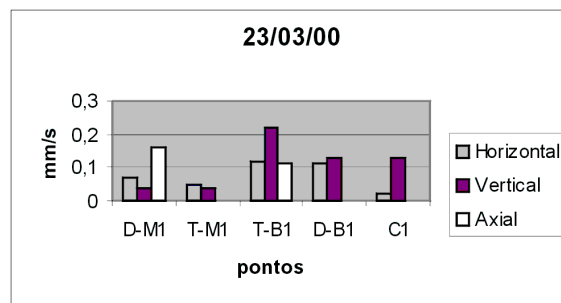


Figura 6. Medições dos Valores Globais [rms] do conjunto n° 1 de 10 Hz até 1 kHz.

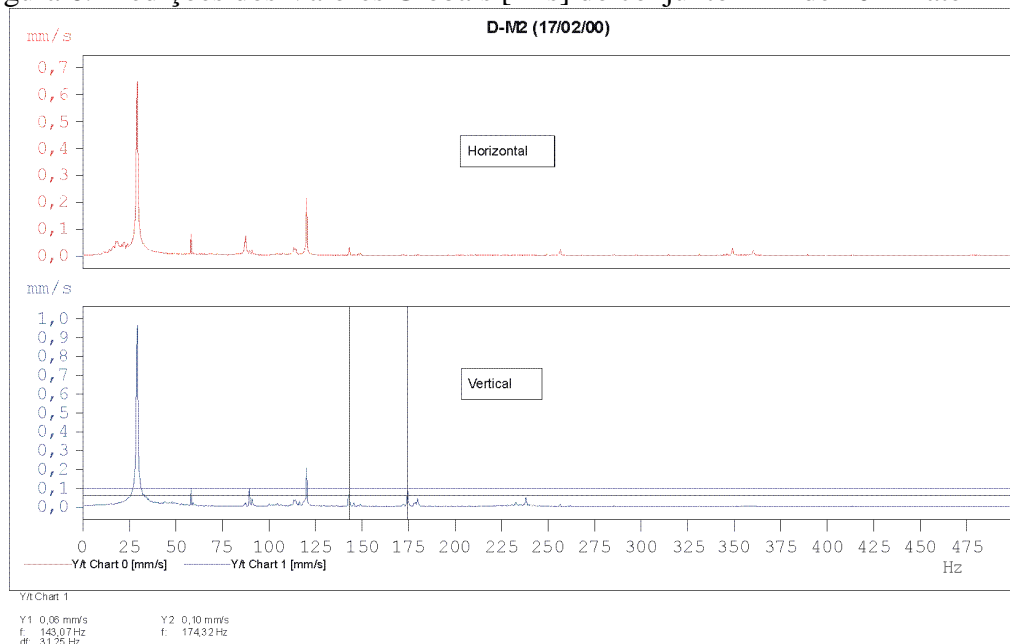


Figura 7. Medições D-M2 a 1 kHz com filtro de 281 Hz.

Pela Fig. (6) verifica-se que os valores rms estão dentro dos valores aceitáveis pelas normas. Pela Fig. (7) pode-se observar picos de velocidades na frequência de giro (1750 rpm) e nas harmônicas de ordem superior com baixas amplitudes. Observa-se um ligeiro (tolerável) desalinhamento angular do acoplamento entre o eixo do motor e da bomba. As frequências de aproximadamente 120 Hz estão ligadas à frequência da rede (2x) e não ultrapassam o valor que as tornam críticas.

#### **4. CONCLUSÕES**

Nos últimos anos tem havido grandes avanços nas tecnologias de diagnoses e monitoramento da condição através da análise de vibrações e partículas de desgastes em óleos lubrificantes.

Para a verificação do estado da máquina não só a análise das partículas é necessária. É importante medirem-se as características físicas e químicas dos lubrificantes e as vibrações em pontos-chaves do conjunto.

A análise das vibrações é uma forma eficaz para o estabelecimento de sistemas de manutenção preditiva, pois o desgaste e falhas nas máquinas estão intimamente ligados às amplitudes destas vibrações. Analisando a evolução dos parâmetros controlados mediante a vigilância contínua ou periódica, pode-se prever com um certo nível de confiança quando se produzirá uma falha (análise de tendência). Esta técnica de manutenção permite uma avaliação exterior das condições da máquina sem desmontá-la e, inclusive, sem pará-la.

As técnicas de manutenção preditiva ainda não são capazes de detectarem todos os danos possíveis que uma máquina pode apresentar. Apesar de alguns inconvenientes da manutenção preditiva, como este, os resultados que se obtêm, em geral, são muito bons. Se os prejuízos com as paradas de produção são elevados, a rentabilidade da manutenção preditiva está praticamente assegurada.

Também é muito difícil encontrar mão de obra especializada neste campo, sobretudo quando se pretende controlar com profundidade o estado das máquinas. A dificuldade da análise dos dados para a aplicação das técnicas preditivas tem sido, até o momento, o obstáculo principal à introdução massiva da manutenção preditiva nas empresas.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Este trabalho só foi realizado graças à ajuda da FINEP-Financiadora de Estudos e Projetos (convênio 23.01.0418.00) e a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) (Processo 02/11607-9).

#### **6. REFERÊNCIAS**

- ABNT - P - TB -116, “Confiabilidade de Equipamentos e Componentes Eletrônicos”: Termos Básicos e Definições, 1975.
- Anderson, A., Sweeney, A., Williams G. “Quantitative Approaches to Decision Making”, South Western College Publishing, 1999, 9<sup>th</sup> Edition, pp666-671.
- Anon, “Is there a reliable method of introducing a centrifugal pump predictive maintenance program?” 6-11, The McNally Institute, 1986. Internet: [www.mcnallyinstitute.com/06-html/6-11.html](http://www.mcnallyinstitute.com/06-html/6-11.html).
- Azovtsev, A.; Barkov, A., “Development of Condition Diagnostics in Russia Using Vibration”. Vibro Acoustical Systems and Technologies, Inc. (VAST). Saint Petersburg, Russia. Internet:, 16p., 1998.
- Barkov, A.; Azovtsev, A., “A New Generation of Condition Monitoring and Diagnostic Systems”, internet :, 1998



- Barkov, A.; Barkova, N.; Azovtsev, A. "Peculiarities of Slow Rotating Rolling Element Bearings Condition Diagnostics", 10p., 1998, internet: [www.inteltek.com/articles/slowbear/index.htm](http://www.inteltek.com/articles/slowbear/index.htm)
- Barracough, T.G., Sperring, T.P., Roylance, B.J. Nowell, T., "Generic-based Wear Debris Identification – on the first step towards morphological classification", In Proceedings of the International Conference on Condition Monitoring, Swansea, 1999, pp525-538, Coxmore Publishing, Oxford.
- Breitenbach, A., "Against spectral leakage", Alpine Electronics Research of Europe. Germany. 12p. au, 1999.
- Bressan, J.D., Genim, G. M., Williams, J. A., "The Influence of Pressure, boundary film shear strength and elasticity on the friction between a hard asperity and a deforming softer surface", In Proceedings of the 24<sup>th</sup> Leeds-Lyon Symposium on Tribology. Eds D. Dowson, 1999.
- Brucato, P.S., "Oil Analysis, Pay Dirt", Mass Transit, May/June 54,56, 1991, 68.
- Davis, A., "Handbook of Condition Monitoring", Publisher Chapman and Hall, 1997.
- Diana, G. Chelif, F., "Vibration Mechanics". SFM: Société Française des Mécaniciens. Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques, Senlis (France), p.475-486, 10-12 October 1995 vol 2/2.
- Ding, J. G., "A Computerised Wear Particles Atlas for Ferrogram and Filtergram Analysis", 1999.
- Godfrey, D., "Recognition and Solution of Some Common Wear Problems Related to Lubricant and Hydraulic Fluids", Lubricant Engineering, 43, 111-114, 1987.
- Gunter, E. J. et al., "Dynamics of Nuclear Water Pumps", Proceedings of 16th Annual Meeting of Vibration Institute, Virginia, 1992, pp. 167-185.
- Holanda, A. B. de, "Novo Dicionário da Língua Portuguesa", Editora Nova Fronteira - 1<sup>a</sup> edição, pp 889-1148, 1975.
- JOAP, "Integrated Monitoring Diagnostics and Failure Prevention", JOAP International Condition Monitoring Conference, Mobile, Al., 2000.
- Kelly, A.; Harris, M. J., "Administração da Manutenção Industrial. IBP" - Instituto Brasileiro de Petróleo, 1980.
- Kirt, T.B., Panzera, D., Anamalay, R.V. and Xu, Z.L., "Computer Image Analysis of Wear Debris for Condition Monitoring and Fault Diagnosis", WEAR, 181-183, pp717-722, 1999.
- Mirshawka, V., "Manutenção Preditiva: Caminho para zero defeitos". São Paulo, Makron, McGraw-Hill, 1991. 317p.
- Nowell, T.J., Curran, A., "Development of a Software-Based Tool for Systematic Classification of Oil Wetted Particles (SYCLOPS) for use by Royal Air Force" JOAP Technology Showcase, 2000, pp 237-246.
- Oashi, H., Editor, "Vibration and Oscillation of Hydraulic Machinery", Hydraulic Machinery Book Series, University Press, Cambridge, 1991.
- Roylance, B.J., "Oil and Wear Debris Analysis – an essential Component of an Integrated Machinery Health Monitoring Programme", Proc. International Conference, Yokohama, pp205-2000.
- Roylance, B.J., "The Non-Intrusive Detection and Diagnosis Wear Through Debris Analysis", International Journal of COMADEM, 2001, pp12-18.
- Roylance, B.J., Williams, J.A. Dwyer-Joyce, R., "Wear Debris and Associated Wear Phenomena-Fundamental research and Practice", International Mechanical Engineer, vol 214, Part J., 2000.
- Saaverdra, P.; Espinoza, J., "An Integrated Approach Method to Rotating Machinery Fault Diagnosis". Condition Monitoring' 87 , 1987, p.685-704.
- Sperring, T.B., Roulance, B.J., Nowell, T., Hodges, D., "From Research to Application – The Development of the Wear Debris Classification System – SYCLOPS", 2001, Condition Monitoring 2000.
- Tavares, L. A., "Controle de Manutenção por Computador", Rio de Janeiro, Jr. Ed. Técnica, 1987.
- Thomas, H.; Crum, P.E., "Comparison of Vibration and Oil Analysis", Technology Showcase Integrated Monitoring, Diagnostics and Failure Prevention. p.47-53 Proceeding of a Joint Conference Mobile, Alabama. April 22-26, 1996.

- Viney, G. A., Sperring, T. P., Jones, M.H., Roylance, B.J., “The Role and Application of Artificial Intelligence Methods for Oil and Wear Debris Analysis in Condition Based Maintenance Programmes”, JOAP Technology Showcase, 2000, pp260-268.
- Wang, H.; Williams, K., “The vibrational analysis and experimental verification of a plane electrical machine stator model”, Mechanical Systems and Signal Processing. pp. 429-438, 1995.
- Xavier, A. N., Manutenção Classe Mundial, Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador, 09/98.

## **REVIEW ON WEAR PARTICLE IN OIL AND VIBRATION APPLIED TO PREDICTIVE MAINTENANCE OF MACHINE AND EQUIPMENT.**

Prof. Dr. Aparecido Carlos Gonçalves. UNESP - University of the State of Sao Paulo, Department of Mechanical Engineering, Ilha Solteira, PoBx 15385000, Brasil Avenue, 56, Ilha Solteira, SP.

Profa. Dra. Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque. UNESP-University of the State of Sao Paulo, Department of Mechanical Engineering, Ilha Solteira, PoBx 15385000, Brasil Avenue, 56, Ilha Solteira, SP.

**Abstract.** *Wear particle analysis is a strong indicator of the tribological interaction, which these are formed. The amount of particles, size, shape and composition give precise information about the moving surfaces conditions without disassembling the parts. Analyzing these particles one can link the wear conditions and relates them to physical or chemical conditions. Wear particle analysis is made, generally, through ferrography that consists on counting and visual observation of particles present in a lubricant. Vibration analysis is other technique to verify the real state of moving machines and equipment. Unbalance in a machine element can result in an increasing applied force with increasing vibration. With captors placed in private points, it is possible to register transmitted vibrations by structure to machine and through its analysis; it is possible to identify the origin of the efforts. Combining the two techniques is a tendency. So, this work presents a review on both techniques in order to get the real machine conditions. Maintenance is also discussed.*

**Keywords.** *wear particles, oil analysis, vibration analysis, maintenance.*