Ciência & Tecnologia
Fatec-JB

ISSN: 2178-9436

A FERROGRAFIA APLICADA NO GERENCIAMENTO DOS MANCAIS DE ROLAMENTOS DE MÁQUINAS ROTATIVAS

FERROGRAPHY APPLIED TO THE MANAGEMENT OF BEARINGS IN ROTATING MACHINERY

Marcos Ribeiro[I]
Vinicius Dias[II]
Maria Aparecida Bovério[III]
Dejaime Pereira da Silva[IV]
Ricardson Leandro Nunes[V]

RESUMO

Os mancais de rolamento são amplamente utilizados como suportes de rotores e eixos em muitos sistemas de máquinas, como motores de combustão, motores elétricos, turbinas e bombas de diversos tamanhos. São projetados de forma simples, altamente eficiente, tem longa vida útil, baixo custo e não falham facilmente. Com base em estratégias de manutenção preventiva, muitas técnicas de monitoramento são desenvolvidas para monitorar mancais de rolamento, tais como a análise de lubrificante, análise de vibração, ruído e análise de emissão acústica. Dentre elas, a Ferrografia é um dos recursos para a análise de óleo, pois, com um sinal de aviso indica a possível tendência de parada de máquina. Nessa perspectiva, esse trabalho pautou-se na revisão da literatura e na pesquisa documental e teve o objetivo de pesquisar a importância da ferrografia para o gerenciamento dos mancais de rolamentos de máquinas rotativas. Os resultados indicam que a ferrografia é uma análise útil e abrangente para tendências de falhas, pois sugere quando se deve realizar a manutenção no equipamento. Pode-se concluir, portanto, que ela é uma técnica laboratorial viável de manutenção preditiva para o monitoramento e diagnóstico de condições de máquinas.

Palavras-chave: ferrografia; mancais de rolamento; manutenção corretiva; manutenção produtiva; manutenção preventiva.

ABSTRACT

Roller bearings are widely used as rotor and shaft supports in many machine systems, such as combustion engines, electric motors, turbines, and pumps of various sizes. They are simply designed, highly efficient, have a long service life, low cost and do not fail easily. Based on

[I] Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Fatec Sertãozinho. E-mail: marcosribeiro0442@gmail.com
[II] Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Fatec Sertãozinho. E-mail: viniciusmd2012@hotmail.com
[III] Profa. Dra. do curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br
[IV] Engenheiro Eletricista pela Universidade de Araraquara (UNIARA), Master in Business Administration (MBA) - Gestão Empresarial pela Faculdade de Monte Alto-SP; Especialista em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Automação, pela UniBF, Paraíso do Norte-PR; Engenheiro Eletricista de Manutenção - Electrical Maintenance Engineer na HUTCHINSON Brasil Automotive Ltda (HBA), Departamento Manutenção - Industry II - Maintenance Department. Docente da Fatec Jaboticabal. E-mail: dejaimesilva@gmail.com
[V] Engenheiro mecânico e Prof. Dr. da Fatec Jaboticabal. E-mail: eng.richard.nunes@gmail.com

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

preventive maintenance strategies, many monitoring techniques have been developed to monitor rolling bearings, such as lubricant analysis, vibration analysis, noise, and acoustic emission analysis. Among these, ferrography is one of the resources for oil analysis, as a warning signal indicates a possible tendency for the machine to stop. With this in mind, this work was based on a literature review and documentary research and aimed to investigate the importance of ferrography for the management of bearings in rotating machinery. The results indicate that ferrography is a useful and comprehensive analysis of fault trends, as it suggests when maintenance should be carried out on the equipment. It can therefore be concluded that it is a viable predictive maintenance laboratory technique for monitoring and diagnosing machine conditions.

Keywords: ferrography; rolling bearings; corrective maintenance; productive maintenance; preventive maintenance.

Data de submissão do artigo: 28/05/2023.
Data de aprovação do artigo: 12/06/2024.
DOI: 10.52138/citec.v16i1.285

1 INTRODUÇÃO

Mancal de rolamento pode ser definido como um elemento de máquina que serve de apoio fixo para a transmissão mecânica em elementos girantes, tais como os eixos e os rolamentos. Geralmente são fabricados de ferro fundido ou de aço, e bipartidos (base e tampa). Os principais tipos de são: rotativo ou de rolamento e de deslizamento ou de bucha (Almeida, Lima e Barbieri). As fotografias 01 e 02 exemplificam esses elementos:

Fotografia 1 – mancal bipartido



Fonte: autoria própria (2024)

Fotografia 2 – mancal bipartido (outro ângulo)



Fonte: autoria própria (2024)

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Considerando-se, portanto, que os mancais são imprescindíveis para as máquinas, eles carecem de constante supervisão e monitoramento, ou seja, de manutenção. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira NBR 5462:1994 define manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas incluindo-se as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. O item 2.2.7, da mesma norma, define Mantenabilidade como a "capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos" (ANBT, 1994, p. 3).

Assim, a manutenção é o conjunto de várias ações para evitar que uma planta ou componente falhe ou, ainda, para reparar equipamentos degradados. Além disso, a manutenção pode ser classificada em três tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva ou manutenção baseada na condição (Kardec; Nascif, 2012; Kardec, Nascif e Santos, 2002)).

Há várias estratégias de manutenção que podem ser utilizadas para a resolução de falhas, e pode-se considerar, no contexto desse trabalho, que a mais importante, para diagnosticar as falhas antes da quebra da máquina, é a realização da supervisão ou monitoração, definida de acordo com a NBR 5462:1994 como a "atividade realizada manualmente ou automaticamente, destinada a observar o estado real de um item" (ABNT, 1994, p. 7). A observação das condições é baseada no monitoramento do desempenho de uma máquina em condições normais de operação e na análise das informações e dados coletados *on-line* ou *off-line*.

O principal objetivo da supervisão ou monitoramento é detectar um possível problema que atingiu um determinado nível sintomático, fornecendo um aviso exclusivo antes que ocorra uma falha. Além disso, o monitoramento de condições procura detectar falhas por meio de equipamentos de alta tecnologia com medições como pressão, temperatura, vibração, análise de óleo entre outros, evitando-se, assim, falhas devastadoras e danos aos componentes. Nesse sentido, a condição de vibração é uma técnica efetiva de monitoramento usada para detectar uma falha em um rolamento e um processo de degradação que atingiu um determinado dano. Fraturas, rachaduras e rupturas são geralmente referidas como falha material, mecânica ou física. A falha é uma preocupação vital para engenheiros de todas as áreas, no entanto, as falhas materiais constituem apenas uma das áreas contribuintes que constituem o domínio de falha com o qual os engenheiros devem lidar no desenvolvimento de produtos (Collins; Daniewicz, 2006).

Um eixo rotativo é sempre o elemento-chave da indústria, em bombas e turbinas. Os mancais são usados para guiar e apoiar os eixos para minimizar o atrito. Devido à falta de óleo, contaminação do óleo, centro de massa e uso incorreto dos rolamentos, defeitos como desalinhamento, desbalanceamento, frouxidão, fricção e desgaste poderão se desenvolver. Existem muitas técnicas usadas para monitorar as condições do mancal, porém, dentre elas, há a técnica da análise de lubrificação. As técnicas de análise de óleo são frequentemente aplicadas para fornecer uma indicação de uma lubrificação não saudável. Além disso, são necessários equipamentos especiais para detectar falhas de lubrificação, como degradação, contaminação do óleo, consistência inadequada do óleo e deterioração do óleo (Maran, 2011).

Nesse contexto, esse trabalho teve o objetivo de pesquisar a importância da ferrografia para o gerenciamento dos mancais de rolamentos de máquinas rotativas, por meio da revisão da literatura e da pesquisa documental. A importância de se pesquisar esse tema considerou o fato de que a ferrografia é uma análise útil e abrangente para tendências de falhas e, por isso, houve o interesse em se aprofundar nessa temática.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Essa pesquisa foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica, com o intento de aprofundar essa temática. Esse tipo de pesquisa é elaborado a partir de material já publicado, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com materiais já escritos sobre o assunto da pesquisa. As palavras-chave utilizadas na busca foram: ferrografia, gerenciamento da manutenção, manutenção baseada em confiabilidade e mancais de rolamentos. A busca pelos trabalhos foi realizada em periódicos científicos disponíveis ao público, na modalidade on-line. A escolha dos materiais mencionados nas referências e citados no corpo desse trabalho ocorreu diante da leitura dos resumos e verificação da pertinência ao objetivo dessa pesquisa, sem o intento de esgotar essa temática. Nessa perspectiva, adotou-se a revisão narrativa da literatura, sem a utilização de critérios explícitos e sistemáticos, ou seja, a busca pelos estudos não precisou esgotar as fontes de informações e, também, não aplicou estratégias de busca sofisticadas e exaustivas, uma vez que não era intenção esgotar essa temática (Prodanov; Freitas, 2013).

Além da revisão bibliográfica foi realizada uma pesquisa documental na norma da ABNT NBR 5462:1994, uma vez que ela trata da confiabilidade e manutenibilidade, inerentes a temática em estudo.

3 FERROGRAFIA: conceito, tipos e aplicações

O desgaste é uma das principais causas de falha mecânica. As partículas produzidas pelo desgaste contêm muitas informações como localização, tipo e grau de desgaste entre outras. Elas existem, principalmente, no óleo lubrificante de equipamentos mecânicos. Ao usar a tecnologia de análise de óleo, o monitoramento do *status* de desgaste e a identificação do equipamento podem ser realizados e, em seguida, os possíveis problemas podem ser encontrados a tempo e o equipamento pode ser mantido de forma eficaz. A tecnologia de análise de óleo inclui análise de ferrografia, análise de espectro e análise de tamanho de partícula, que podem revelar a tendência de evolução do estado de desgaste e a relação entre o estado de desgaste e o mecanismo. Dentre esses métodos, a ferrografia é o mais utilizado, pois ela tem como base a análise de imagens de partículas de desgaste (Pina, 2013).

Os dois principais objetivos da análise de óleo lubrificante são os de detectar as condições em que se encontra o óleo e as prováveis falhas no equipamento. Assim, as análises dos óleos lubrificantes são realizadas por amostras retiradas do equipamento e são divididas em grupos: análise de contaminações, análise físico-química, a Ferrografia e a Espectrometria (Araújo *et al.,* 2019).

A ferrografia, objeto de estudo dessa pesquisa, é uma técnica de monitorização e diagnóstico do estado das máquinas, que foi descoberta em 1971, pelo americano Vermon C. Westcott (Carvalho *et al.,* 2012). Existem dois níveis de análise de ferrografia, um quantitativo que consiste numa técnica de avaliação condicional do desgaste de componentes de máquinas através da quantificação de partículas num lubrificante; e um analítico que utiliza a observação de partículas de desgaste num lubrificante. A ferrografia quantitativa consiste na quantificação do tamanho e número de partículas em suspensão de lubrificante. Através dessa técnica é possível obter informações sobre o grau de desgaste severo numa máquina analisada. A quantificação é feita por um contador de partículas que é capaz de quantificar partículas grandes e pequenas de uma forma rápida e objetiva. A ferrografia analítica é feita através de exame visual morfológico, cor das partículas, tamanho das partículas e distribuição e concentração das

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

partículas. Essa técnica é importante para obter as causas do desgaste, ou seja, gerar o mecanismo de desgaste. Cada tipo de desgaste pode ser identificado pelas diferentes formas que as partículas adquirem quando são geradas (Gonçalves; Cunha; Lago, 2006, **tradução nossa**).

A ferrografia analítica tem todas as características benéficas e, por isso, se dá a importância de estar entre as ferramentas de diagnóstico mais poderosas na análise de óleo, assim como a de fornecer informações importantes de uma máquina ou planta em operação, se aplicada corretamente. No entanto, ele sofre algumas desvantagens, como seu preço comparativamente alto, um mal-entendido geral sobre seu valor e o fato de que o teste só pode ser realizado por um analista treinado devido aos seus longos procedimentos de teste (Sondhiya; Gupta, 2012, **tradução nossa**). Sobre seu alto valor, Gonçalves, Cunha e Lago (2006) inferem que a maioria dos pesquisadores concorda que o benefício da ferrografia analítica supera significativamente o custo quando o desgaste anormal é encontrado na análise.

Assim, conforme mencionado anteriormente, o objetivo da ferrografia é o de melhorar a análise de amostras de óleo de motores a jato. A ferrografia envolve a passagem da pasta de detritos sobre um substrato inclinado transparente na presença de um campo magnético variável. As partículas ferromagnéticas são distribuídas na lâmina de vidro, de acordo com o tamanho devido ao ímã subjacente que possui um grande gradiente de campo. Uma distribuição de tamanho aproximada é revelada na lâmina e pode ser usada para julgar a gravidade do desgaste que está ocorrendo. Os desgaste mais comuns são abrasão e esfoliação, no degaste de esfoliação, as partículas variam de 5mm a 15mm, a esfoliação é gerada sem a necessidade de um contato físico, só pela força tangencial (quando possui movimento circular uniforme e quando sua velocidade angular é constante) (Henrique; Hiroo; Roberto, 2015 p. 7).

O desgaste abrasão é diferente da esfoliação, pois as partículas são parecidas com cavaco, de dimensões que variam de 2 a centenas de mícrons; nos mancais essas partículas podem aumentar conforme a medida em que o material do mancal vai sendo gasto, só tendo fim quando o mancal perde sua funcionalidade Henrique; Hiroo; Roberto, 2015 p. 7).

A severidade do modo de desgaste pode ser inferida pelos respectivos valores de quantidade de partículas grandes (DL) e quantidade de partículas pequenas (DS). A Ferrografia Analítica requer um técnico treinado para interpretar os resultados no substrato transparente. Detritos ferromagnéticos se alinham de ponta a ponta devido ao campo magnético e, portanto, são visualmente discerníveis de materiais não ferromagnéticos que não estão alinhados. Embora a ferrografia seja uma técnica altamente eficaz para determinar o desgaste, ela caiu em desuso nos laboratórios comerciais devido ao processo manual intensivo (Inegi, 2022; Cunha, 2005).

O sucesso dessa técnica em monitorar a condição de motores de aeronaves militares levou a novos desenvolvimentos para outros usos práticos. Em uma ampla gama de indústrias, a ferrografia pode ser valiosa para ajudar a determinar as necessidades de manutenção para máquinas, identificando as condições específicas da máquina, uma vez que foi elaborado um atlas de partículas de desgaste contendo imagens produzidas em um ferrograma (Inegi, 2022; Cunha, 2005).

Os avanços na instrumentação ferrográfica, através da análise de imagens, abriram caminho para um estudo mais amplo e para a classificação de partículas de desgaste produzidas por diversos metais e substâncias, tanto magnéticas quanto não magnéticas. Para estabelecer linhas de base precisas para a condição de operação da máquina, amostras são coletadas em intervalos regulares de locais cuidadosamente selecionados dentro do sistema da máquina, preferencialmente durante a operação normal. Sempre que for possível, as amostras devem ser coletadas antes dos filtros de linha, para garantir concentrações representativas de partículas de desgaste (Santos; Vilar, 2021; Inegi, 2022; Matias *et al.,* 2008).

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

O ferrógrafo analítico é usado para preparar um Ferrograma – uma placa de vidro com partículas depositadas para análise microscópica e documentação fotográfica. As partículas suspensas em uma amostra de óleo são depositadas magneticamente em uma placa de vidro – Ferrograma. A análise microscópica fornece uma base qualitativa para avaliar e registrar visualmente o histórico do equipamento em relação aos processos de desgaste (figura 1) Também permite a identificação de mecanismos de desgaste, produzindo padrões de danos iminentes ou catastróficos (Santos; Vilar, 2021; Inegi, 2022; Matias *et al.,* 2008).

O termo ferrografia, apesar de remeter à palavra "ferro pode detectar, também, outros tipos de materiais, como, por exemplo, ligas de metais não ferrosos e materiais não metálicos, tais como, a areia, fibras orgânicas e fibra inorgânicas, borra, fuligem entre outros. Portanto, se executada com todos os rigores técnicos, permite um diagnóstico preciso do modo de desgaste da máquina monitorada (Carvalho *et al*., 2012)

Figura 1 – Ferrógrafo analítico



Fonte: Cyrino (2015)

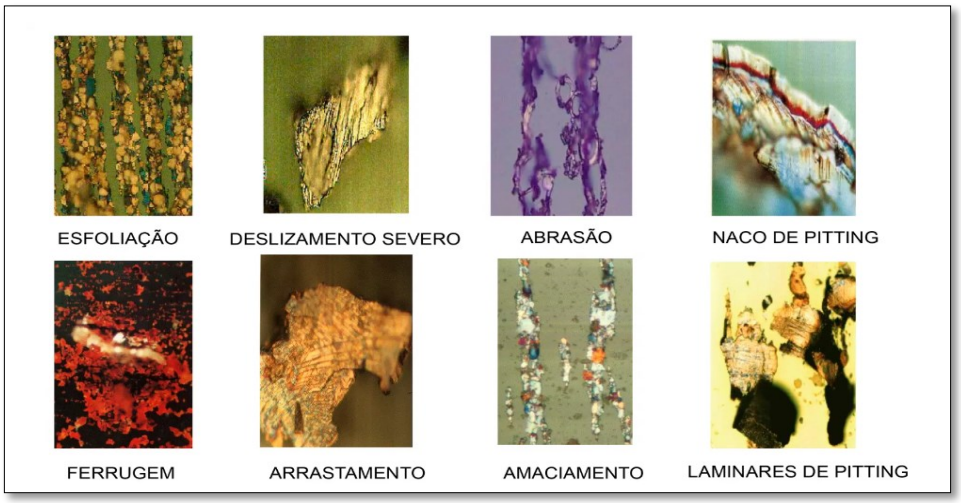
A ferrografia de leitura direta mede quantitativamente a concentração de partículas ferrosas contidas em um óleo lubrificante. O ferrógrafo deposita magneticamente as partículas de desgaste que uma amostra contém, fornecendo leituras digitais para a quantidade de partículas grandes e pequenas (Santos; Vilar, 2021; Inegi, 2022; Matias *et al.,* 2008).

O ferrógrafo de leitura direta é usado para obter valores de linha de base numéricos para desgaste normal. Quando ocorrem aumentos súbitos nas leituras diretas, o ferrógrafo analítico permite analisar visualmente as partículas de desgaste para identificar o local e a natureza do desgaste a tempo de evitar danos catastróficos. Os padrões de desgaste podem ocorrer em mancais nos quais o desgaste por rolamento e deslizamento são combinados. Quando as leituras diretas de ferrografia indicam desgaste anormal, técnicas analíticas de ferrografia podem ser usadas para estudar o padrão de desgaste. O objetivo é apontar a dificuldade e identificar a natureza dos possíveis problemas da máquina (Santos; Gomes, 2002)

A Figura 2 apresenta as imagens dos diversos tipos de desgaste encontrados em análises de óleo por ferrografia.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Figura 2 - exemplos de partículas vistas na análise de ferrografia



Fonte: Grupo Filtroil (2024)

O reconhecimento da condição de desgaste é um tópico importante no diagnóstico de falhas de equipamentos mecânicos, e a ferrografia analítica é amplamente utilizada para o reconhecimento de partículas de desgaste.

4 CONCLUSÃO

Esse estudo investigou sobre o uso da ferrografia no gerenciamento dos mancais de rolamentos de máquinas rotativas. Foi possível identificar que a ferrografia é uma técnica laboratorial de manutenção preditiva para o monitoramento e para a diagnose de condições de máquinas e, por isso, é classificada como uma técnica de manutenção preditiva.

Por meio da quantificação e análise da morfologia das partículas de desgaste (limalhas), que são encontradas em amostras de lubrificantes, pode-se determinar os tipos de desgaste, os contaminantes, o desempenho do lubrificante entre outros.

Embora o termo ferrografia remeta à palavra “ferro”, não são apenas partículas ferromagnéticas que podem ser detectadas, ou seja, inúmeros outros tipos de materiais são analisados por essa técnica, tais como: ligas de metais não ferrosos e materiais não metálicos (areia, fibras orgânicas e fibra inorgânicas, borra, fuligem entre outros) e, se executada com todos os rigores técnicos, permite um diagnóstico preciso do modo de desgaste da máquina monitorada.

Foi possível verificar que há dois tipos de Ferrografia, a quantitativa, também conhecida como *Direct Reading Ferrography* (DR) e a analítica, também conhecida como Analytical Ferrography (NA) que fornece uma base qualitativa. Nesse procedimento (analítico), que é o mais detalhado, uma amostra de óleo é colocada numa placa de vidro montada num plano inclinado e submetida a um campo magnético intenso, através do qual é possível identificar diferentes grupos com diferentes dimensões e concentrações.

Ao concluir a inspeção por microscopia óptica (ferroscópio), o analista deve interpretar os resultados e correlacioná-los com os vários tipos de desgaste. Os principais problemas que a ferrografia analítica consegue identificar são: sobrecargas, lubrificação incorreta ou contaminada, *pitting* em engrenagens ou rolamentos, desalinhamentos, corrosão por ataque químico, oxidação (ferrugem), arrastamento de material, erros de projeto, montagem ou operação.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Além da ferrografia ser utilizada no gerenciamento dos mancais de rolamentos de máquinas rotativas, objeto de estudo dessa pesquisa, foi possível verificar que ela também pode ser aplicada em outros tipos de equipamentos, tais como: redutores, turbogeradores, sistemas hidráulicos, mancais em geral, motores dieseis, compressores de parafuso, centrífugos ou alternativos.

Conclui-se, finalmente, que a ferrografia possibilita determinar os tipos de problemas existentes, independentemente do equipamento analisado, e quais providências a equipe de manutenção deverá providenciar. Dessa maneira, ela é uma técnica laboratorial viável de manutenção preditiva para o monitoramento e diagnóstico de condições de máquinas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Julio Cézar de; LIMA, Key Fonseca de; BARBIERI, Renato. **Elementos de máquinas**: projeto de sistemas mecânicos. 2. ed. - São Paulo : Blucher, 2022.

ASSOCIACÁO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. ABNT NBR 5462/1994 **Confiabilidade e Mantenabilidade.** Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: https://ufsb.edu.br/propa/images/dinfra/coman/Legisla%C3%A7%C3%B5es/NBR-5462.pdf. Acesso em: 24 mar. 2023.

ARAÚJO, Gustavo Santos Rodrigues de; OLIVEIRA, Lucas Batista de; FONSECA JUNIOR, Valter Ângelo da; MACHADO, Jefferson Machado. **Análise dos óleos lubrificantes em equipamentos móveis de grande porte na mineração**. 2019. Disponível em; https://finom.edu.br/assets/uploads/cursos/tcc/2021042218042324.pdf. Acesso em: 07 abr. 2023.

GRUPO FILTROIL. **Ferrografia:** quando é necessário realizar uma análise? 2024. Disponível em: https://grupofiltroil.com.br/oleos-industriais/ferrografia-quando-e-necessario-realizar-uma-analise/. Acesso em: 05 maio 2024.

SANTOS, T. A. A. B.; GOMES, G. F. **Ferrografia controlando o desgaste de máquinas**. Tribolab, São Paulo SP. 2002.

SANTOS, Tarcisio Armando D´Aquino Baroni ; GOMES, Guilherme Faria. **Ferrografia**: Controlando o desgaste de máquinas. 2002. Tribolab. São Paulo SP. 2002. Disponivel em: https://www.docsity.com/pt/apostila-tribolab/4771149/?src=social_login . Acesso em 06 abr. 2023

CARVALHO, Samuel Sander de *et al.* Detecção de falha em equipamento industrial através da análise ferrográfica. 2012. In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. São Luís do Maranhão, Brasil. **Anais...** Disponível em: https://www.abcm.org.br/anais/conem/2012/PDF/CONEM2012-1627.pdf Acesso em: 11 jun. 2024.

CYRINO, Luis. **Ferrografia**: mais uma técnica preditiva. 2015. Disponível em: https://www.manutencaoemfoco.com.br/preditiva-ferrografia/. Acesso em: 05 maio 2024

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

CUNHA, R. C **Analysis of the state of conservation of a speed reducer through the technique of wear particles of the lubricating oil aided by the analysis of vibrations**. 2005. 164f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. Disponível em: https://bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/87332/analise-do-estado-de-conservacao-de-um-redutor-de-velocidade. Acesso em 24 abr. 2024.

GONÇALVES, Aparecido Carlos; CUNHA, Rodrigo Carvalho; LAGO, Daniel Fabiano. Maintenance of a reducer by vibration and wear particles analysis. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 12, n. 2, p. 118-132, 2006. Disponivel em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13552510610667156/full/pdf?title=maintenance-of-a-reducer-by-vibration-and-wear-particles-analysis. Acesso em: 02 abr. 2023.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio; SANTOS, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. 2002. Editora: Qualitymark, Rio de Janeiro. RJ. 2002.

MARAN, Marcos. **Manutenção baseada em condições aplicada a um sistema de ar-condicionado como requisito para sustentabilidade de edifícios de escritórios**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil. Edição revisada. São Paulo – SP. 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12122011-142917/pt-br.php. Acesso em: 24 abr. 2024.

PINA, Victorino Mendes de. **Caracterização de partículas de desgaste do rolamentos por ferrografia e ferrometria**. 2013. Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto. Comunidades & Colecções. ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto. Dissertações de (Mestrado). Engenharia Mecânica. Porto. Portugal. 2013. Disponivel em: https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/7184 Acesso em: 24 abr. 2024

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf. Acesso em: 02 mar. 2023.

SONDHIYA, Om Prakash; GUPTA, Amit Kumar. Wear debris analysis of automotive engine lubricating oil using by ferrography. **International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)**, v. 2, 2012

INEGI DRIVING SCIENCE & INOVATION. **Ferrografia de Leitura Direta (DRIII) e Ferrografia Analítica (FMIII).** 2022 Disponivel em: https://www.inegi.pt/pt/gca/index.php?id=121 Acesso em 24 abr. 2024