RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS: UMA REVISÃO

VIBRATION ANALYSIS AS A PREDICTIVE MAINTENANCE TOOL IN INDUSTRIAL EQUIPMENT: A REVIEW

ANÁLISIS DE VIBRACIONES COMO HERRAMIENTA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EQUIPOS INDUSTRIALES: UNA REVISIÓN

Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Teixeira[1]

e656424
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i5.6424

PUBLICADO: 5/2025

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão sobre a aplicação da análise de vibrações como ferramenta essencial na manutenção preditiva, com base em estudos recentes publicados em bases reconhecidas, como ScienceDirect®, SciELO® e Periódicos da CAPES®. O objetivo central foi investigar as possíveis consequências da negligência na realização da análise de vibrações em equipamentos industriais, especialmente em linhas de produção, e os impactos negativos que isso pode causar à operação de uma empresa. Muitas organizações ainda subestimam a importância dessa prática, o que pode resultar em falhas inesperadas, paradas não programadas e custos elevados. As vibrações constituem um indicativo precoce de defeitos como desbalanceamentos, desalinhamentos e desgastes, que, se não detectados a tempo, podem comprometer gravemente a integridade dos ativos. A análise de vibrações, portanto, revela-se uma técnica indispensável para a detecção antecipada de falhas, contribuindo para a maximização da eficiência operacional, redução de custos com manutenção corretiva e prevenção de acidentes. A partir da revisão da literatura, evidencia-se que a implementação sistemática dessa técnica pode transformar a gestão da manutenção em diversos setores industriais, promovendo não apenas a proteção dos equipamentos, mas também a sustentabilidade, a segurança e a competitividade organizacional. Assim, investir em análise de vibrações representa uma decisão estratégica para empresas que buscam se destacar em um mercado cada vez mais exigente e dinâmico.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de vibrações. Manutenção preditiva. Eficiência operacional.

ABSTRACT

This study presents a review on the application of vibration analysis as a key tool in predictive maintenance, based on recent publications indexed in reputable databases such as ScienceDirect®, SciELO®, and Periódicos da CAPES®. The main objective was to investigate the potential consequences of neglecting vibration analysis in industrial equipment, particularly in production lines, and the resulting negative impacts on industrial operations. Many organizations still underestimate the importance of this practice, leading to unexpected failures, unplanned downtime, and increased operational costs. Vibrations are early indicators of mechanical defects such as unbalance, misalignment, and wear. If not detected in time, these issues can severely compromise the integrity of assets. Vibration analysis is therefore an essential technique for early fault detection, contributing to enhanced operational efficiency, reduced corrective maintenance costs, and improved safety. Based on the literature review, it is evident that systematic implementation of this technique can transform maintenance management across various industrial sectors. It not only protects equipment but also promotes sustainability, safety, and organizational competitiveness. Thus, investing in vibration analysis represents a strategic decision for companies aiming to thrive in an increasingly demanding and dynamic market.

KEYWORDS: *Vibration analysis. Predictive maintenance. Operational efficiency.*

[1] Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

RESUMEN

Este trabajo presenta una revisión sobre la aplicación del análisis de vibraciones como herramienta esencial en el mantenimiento predictivo, con base en estudios recientes publicados en bases de datos reconocidas, como las revistas ScienceDirect®, SciELO® y CAPES®. El objetivo principal fue investigar las posibles consecuencias de la negligencia en la realización de análisis de vibraciones en equipos industriales, especialmente en líneas de producción, y los impactos negativos que esto puede tener en las operaciones de una empresa. Muchas organizaciones aún subestiman la importancia de esta práctica, lo que puede generar fallas inesperadas, tiempos de inactividad no programados y altos costos. Las vibraciones son un indicio temprano de defectos como desequilibrios, desalineaciones y desgastes, que de no detectarse a tiempo pueden comprometer seriamente la integridad de los activos. El análisis de vibraciones, por tanto, resulta una técnica indispensable para la detección temprana de fallos, contribuyendo a maximizar la eficiencia operativa, reduciendo costes con mantenimiento correctivo y previniendo accidentes. De la revisión de la literatura se desprende que la implementación sistemática de esta técnica puede transformar la gestión del mantenimiento en diversos sectores industriales, promoviendo no sólo la protección de los equipos, sino también la sostenibilidad, la seguridad y la competitividad organizacional. Por lo tanto, invertir en análisis de vibraciones representa una decisión estratégica para las empresas que buscan destacar en un mercado cada vez más exigente y dinámico.

PALABRAS CLAVE*: Análisis de vibraciones. Mantenimiento predictivo. Eficiencia operativa.*

INTRODUÇÃO

A análise de vibrações tem se consolidado como uma das principais ferramentas de manutenção preditiva em equipamentos industriais, representando um avanço significativo na forma como as empresas monitoram e preservam o desempenho de suas máquinas. Ao invés de aguardar a falha para intervir (como na manutenção corretiva) ou seguir intervalos fixos de tempo (como na manutenção preventiva), a manutenção preditiva, por meio da análise de vibrações, permite identificar sinais precoces de desgaste, desalinhamento, folgas mecânicas, desbalanceamentos e até falhas iminentes em componentes como rolamentos, engrenagens e motores (Kardec; Nascif, 2012; Silva *et al.*, 2023).

A vibração é uma resposta natural dos sistemas mecânicos em funcionamento, e qualquer alteração em suas características - amplitude, frequência ou forma de onda - pode indicar a presença de uma anomalia. Utilizando sensores como acelerômetros e velocímetros, é possível captar essas vibrações e analisá-las com o auxílio de *softwares* especializados, que aplicam transformadas como a de Fourier para converter sinais do domínio do tempo para o domínio da frequência. Essa conversão é essencial, pois muitas falhas apresentam assinaturas específicas em determinadas faixas de frequência, o que facilita sua identificação e diagnóstico (Baldissarelli; Fabro, 2019).

Na prática industrial, a aplicação da análise de vibrações pode gerar economia significativa, uma vez que permite a programação de intervenções apenas quando realmente necessárias, reduzindo paradas não planejadas e evitando a substituição prematura de peças ainda em boas condições. Além disso, a técnica contribui para o aumento da confiabilidade operacional e da segurança, ao prevenir falhas catastróficas que poderiam comprometer não apenas a produção, mas também a integridade física dos trabalhadores (Zaro; Webber, 2023).

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Entretanto, quando negligenciada, essa análise pode levar a sérios problemas operacionais e financeiros para uma empresa em questão. Um dos principais descuidos na análise de vibrações é a falta de monitoramento regular. Muitos gestores subestimam a importância de uma rotina de medições, acreditando que os equipamentos estão funcionando corretamente apenas porque não apresentam ruídos ou falhas visíveis. Essa abordagem pode ser enganosa, pois vibrações anormais podem se acumular ao longo do tempo, levando a um desgaste excessivo e eventual quebra. Além disso, a ausência de um histórico de dados dificulta a identificação de tendências e a tomada de decisões informadas (Spamer, 2009).

Outro ponto crítico é a interpretação inadequada dos dados de vibração. Profissionais sem treinamento específico podem não reconhecer padrões que indicam problemas iminentes. A análise correta requer conhecimento sobre os limites aceitáveis de vibração para cada tipo de equipamento, bem como a capacidade de identificar anomalias. Uma interpretação errônea pode levar a intervenções desnecessárias ou, pior ainda, à subestimação de um problema grave (Mais; Brady, 2002).

Além disso, a falta de integração entre as equipes de manutenção e operação pode agravar o descuido na análise de vibrações. A comunicação deficiente impede que informações valiosas sobre o desempenho do equipamento sejam compartilhadas. Os operadores, que lidam diretamente com as máquinas, podem notar mudanças sutis, mas, sem um canal adequado para relatar esses dados, as questões permanecem sem solução (Rao, 2009).

A escolha inadequada de equipamentos de medição também é um fator de risco. Investir em tecnologias obsoletas ou ineficientes pode resultar em dados imprecisos, levando a decisões mal fundamentadas. Os equipamentos modernos de análise de vibrações oferecem funcionalidades avançadas, como a coleta de dados em tempo real e a análise por inteligência artificial e, não utilizá-los é um erro que pode custar caro a longo prazo (Vance *et al.*, 2010).

Ou seja, o treinamento contínuo das equipes é essencial. A indústria deve estar em constante evolução em suas práticas de conservação e manutenção dos equipamentos de produção, e novas técnicas e tecnologias surgem regularmente (Vicente *et al.*, 2021). Como também, ignorar a capacitação dos profissionais encarregados da análise de vibrações pode resultar em uma equipe desatualizada, incapaz de identificar e solucionar problemas adequadamente (Cunha; Junior, 2021; Farias, 2024).

Atualmente, é vital que as empresas compreendam o retorno sobre o investimento (*Return on Investment* - ROI) que a análise de vibrações pode proporcionar. O custo inicial com equipamentos e treinamento pode ser elevado, mas a prevenção de falhas e a otimização do desempenho dos equipamentos geram economias significativas ao longo do tempo (França; Sotelo, 2013). Ignorar essa análise não é apenas uma questão de manutenção, mas sim de estratégia de negócios.

Com o objetivo de embasar teoricamente a pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática da literatura em bases científicas reconhecidas. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos principais

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

artigos selecionados, contemplando autores, ano de publicação, objetivos e principais contribuições relacionadas à aplicação da análise de vibrações como ferramenta de manutenção preditiva.

Tabela 1 - Artigos selecionados sobre a análise de vibrações como ferramenta de manutenção

N°	TÍTULO | AUTORES | DOI | PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES
1	MANUTENÇÃO PREDITIVA - ANÁLISE DE VIBRAÇÕES NA INDÚSTRIA 4.0
	Daniel Oliveira da Silva, Leandro Garcia Biazon, Tiago Baranco Santos, Yuri Souza Novaes, Anderson Figueiredo Da Costa
	Ano: 2023, DOI: https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n11-104
	A análise de vibração é uma ferramenta essencial para a manutenção preditiva de equipamentos industriais, permitindo maior vida útil do equipamento e redução dos custos de manutenção.
2	MANUTENÇÃO PREDITIVA NA INDÚSTRIA 4.0
	Luciano Baldissarelli, E. Fabro
	Ano: 2019, DOI: https://doi.org/10.18226/23185279.V7ISS2P12
	A análise de vibração é usada como uma ferramenta de manutenção preditiva para monitorar equipamentos rotativos industriais no contexto da Indústria 4.0.
3	MINERAÇÃO 4.0: OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA ATRAVÉS DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
	Pablo de Carvalho Farias
	Ano: 2024, DOI: https://doi.org/10.55905/revconv.17n.5-056
	A análise de vibração é uma ferramenta essencial de manutenção preditiva para a indústria de mineração 4.0.
4	ANÁLISE E CORREÇÃO DA VIBRAÇÃO NO HELICÓPTERO AIRBUS AS365 K2 / *ANALYSIS AND CORRECTION OF VIBRATION IN THE AIRBUS AS365 K2 HELICOPTER*
	José Gildenys Charll Dos Santos, José Rubens de Camargo, Álvaro Manoel de Souza Soares
	Ano: 2021, DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-134
	A análise de vibração é uma ferramenta poderosa para manutenção de helicópteros, reduzindo o tempo de inatividade e os custos, além de melhorar a segurança.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

5	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E OS SEUS BENEFÍCIOS NO AMBIENTE INDUSTRIAL
	Diego Ferreira da Silva, T. Abreu, J. P. Duarte
	Ano: 2023, DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v9i10.11673
	O planejamento fatorial 2^3 foi utilizado para avaliar os efeitos do tempo, temperatura e meio de resfriamento no recozimento da liga C260 após estiramento.
6	ANALISADOR PORTÁTIL DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA
	Lawrence Pantuzza Dias Cunha, José Antonio Toledo Júnior
	Ano: 2022, DOI: https://doi.org/10.29327/aconemi.409063
	Desenvolvimento de um analisador portátil de vibrações mecânicas para manutenção preditiva de baixo custo.
7	ESTUDO DE CASO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA 4.0
	E. Zaro, Carine G. Webber
	Ano: 2023, DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i3.4557
	O estudo de caso explora conceitos de manutenção preditiva 4.0 com análises e prevenção de falhas para equipamentos que operam com vibração.

Fonte: ScienceDirect®, Scielo® e Periódicos da CAPES®.

TIPOS DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção é um elemento essencial para garantir a eficiência operacional, a segurança e a durabilidade de equipamentos e sistemas industriais. De modo geral, ela pode ser classificada em três categorias principais, cada uma com objetivos, estratégias e aplicações distintas (Teles, 2024; Kardec; Nascif, 2012).

A manutenção corretiva é aquela realizada após a ocorrência de uma falha, com o objetivo de restaurar a funcionalidade do equipamento. Trata-se de uma ação reativa, frequentemente associada a paradas não planejadas, como no caso do conserto de uma máquina que deixou de funcionar. Já a manutenção preventiva é composta por ações programadas e sistemáticas que visam evitar falhas futuras, por meio da substituição ou inspeção de componentes em intervalos regulares. Exemplos comuns incluem a troca de óleo, lubrificações periódicas e inspeções visuais ou operacionais.

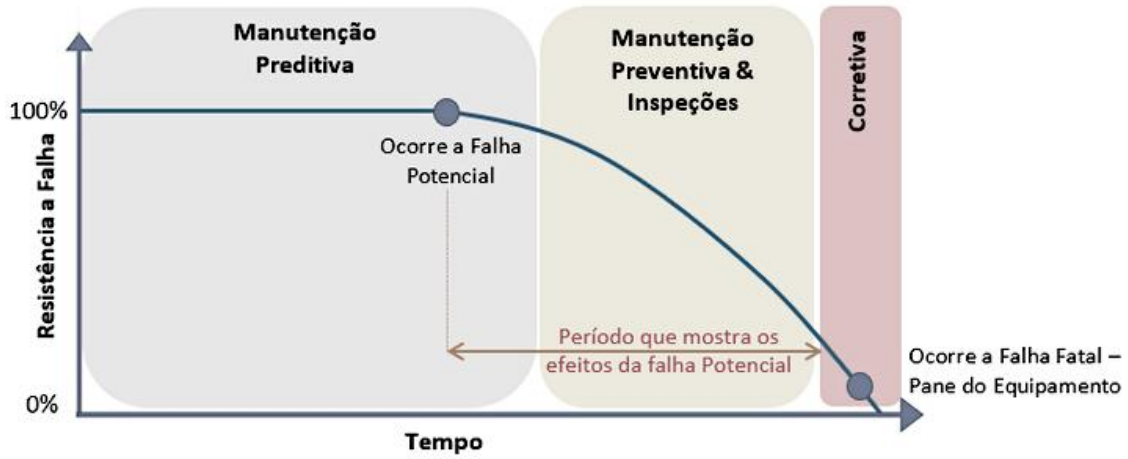
Por sua vez, a manutenção preditiva diferencia-se por ser baseada na condição real dos equipamentos. Essa abordagem utiliza técnicas de monitoramento e análise para prever falhas antes que elas ocorram, permitindo que intervenções sejam realizadas apenas quando necessárias. São

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

utilizados dados provenientes de sensores, que monitoram parâmetros como vibrações, temperatura, ruídos e condições de lubrificação, possibilitando diagnósticos precisos e em tempo real (Kardec; Nascif, 2012).

De maneira geral, a manutenção preditiva tem se mostrado mais eficiente em comparação às demais estratégias, especialmente por reduzir custos com paradas não programadas, minimizar intervenções desnecessárias e aumentar a vida útil dos ativos (Figura 1). Entre as técnicas mais utilizadas nesse modelo destacam-se: análise de vibrações, termografia, ultrassonografia industrial, análise de fluidos, ensaios de materiais, avaliação de trincas e espessuras, análise de superfícies, estruturas físicas e de parâmetros técnicos operacionais (Teles, 2024).

Figura 1 - Resistência a falhas em diferentes tipos de manutenção

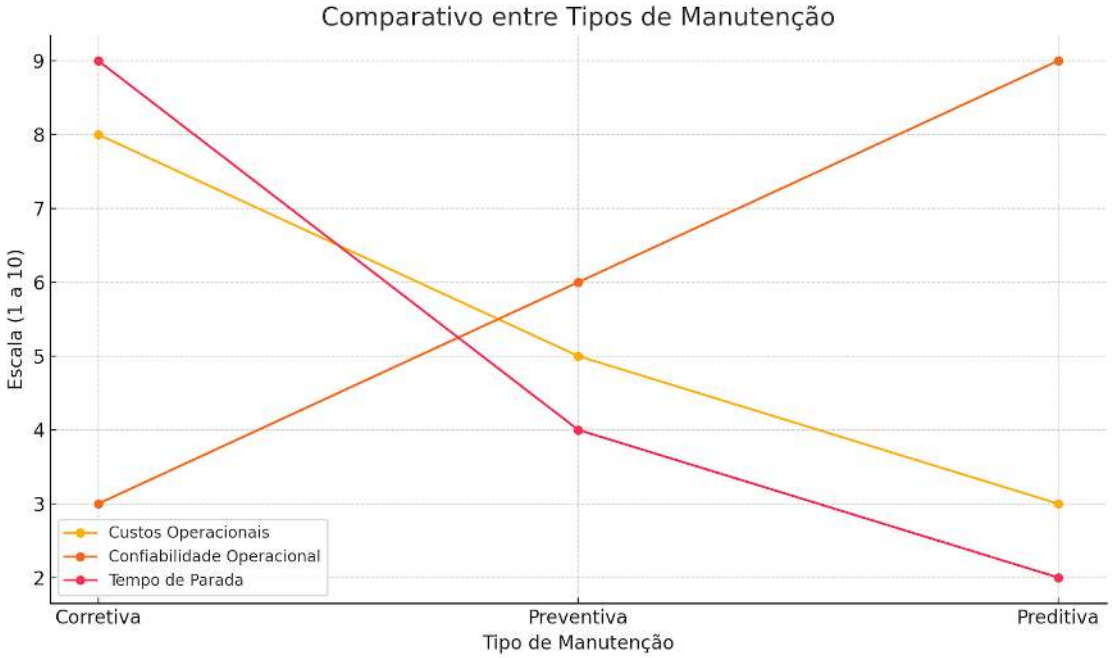


Fonte: Modular, 2024 (adaptado).

A Figura 2 apresenta um comparativo entre os principais tipos de manutenção - corretiva, preventiva e preditiva - com base em três critérios fundamentais: custos operacionais, confiabilidade operacional e tempo de parada. Os dados representados apontam claramente para as vantagens da manutenção preditiva no contexto industrial contemporâneo.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Figura 2 - Comparativo entre Tipos de Manutenção



Fonte: Modular, 2024 (adaptado).

No que se refere aos custos operacionais, observa-se que a manutenção corretiva apresenta os maiores valores. Isso se deve, principalmente, à imprevisibilidade das falhas e à necessidade de ações emergenciais, que geralmente envolvem altos gastos com reposição de peças, mão de obra urgente e paralisações não planejadas. A manutenção preventiva apresenta custos intermediários, já que envolve a substituição sistemática de componentes, independentemente de seu estado real. Por outro lado, a manutenção preditiva registra os menores custos operacionais, pois permite ações precisas e no momento ideal, evitando intervenções desnecessárias e reduzindo o desperdício de recursos (Silva *et al.*, 2023).

Em relação à confiabilidade operacional, a manutenção preditiva destaca-se por proporcionar o maior nível de segurança e previsibilidade no funcionamento dos equipamentos. Isso ocorre porque essa estratégia é fundamentada em dados reais coletados em tempo real, permitindo uma avaliação contínua das condições dos ativos. A manutenção preventiva também contribui para uma confiabilidade razoável, embora baseada em estimativas de tempo e uso. Já a corretiva apresenta os menores índices de confiabilidade, justamente por depender da falha para que haja intervenção (Dos Santos *et al.*, 2021).

No critério tempo de parada, a manutenção corretiva é a mais prejudicial, pois as falhas ocorrem de forma inesperada, gerando paralisações prolongadas e, muitas vezes, comprometendo todo o processo produtivo. A manutenção preventiva apresenta tempos de parada moderados, uma vez que as intervenções são programadas, mas nem sempre necessárias. A preditiva, por sua vez,

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

apresenta o menor tempo de inatividade, justamente por permitir a programação das intervenções em momentos estratégicos, com o mínimo impacto na operação.

Dessa forma, a Figura 2 reforça a superioridade da manutenção preditiva frente às demais abordagens, evidenciando seu papel estratégico na busca por maior eficiência, redução de custos e aumento da disponibilidade dos ativos industriais. A adoção dessa metodologia está alinhada com os princípios da Indústria 4.0, que valoriza a integração de tecnologias inteligentes para tomada de decisões baseadas em dados e em tempo real.

A manutenção preditiva tem como foco a análise e o monitoramento contínuo das condições dos equipamentos, com o objetivo de prever falhas antes que ocorram ou evoluam para estados mais críticos. Já a manutenção preventiva atua por meio de intervenções programadas, buscando evitar que falhas aconteçam, com base em intervalos de tempo ou ciclos de uso previamente definidos. Por outro lado, a manutenção corretiva é caracterizada pela atuação reativa, sendo realizada apenas após a ocorrência de uma falha, com o intuito de restaurar o funcionamento do item comprometido (Modular, 2024).

Nos últimos anos, ganhou destaque o conceito de Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* – TPM), que propõe o envolvimento ativo de todos os colaboradores no processo de manutenção. Essa abordagem tem como objetivo maximizar a eficiência dos ativos, reduzir desperdícios e elevar os níveis de produtividade. Para que isso se concretize, é essencial a realização de treinamentos periódicos com os operadores, capacitando-os a executar pequenos reparos e inspeções de rotina. Dessa forma, os próprios operadores tornam-se protagonistas na conservação dos equipamentos, contribuindo diretamente para a melhoria contínua do ambiente produtivo (Teles, 2024).

Na prática, a escolha do tipo de manutenção a ser adotado depende de diversos fatores, como a natureza do equipamento, o nível de qualificação da equipe técnica e dos operadores, o ambiente operacional, a criticidade do ativo e os custos associados à reposição de peças e ferramentas. Assim, torna-se indispensável a implementação de um programa de manutenção bem estruturado, que considere essas variáveis e seja capaz de proporcionar não apenas a redução de custos, mas também o aumento da produtividade e a promoção da segurança no ambiente de trabalho (Mais; Brady, 2002).

Entre os tipos de manutenção citados, a manutenção preditiva é frequentemente considerada a mais eficaz, especialmente por permitir a antecipação de falhas e a otimização do desempenho dos ativos com base em dados concretos coletados em intervalos planejados. Nesse cenário, a análise de vibrações destaca-se como uma das ferramentas mais eficientes, por fornecer informações em tempo real sobre o estado operacional de máquinas e sistemas, possibilitando diagnósticos precisos e ações corretivas pontuais (Vance *et al*., 2010).

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

PRINCIPAIS DEFEITOS, DANOS E PREJUÍZOS

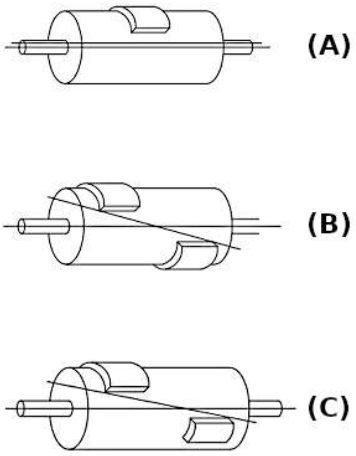
Os defeitos provocados por vibrações em equipamentos são diversos e podem comprometer significativamente tanto a eficiência operacional quanto a vida útil das máquinas. Entre os principais problemas identificados na literatura técnica, destaca-se o desbalanceamento, um dos defeitos mais recorrentes em sistemas rotativos.

O desbalanceamento ocorre quando a massa de um rotor não está distribuída de forma uniforme em torno de seu eixo de rotação, gerando forças centrífugas desiguais que resultam em vibrações excessivas. Essas vibrações, por sua vez, aceleram o desgaste de componentes como rolamentos, acoplamentos e suportes, podendo levar a falhas prematuras do sistema.

O balanceamento consiste no processo de redistribuição de massa com o objetivo de reduzir ou eliminar essas forças indesejadas, permitindo que o rotor gire de forma estável ao redor de seu eixo. Segundo Bueno (2010), existem três tipos principais de desbalanceamento, classificados de acordo com a forma como a massa está distribuída:

- Desbalanceamento estático: ocorre quando o eixo de massa é paralelo, mas não coincide com o eixo de rotação. Esse tipo de desbalanceamento afeta um único plano e é também conhecido como desbalanceamento em um plano (Figura 3 – A).
- Desbalanceamento conjugado: acontece quando o eixo de massa passa pelo centro de gravidade do rotor, mas não coincide com o eixo de rotação (Figura 3 – B).
- Desbalanceamento dinâmico: trata-se da forma mais complexa, em que o eixo de massa não é paralelo nem intercepta o eixo de rotação. Essa condição envolve dois planos e combina os efeitos dos desbalanceamentos estático e conjugado, sendo conhecida como desbalanceamento em dois planos (Figura 3 – C).

Figura 3 - Diferentes tipos de desbalanceamento



Fonte: Otávio, 2024 (adaptado).

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

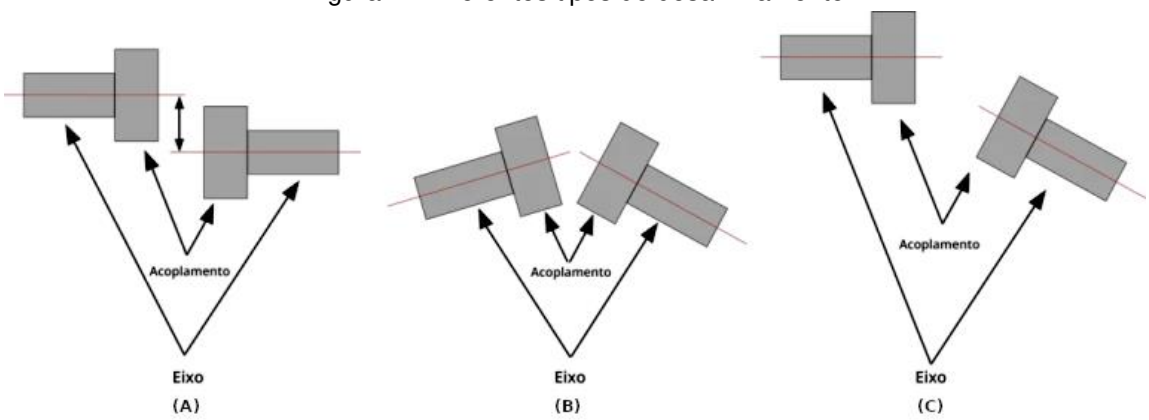
A identificação e correção adequada desses tipos de desbalanceamento são essenciais para a manutenção preditiva e para a longevidade dos equipamentos industriais.

O desalinhamento entre eixos de máquinas é uma das principais causas de vibração em sistemas rotativos, sendo a segunda mais comum após o desbalanceamento. Essa condição ocorre quando os eixos de componentes acoplados - como motores, bombas, redutores ou polias - não estão devidamente alinhados em relação ao seu eixo de rotação. Esse desvio provoca forças adicionais durante a operação, resultando em vibrações excessivas que aceleram o desgaste de acoplamentos e rolamentos, além de aumentar significativamente o consumo de energia e reduzir a vida útil dos equipamentos.

De acordo com Mais e Brady (2002), o desalinhamento é caracterizado pela não coincidência da linha central geométrica de dois eixos acoplados ao longo do eixo de rotação. Esse desalinhamento pode se manifestar de três formas distintas:

- Desalinhamento paralelo (ou radial): ocorre quando os eixos permanecem paralelos entre si, mas deslocados lateralmente (Figura 4 – A).
- Desalinhamento angular (ou axial): caracteriza-se por uma inclinação entre os eixos, de modo que eles se cruzariam se estendidos (Figura 4 – B).
- Desalinhamento combinado: é uma combinação dos desalinhamentos paralelo e angular, representando a forma mais complexa e prejudicial (Figura 4 – C).

Figura 4 - Diferentes tipos de desalinhamento



Fonte: Dynamox, 2024 (adaptado).

A identificação e correção precisa do desalinhamento são essenciais para a prevenção de falhas mecânicas, promovendo maior confiabilidade, eficiência energética e segurança operacional nos sistemas industriais.

As vibrações excessivas em máquinas industriais não apenas comprometem o desempenho e a vida útil dos equipamentos, mas também podem desencadear falhas catastróficas, colocando em risco a integridade física da planta e a segurança dos trabalhadores. Tais vibrações promovem o desgaste acelerado de componentes críticos, como rolamentos, eixos, acoplamentos e estruturas de

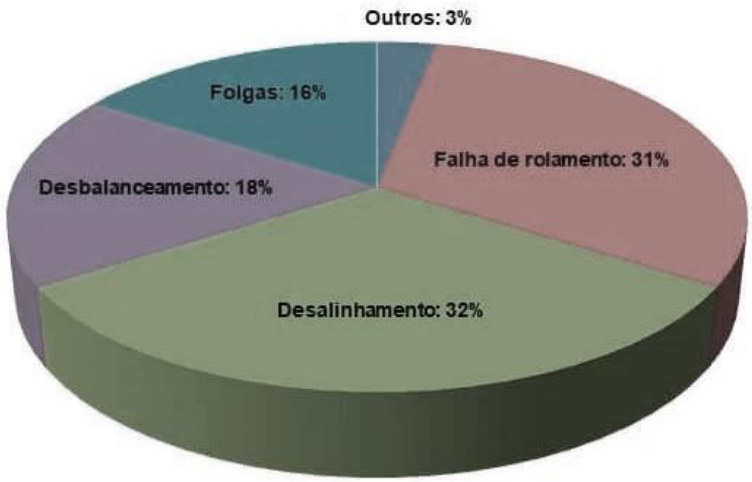
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

suporte, podendo levar a paradas não programadas e até mesmo a acidentes de grandes proporções.

Um estudo da *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) ilustra a gravidade dessas ocorrências. De acordo com Otávio (2024), a falha de um motor, provocada por vibrações não diagnosticadas a tempo, resultou na explosão de um tanque em uma planta petroquímica. Este episódio ressalta a importância de práticas eficazes de monitoramento e manutenção preditiva baseadas na análise de vibrações.

Complementando esse cenário, a Figura 5 apresenta os resultados de uma pesquisa realizada durante a *International Maintenance Conference* – IMC 2012, que contou com a participação majoritária de profissionais das áreas de manutenção e confiabilidade industrial. Segundo Szymon e Pieta (2011), o desalinhamento de eixos foi identificado como a falha mais recorrente nas máquinas monitoradas, ocupando a primeira posição no *ranking* de falhas mecânicas relacionadas à vibração.

Figura 5 - Principais falhas em equipamentos industriais



Fonte: Dynamox, 2024 (adaptado).

Esse dado reforça a necessidade de atenção especial a práticas de alinhamento preciso e monitoramento contínuo, pois a negligência com essas condições pode comprometer a segurança e a eficiência das operações industriais.

EFEITOS DAS VIBRAÇÕES EM COMPONENTES MECÂNICOS E ESTRUTURAIS

As vibrações excessivas em equipamentos industriais são responsáveis por uma ampla gama de falhas mecânicas, estruturais e até elétricas. Quando não identificadas e tratadas preventivamente, essas vibrações comprometem não apenas a integridade dos sistemas, mas também a segurança dos trabalhadores e a continuidade operacional. A seguir, são apresentados os principais efeitos negativos associados à presença de vibrações contínuas em ambientes industriais:

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

- Desgaste de rolamentos: A exposição contínua a vibrações leva à fadiga acelerada dos rolamentos, resultando em ruídos, aumento da temperatura e falhas inesperadas. O processo de desgaste compromete também a qualidade da lubrificação, já que a instabilidade do contato superficial altera a distribuição do lubrificante. Segundo a SKF (2012), em um caso relatado pela *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), a ruptura de um rolamento em uma prensa provocou o colapso do equipamento e causou ferimentos graves a um operador.
- Fissuras e quebras estruturais: Componentes estruturais, como carcaças e suportes, estão particularmente suscetíveis ao surgimento de fissuras devido à ação prolongada de vibrações. Tais fissuras podem evoluir silenciosamente até culminar em rupturas catastróficas durante a operação. Um relatório do *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) documentou um acidente em que a falha estrutural de um suporte de máquina, ocasionada por trincas não identificadas, levou ao desabamento do equipamento e resultou em múltiplas lesões (Spamer, 2009).
- Ruptura de peças mecânicas: Elementos como lâminas, engrenagens, acoplamentos e suportes podem sofrer ruptura sob estresse vibracional prolongado. Aherwar e Khalid (2012) ressaltam que a falha de uma única peça, mesmo de pequena dimensão, pode comprometer todo o sistema mecânico, acarretando prejuízos materiais e riscos graves à integridade física dos operadores.
- Fadiga de materiais: As vibrações geram tensões cíclicas nos materiais, favorecendo o fenômeno da fadiga, especialmente em estruturas metálicas submetidas a cargas dinâmicas. Esse problema é crítico em equipamentos de elevação, como guindastes, onde a falha estrutural pode resultar em quedas de carga. A *American Society of Safety Professionals* (ASSP) relatou um caso em que a vibração excessiva em um guindaste ocasionou a ruptura de uma junta estrutural, resultando em um acidente com ferimentos (Almeida; Góz, 2003).
- Ruídos excessivos: Embora não configurem falhas estruturais diretas, as vibrações anormais costumam gerar ruídos característicos que servem como indicativos de problemas operacionais. Além do desconforto sonoro, esses ruídos podem afetar negativamente a concentração, o humor e a saúde auditiva dos trabalhadores, aumentando o risco de acidentes no ambiente fabril.
- Desgaste irregular de superfícies: As vibrações induzem padrões de contato inconsistentes entre superfícies mecânicas, resultando em desgaste irregular, redução de eficiência e necessidade de intervenções corretivas frequentes. Segundo Szymon e Pieta (2011), esse tipo de desgaste é uma das principais causas de paradas não programadas em ambientes industriais altamente automatizados.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

- Falhas elétricas: Em motores elétricos, as vibrações afetam diretamente o sistema de isolamento, conexões internas e o acoplamento entre componentes eletromecânicos. A *European Agency for Safety and Health at Work* destaca que falhas elétricas originadas por vibrações são causas recorrentes de curtos-circuitos e incêndios em instalações industriais.
- Danos em acessórios e componentes periféricos: As vibrações não se restringem apenas aos equipamentos principais. Tubulações, fixações, sensores e suportes periféricos também são afetados, podendo apresentar trincas, vazamentos e até deslocamentos. Em máquinas de corte, por exemplo, vibrações excessivas afetam a precisão das operações, comprometendo a qualidade do produto final e aumentando o risco de acidentes. Rao (2009) descreve um incidente registrado na *Journal of Manufacturing Science and Engineering* no qual vibrações em uma serra circular provocaram perda de controle e lesão em um operador.

Acidentes relacionados a vibrações decorrentes, principalmente, do desbalanceamento e desalinhamento de eixos podem ter consequências graves em ambientes industriais. Portanto, uma correta implementação de programas de monitoramento de vibrações pode ajudar a prevenir acidentes e proteger a integridade dos trabalhadores e equipamentos. Além de ser uma ferramenta essencial para a manutenção preditiva e trazer significativas economias para as empresas. Aqui estão algumas das principais maneiras pelas quais a análise de vibrações contribui para a economia:

- Redução de Paradas Não Programadas: Ao identificar problemas antes que se tornem falhas catastróficas, a análise de vibrações ajuda a evitar paradas inesperadas, que podem resultar em perda de produção e custos elevados. Ela permite a identificação precoce de problemas, reduzindo o tempo de inatividade. As empresas que a implementam, observam uma redução em média de 30% nas paradas não programadas (Vicente *et al.*, 2021).
- Aumento da Vida Útil dos Equipamentos: A manutenção preditiva baseada em análises de vibração prolonga a vida útil das máquinas, reduzindo a necessidade de substituições frequentes. Os equipamentos bem monitorados tendem a ter uma vida útil maior, pois estima-se que a manutenção preditiva pode aumentar a vida útil de máquinas em até 50% (Skf, 2012).
- Minimização de Custos de Reparo: Intervenções realizadas com base em dados precisos geralmente são menos onerosas do que reparos emergenciais. Isso permite um planejamento mais eficaz e custos controlados. A análise de vibrações permite que os reparos sejam feitos de forma planejada, evitando intervenções emergenciais, que geralmente são mais caras (Helmann *et al.*, 2006). Estima-se que as empresas que adotam práticas de manutenção preditiva economizam entre 10% e 20% nos custos de manutenção.
- Otimização do Desempenho: Equipamentos que operam dentro de parâmetros de vibração aceitáveis tendem a funcionar de maneira mais eficiente, resultando em economia de energia e redução de desgaste. Isso porque a análise de vibrações pode melhorar a eficiência

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

operacional, resultando em economia de energia. Estima-se que há uma redução de até 15% no consumo energético.

- Aumento da Segurança: A análise de vibrações pode identificar problemas que, se não tratados, poderiam resultar em acidentes. Isso não só protege os trabalhadores, mas também evita custos relacionados a acidentes (Vicente *et al*., 2021). A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) documenta que ambientes de trabalho mais seguros resultam em menores taxas de acidentes e custos relacionados.
- Planejamento de Manutenção: Com dados de vibração, as empresas podem programar manutenções em momentos estratégicos, evitando interrupções desnecessárias e otimizando o uso de recursos (Rao, 2009).
- Melhoria na Qualidade do Produto: Equipamentos bem mantidos garantem processos mais estáveis e produtos de qualidade superior, reduzindo desperdícios e retrabalho (Aherwar; Khalid, 2012). O *American Society for Quality* (ASQ) aponta que a manutenção preditiva contribui para a consistência da produção e redução de desperdícios.
- Retorno sobre o Investimento (ROI): O custo inicial com equipamentos de monitoramento e treinamento pode ser rapidamente recuperado por meio das economias geradas com a manutenção eficiente. Investimentos em tecnologia de análise de vibrações podem ser rapidamente recuperados (Helmann *et al*., 2006). Um relatório da Deloitte indica que em algumas empresas que investem em manutenção preditiva obtiveram um ROI de até 300% em um período de apenas três anos.
- Integração com Outras Tecnologias: A análise de vibrações pode ser combinada com outras práticas de manutenção, como termografia e análise de óleo, aumentando ainda mais a eficácia e as economias (Almeida; Góz, 2003).
- Aumento da Competitividade: Empresas que adotam práticas eficientes de manutenção, como a análise de vibrações, tendem a se destacar no mercado, oferecendo produtos e serviços de melhor qualidade a preços competitivos.

Investir na análise de vibrações representa uma estratégia altamente eficaz para empresas que desejam reduzir custos operacionais, aumentar a eficiência produtiva e evitar falhas inesperadas. Entre as ferramentas mais relevantes nesse contexto, destaca-se a Curva Potencial de Falha - PF (Figura 6), amplamente utilizada na indústria como um recurso essencial no planejamento de manutenção preditiva e na gestão de ativos baseada em confiabilidade.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Figura 6 - Curva potencial de falha x custo para reparo



Fonte: Tractian, 2024 (adaptada).

A Curva PF tem papel central na filosofia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*), pois fornece um modelo visual da degradação funcional dos componentes ao longo do tempo, permitindo identificar o intervalo crítico entre o momento em que uma falha potencial pode ser detectada e o ponto em que a falha funcional efetivamente ocorre (Tractian, 2024).

A eficácia da Curva PF reside em sua capacidade de guiar a tomada de decisão estratégica da equipe de manutenção. Com base nessa curva, é possível estimar o tempo restante para intervenção antes que ocorra uma falha total, possibilitando a programação de ações corretivas com mínima interferência na operação. Segundo França e Sotelo (2013), essa abordagem proativa e preditiva permite não apenas reduzir a frequência de paradas não planejadas, mas também priorizar ações com base na criticidade dos ativos, otimizando os recursos técnicos e financeiros da empresa.

Portanto, o uso da Curva PF, aliado à análise de vibrações, constitui uma ferramenta indispensável para qualquer organização que busca uma gestão eficiente da manutenção, com foco em confiabilidade, disponibilidade e segurança operacional.

Todos os benefícios evidenciam a importância da análise de vibrações como uma estratégia eficaz para melhorar a eficiência operacional e reduzir custos nas empresas (Vance *et al.*, 2010). A adoção de práticas de manutenção preditiva não apenas protege os ativos, mas também contribui significativamente para a sustentabilidade financeira da organização.

Em síntese, a Figura 7 ilustra os principais benefícios proporcionados pela análise de vibrações, destacando seu impacto positivo não apenas para os profissionais da área de manutenção, mas também para toda a organização, ao contribuir para a eficiência, a segurança e a redução de custos operacionais.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Figura 7 - Ilustração dos Principais Benefícios da Aplicação da Análise de Vibrações



Fonte: próprio autor.

CONSIDERAÇÕES

A detecção precoce de vibrações anormais, aliada à escolha do tipo de manutenção mais adequado, é essencial para prevenir falhas, garantir a integridade dos equipamentos e assegurar a continuidade das operações industriais de forma eficiente e segura. Nesse contexto, a manutenção preditiva desponta como uma abordagem transformadora na gestão de ativos, permitindo decisões baseadas em dados reais e intervenções precisas.

As evidências analisadas demonstram que a adoção da análise de vibrações não apenas eleva os níveis de eficiência operacional, mas também promove uma significativa redução de custos, aumento da confiabilidade e melhoria das condições de segurança no ambiente de trabalho. Mais do que uma simples ferramenta técnica, essa prática se consolida como um pilar estratégico para a sustentabilidade das operações e para a longevidade dos ativos industriais.

Investir em análise de vibrações é, portanto, uma decisão inteligente e necessária para empresas que desejam se manter competitivas em um mercado cada vez mais exigente e dinâmico. Trata-se de um recurso fundamental não apenas para proteger o patrimônio físico da organização, mas também para fomentar uma cultura de inovação, excelência e prevenção.

Em síntese, a análise de vibrações configura-se como uma tecnologia madura, confiável e indispensável para o diagnóstico antecipado de falhas. À medida que os avanços em sensoriamento, automação e análise de dados se intensificam, essa técnica tende a se tornar ainda mais precisa, acessível e integrada ao contexto da Indústria 4.0 - contribuindo decisivamente para uma manutenção moderna, eficiente e orientada à transformação digital.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

REFERÊNCIAS

AHERWAR, A.; KHALID, S. Vibration Analysis Techniques for Gearbox Diagnostic: A Review. **International Journal of Advanced Engineering Technology**, v.3, n.1, p.4-12, 2012.

ALMEIDA, M. T.; GÓZ, R. D. S. **Análise de Vibrações I - Medidas e Diagnósticos**. Itajubá: FUPAI, 2003.

BALDISSARELLIE, L.; FABRO, E. Manutenção Preditivana indústria 4.0. **SCIENTIA CUM INDUSTRIA**, v. 7, n. 2, p.12-22, 2019.

BUENO, M. A. T. **Vibrações Mecânicas:** Minha Caderneta de Campo. Volta Redonda: Editora Márcio Antônio Torres Bueno, 2010.

CUNHA, L. P. D.; JUNIOR, J. A. T. Analisador Portátil De Vibrações Mecânicas Para Manutenção Preditiva. *In:***Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial**. Belo Horizonte, 2021.

DOS SANTOS, J. G. C.; DE CAMARGO, J. R.; SOARES, ÁLVARO M. DE S. Análise e Correção da Vibração no Helicóptero Airbus AS365 K2 / Analysis and Correction of Vibration in the Airbus AS365 K2 Helicopter. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p.111996-112013, 2021.

DYNAMOX, S. A. **Desalinhamento de Eixos e sua Contribuição nas Falhas Mecânicas**. Florianópolis: Blog. Dynamox, 19 ago. 2022. Disponível em: https://dynamox.net/blog/como-o-desalinhamento-de-eixos-ocorre-e-quais-os-perigos-para-o-seu-equipamento. Acesso em: 20 set. 2024.

FARIAS, P. DE C. Mineração 4.0: otimização da manutenção preditiva através da análise de vibração. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v.17, n. 5, e6690, 2024.

FRANÇA, L. N. F.; SOTELO, J. J. **Introdução às vibrações Mecânicas**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2013.

HELMANN, K. S.; MARAVIESKI, V. C.; HATAKEYAMA, K. H.; MARÇAL, R. F. M. Controle dos Custos da Manutenção e Aplicação de Técnicas Preventivas e Preditivas para Aumento do Desempenho Produtivo: Um Estudo de Caso. *In:* **XIII SIMPEP**, Brasil, 2006.

KARDEC, A; NASCIF, J. Manutenção - Função Estratégica. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. QualityMark, 2012. p.300-440.

MAIS, J.; BRADY, S. **Introduction guide to vibration monitoring**: measurements, analysis, and terminology. EUA: SKF Reliability Systems, may. 2002. 33 p.

MODULAR, C. **O que é Manutenção Preditiva?.** [*S. l.: s. n.*], 2024. Disponível em: https://modularcursos.com.br/o-que-e-manutencao-preditiva-tudo-o-que-voce-tem-que-saber-agora/. Acesso em: 22 set. 2024.

OTÁVIO, K. **Simetriza Balanceamento Industrial - Você sabe o que é desbalanceamento?.** [S. l.]: Simetriza, 2015. Disponível em: https://simetriza.com.br/2015/05/20/entendendo-os-tipos-de-desbalanceamento/. Acesso em: 26 set. 2024.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. Americana, SP: Pearson Prentice Hall, 2009. p. 451.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

SILVA, D. L. F. F.; ABREU, T. C.; DUARTE, J. P. B. S. Análise De Vibração E Os Seus Benefícios No Ambiente Industrial. p.3451-3462. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação**, v. 9, n. 10, 2023.

SILVA, D. O.; BIAZON, L. G.; SANTOS, T. B.; NOVAES, Y. S.; COSTA, A. F. Manutenção Preditiva - Análise De Vibrações Na Indústria 4.0. **Revista Foco**, e3628, v. 16, n. 11, 2023.

SKF, E. **Manual de Manutenção de Rolamentos da SKF**. [S. l.]: SKF Solution Factory, 2012. p.454.

SPAMER, F. R. **Técnicas Preditivas de Manutenção de Máquinas Rotativas**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SPAMER, H. R. **Análise de vibrações em máquinas rotativas**: Aplicações em manutenção preditiva. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SZYMON, A. A.; PIETA, F. **Bancada Didática de Alinhamento de Máquinas Rotativas**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Grasduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TELES, J. **Tipos de Manutenção de Acordo com a NBR 5462**. [S. l.]: Engeteles, 2024. Disponível em: https://engeteles.com.br/tipos-de-manutencao/. Acesso em: 26 set. 2024.

TRACTIAN. Entenda a curva PF. **Revista Manutenção**, 2024.. Disponível em: https://revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/gestao-de-ativos/entenda-o-que-e-a-curva-pf.html. Acesso em: 24 set. 2024.

VANCE, J.; ZEIDAN, F.; MURPHY, B. **Machinery Vibration and Rotordynamics**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. p. 393-402.

VICENTE, B. L. L.; HERMOSILLA, J. L. G.; CORVELLO, F. M.; SILVA, E. C. C.; BARBALHO, S. C. M. Custos da Manutenção: Implementação e Gestão da Técnica de Manutenção Preventiva Checklist e seus Impactos. *In:* **XLI ENEGEP**, Paraná. Brasil, 2021. p.15.

ZARO, E. M.; WEBBER, C. G. Estudo de caso de desenvolvimento de sistema para manutenção preditiva 4.0. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 3, p.3418-3340, 2023.