

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
PATRIK DA SILVA BORGES**

**UTILIZANDO DADOS DE VIBRAÇÕES E TÉCNICAS AVANÇADAS DE
MANUTENÇÃO PARA MAXIMIZAR A CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS
ROTATIVOS: uma abordagem integrada**

**Varginha
2024**

PATRIK DA SILVA BORGES

**UTILIZANDO DADOS DE VIBRAÇÕES E TÉCNICAS AVANÇADAS DE
MANUTENÇÃO PARA MAXIMIZAR A CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS
ROTATIVOS: uma abordagem integrada**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel, sob orientação do Prof. Me. Jonathan Oliveira Nery.

Varginha

2024

PATRIK DA SILVA BORGES

**UTILIZANDO DADOS DE VIBRAÇÕES E TÉCNICAS AVANÇADAS DE
MANUTENÇÃO PARA MAXIMIZAR A CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS
ROTATIVOS: uma abordagem integrada**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof. Me. Jonathan Oliveira Nery

Prof.

Prof.

OBS:

A Virgem da Saúde, Mãe de Deus e minha
diletíssima e piedosa Mãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Nosso Senhor Jesus Cristo, meu criador e redentor, e a sua Santa Mãe, Maria Santíssima, pelas infinitas graças derramadas, todos os dias, em minha vida. Aos meus pais e, de forma especial, meu pai, Jorge Borges, que, com muito suor diário, conseguiu me proporcionar um ensino superior. A minha linda e amada noiva que me ajudou muito ao longo desses cinco anos de estudos e, principalmente, nesse último ano. Ao Centro Universitário do Sul de Minas e a todos os professores que contribuíram diretamente e indiretamente para a minha formação. A empresa onde trabalho e pelas oportunidades oferecidas. E, por fim, agradeço ao meu orientador, professor Jonathan Oliveira Nery por sempre me desafiar “a pensar um pouco mais” e pela ótima orientação, ensinamentos e conselhos.

“Tudo o que temos que decidir é o que fazer
com o tempo que nos é dado”.

J.R.R. Tolkien

RESUMO

O presente trabalho visa demonstrar a otimização decorrente da análise de vibrações, técnica de manutenção preditiva, realizada em uma indústria automobilística localizada na cidade de Varginha-MG. Durante sua realização foi possível identificar problemas nos equipamentos e apontar e realizar a correção ideal para cada problema, constatando, dessa forma, as melhorias e vantagens que podem ser extraídas a partir da análise de vibrações. O trabalho demonstra como a técnica, baseada na antecipação de falhas, é capaz de assegurar a confiabilidade do equipamento, de forma a maximizar seu funcionamento, o que ocorre a partir da identificação prévia e precisa do defeito e consequente correção de problemas, tais como desbalanceamento, desalinhamento e falhas em rolamentos e engrenagens. A técnica se mostra eficiente pois possibilita a correção do problema antes mesmo de sua manifestação ou de causar a parada total do equipamento, evitando maiores prejuízos. Portanto, este trabalho, através da descrição do método empregado, auxilia em uma melhor e mais completa compreensão, vez que apresenta resultados de acompanhamentos e monitoramentos em equipamentos que detectaram falhas e, após a correção apontada pela análise de vibrações, apresentaram significativa melhora em seu funcionamento, mostrando assim, a eficiência da análise de vibrações enquanto método de manutenção preditiva.

Palavras-chave: Análise de vibrações; Manutenção preditiva; Equipamentos; Método; Correção.

ABSTRACT

This work aims demonstrate the optimization resulting from vibration analysis, predictive maintenance technique, made in an automotive industry at Varginha-MG. During the realization was possible indentify problems in the equipments and point and realized the ideal correction for each problem, noting, this way, the improvements and advantages extracted from vibration analysis. The work presente like the technique, based on the anticipation of failures, is able to ensure the reliability of the equipamento, maximizing its operation, from the identification preview and precise of the defect and consequent problems correction, like unbalacing, misalignment and failures in bearings and gears. The technique proves to be eficiente because males possible the problems correction before its shows or cause the total shutdown of the equipment, avoifing greatre losses. Therefore, this work, through the description of the method used, help in better and complete understanding, because shows the results of the monitoring in equipments thet detected failures and, after the correction appointed by the vibration analysis, shows significant improvement in its funtioning, shows the efficiency of vibration analysis as a predictive maintenance method.

Keywords: *Vibration analysis; Predictive maintenance; Equipments; Method; Correction.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Sistema Rotativo Balanceado.....	14
Figura 02 – Tipos de Desalinhamento.....	14
Figura 03 – Principais Causas de Defeitos em Rolamentos.....	15
Figura 04 – Montagem de Exaustor Centrífugo com Transmissão Direta.....	17
Figura 05 – Pontos de Coleta de Vibração em Equipamentos.....	20
Figura 06 – Primeiras Análises do Motor do Exaustor.....	26
Figura 07 – Evolução do Balanceamento do Rotor.....	27
Figura 08 – Níveis de Vibração na Vertical (1V) Atenuados.....	28
Figura 09 – Níveis de Vibração na Vertical (2V) Elevados.....	28
Figura 10 – Resultado Obtido a partir da Análise de Campo.....	29
Figura 11 – Polia Motora e Movida Antes do Alinhamento.....	30
Figura 12 – Polia Motora e Movida Após o Alinhamento.....	30
Figura 13 – Análise de Vibração no Motor do Misturador de Massa.....	31
Figura 14 – Rolamento LOA Relubrificado – Vista Frontal.....	32
Figura 15 – Rolamento LOA Relubrificado – Vista Superior.....	32
Figura 16 – Apoio no Motor.....	34
Figura 17 – Comparação dos Valores de Amplitude Após Intervenções Recomendadas.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Manutenção Preditiva.....	12
2.2 Desbalanceamento.....	13
2.3 Desalinhamento.....	14
2.4 Má Lubrificação.....	15
2.5 Montagem dos Equipamentos Industriais.....	16
2.6 Análise de Vibrações.....	17
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 Como Medir Vibrações em Máquinas.....	19
3.2 Onde Medir Vibrações em Máquinas.....	19
3.3 Métodos e Equipamentos Utilizados nas Intervenções para Correção dos Defeitos... 20	
3.3.1 Balanceamento.....	20
3.3.2 Alinhamento.....	21
3.3.3 Lubrificação.....	22
3.3.4 <i>Bump Test</i>.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 Análise, Balanceamento e Resultado.....	26
4.2 Análise, Alinhamento e Resultado.....	29
4.3 Análise, Lubrificação e Resultado.....	30
4.4 Análise, <i>Bump Test</i> e Resultado.....	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva utiliza métodos de monitoramento para a antecipação de falhas. Tais métodos, permitem determinar as reais condições das máquinas e equipamentos, identificando, no início, potenciais problemas e buscando agir previamente antes que aconteça uma falha e comprometa o processo produtivo. As empresas que possuem um plano de manutenção preditiva têm mais fluidez nos seus processos, pois, por influência desse plano é possível prever paradas. Este tipo de manutenção tem grande valor do ponto de vista gerencial, pois reduz os custos gerados pela indisponibilidade do equipamento e visa melhorar a eficiência e confiabilidade dos processos por meio do uso inteligente de tecnologias e análise de dados. Das diversas técnicas utilizadas na manutenção preditiva a análise de vibração é a mais utilizada por sua confiabilidade e potencial geração de dados para as análises.

As vibrações mecânicas relacionam-se ao movimento oscilatório de um objeto em torno de sua posição de equilíbrio. Com isso, a análise de vibrações é uma técnica avançada que envolve a coleta e monitoramento de dados de vibração, a fim de detectar problemas de desgaste, folga, ruídos estranhos e entre outros para maximizar a confiabilidade do equipamento.

Essa abordagem se justifica, pois a necessidade dessa forma de monitoramento e análise em tempo real das máquinas industriais tem aumentado, objetivando diagnosticar falhas, promover aumento da eficiência, confiabilidade, disponibilidade e facilidade de manutenção. A combinação desses fatores enfatiza a necessidade de abordagens modernas e tecnológicas para a manutenção industrial, visando a prevenção de falhas e prolongando o funcionamento dos equipamentos rotativos.

O que motivou esse trabalho foi a necessidade de mostrar como a análise de vibrações, enquanto técnica de manutenção preditiva, pode maximizar maior confiabilidade no funcionamento de equipamentos industriais. Logo, o objetivo geral é apresentar de que forma essa análise identifica e elimina problemas como desbalanceamento, desalinhamento, falhas em rolamentos e engrenagens para assegurar a “saúde” das máquinas, qualidade na produção e um ambiente de trabalho mais seguro para os colaboradores.

Para tanto, são necessárias etapas como: a) Monitorar continuamente a condição dos equipamentos, possibilitando a identificação precoce dos problemas; b) Demonstrar as vantagens da análise de vibrações em complemento dos demais métodos preditivos; c) Apresentar as recomendações prescritas aos equipamentos a partir dos defeitos encontrados

pela análise de vibrações; d) Acompanhar intervenção feita nas máquinas rotativas; e) Verificar as melhorias obtidas nos equipamentos após aplicação dos métodos indicados pela análise.

O trabalho foi elaborado a partir de uma pesquisa bibliográfica seguida de um estudo de caso para identificar, por meio da análise de vibração, equipamentos que apresentaram problemas. O estudo foi realizado em motores elétricos dos seguintes equipamentos: exaustor de cabine de pintura; ventilador de refrigeração de massa; misturador de massa; exaustor de um queimador industrial. A coleta de dados foi realizada nos equipamentos através de um acelerômetro que é conectado em um coletor de vibrações, Vibxpert II, responsável pela medição e detecção das oscilações. Esses dados foram retirados dos equipamentos rotativos e, posteriormente, analisados por meio do software Omnitrend da Pruftechnik, a fim de identificar o defeito e aplicar a intervenção correta para maximizar a confiabilidade e a vida útil dos equipamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo De Souza *et. al.* (2022), com avanço e modernização da indústria, nasceu um mercado extremamente eficiente e competitivo, assim a corrida pela inovação, redução de custos e garantia da qualidade se tornou cada vez mais acirrada entre as empresas. A manutenção exerce papel fundamental na competência das organizações, com isso, torna-se cada vez mais importante e necessário o papel da manutenção, suas características, metodologias e outros aspectos que lhe competem.

Atualmente, existem diversos tipos de manutenção, cada um com seus objetivos e abordagens específicas. Este trabalho vai abordar, inicialmente, os conceitos de manutenção preditiva.

2.1 Manutenção Preditiva

Os autores Kardec e Nascif (2009) descrevem a manutenção preditiva como a primeira grande quebra de paradigma na manutenção. Isso foi possível devido ao avanço tecnológico e a implementação de sistemas de monitoramento e diagnóstico que podem identificar o desempenho e as condições reais dos equipamentos, permitindo uma avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais sem que seja preciso uma parada de produção. Baseado nas informações extraídas, foi possível identificar que, quando há uma falha no equipamento, a manutenção corretiva planejada é a mais utilizada, porém, quando esta é realizada, a máquina permanece indisponível. Verifica-se então, que em termos de disponibilidade de máquinas, a manutenção preditiva tem vantagem, pois as verificações acontecem com o equipamento produzindo.

A Manutenção Preditiva ou Condicionada surgiu na década de 70 como um conceito evoluído da manutenção preventiva sistemática em que, em vez de ações de manutenção em intervalos de tempo definidos para trocas de componentes, teremos ações de inspeção em intervalos de tempo definidos. Manutenção preditiva é aquela que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam os seus desgastes ou processo de degradação. Trata-se da manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo de vida seja bem aproveitado, daí o nome manutenção condicionada (Souza, 2013 p.34).

A manutenção preditiva é uma grande aliada da manufatura industrial, pois realiza uma análise individual e um acompanhamento periódico nas máquinas, garantindo o máximo de disponibilidade do equipamento. Comparando aos seres humanos que, periodicamente,

precisam ir ao médico para a realização de exames, popularmente conhecidos como “check-up”, assim acontece com as máquinas que necessitam de monitoramento a fim de identificar a sua condição e as possíveis irregularidades. Seguindo essa analogia, conclui-se que as equipes de engenharia e manutenção são os “médicos” que analisam esse diagnóstico e realizam as intervenções necessárias para evitar a falha do equipamento (Holanda, 2016).

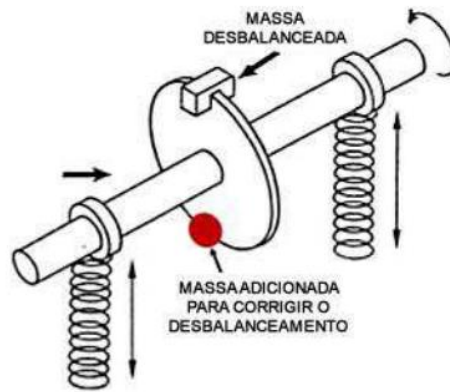
Existem várias técnicas preditivas: temperatura, inspeção visual, detecção de vazamento, ensaios não destrutivos, medição de espessura, ferrografia, termografia, análise de óleo e, a mais utilizada e difundida técnica definida pela maioria dos autores da área, análise de vibração. Este artigo destaca essa técnica e os principais meios dos quais ela se utiliza para ser adotada como uma técnica de alta eficiência, tais como, análise feita através de desbalanceamento, desalinhamento, lubrificação e montagem, que serão abordados a seguir.

2.2 Desbalanceamento

Segundo Rao (2009), a presença de uma massa excêntrica ou desbalanceada em um disco rotativo gera vibração, que pode ser tolerável até certo ponto. Caso essa vibração seja inaceitável, é possível eliminá-la removendo a massa excêntrica ou adicionando uma massa igual em uma posição específica para anular o efeito do desbalanceamento. Para executar esse procedimento, é necessário determinar a quantidade e a localização da massa excêntrica por meio de métodos experimentais. Na prática, o desbalanceamento de máquinas muitas vezes ocorre devido a irregularidades, como erros na usinagem e variações no tamanho de parafusos, porcas, rebites e soldas.

Na Figura 01 é possível observar o princípio do desbalanceamento. Nota-se que o rotor está montado em um eixo rotativo que é suportado por um sistema de molas que possui características de rigidez e flexão. Antes da adição dos pesos de correção para eliminar o desbalanceamento, o sistema é forçado a oscilar para cima e para baixo conforme o conjunto gira. Após a adição da massa necessária, conforme indicado com base em dados de amplitude e fase horária, as forças se equilibram, restaurando o sistema à condição estável e à rotação sem excesso de vibração. Esse processo de balanceamento é essencial para garantir o funcionamento suave e seguro do equipamento (Galdino; Rezende, 2014).

Figura 01: Sistema Rotativo Balanceado



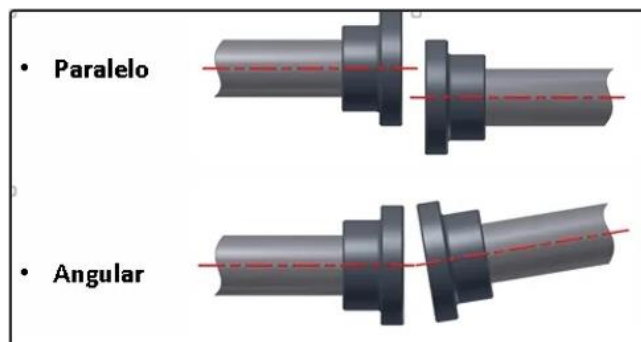
Fonte: Galdino; Rezende (2014)

Portanto, o desbalanceamento é, de fato, uma das causas mais comuns do aumento dos níveis de vibração em equipamentos industriais. Manter níveis baixos de vibração é de extrema importância para garantir a maximização da vida útil dos equipamentos e de seus componentes (Galdino; Rezende, 2014).

2.3 Desalinhamento

Duarte (2022), nos explica que o desalinhamento se refere à condição em que os eixos de equipamentos industriais, como bombas e compressores, não estão corretamente alinhados com seus elementos de acionamento. Esse desalinhamento pode ocorrer tanto de forma angular (quando os eixos não estão perfeitamente alinhados em um plano) quanto de forma radial (quando os eixos não estão perfeitamente alinhados em relação ao centro do eixo). Essa falta de alinhamento adequado pode resultar em problemas operacionais e afetar o desempenho desses equipamentos. Observe a Figura 02.

Figura 02: Tipos de Desalinhamento



Fonte: Vibramec Engenharia (2023)

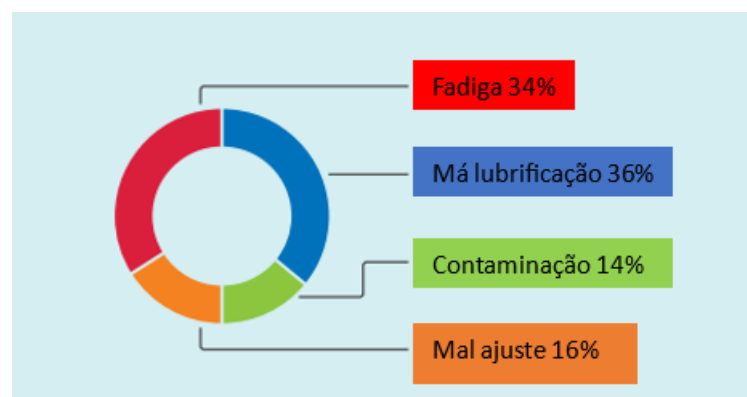
O desalinhamento entre eixos e polias é prejudicial para os componentes mecânicos, pois gera estresse adicional, aumenta o atrito e a possibilidade de falhas prematuras, além de reduzir a eficiência do sistema. Portanto, é essencial que esses componentes sejam corretamente alinhados durante a instalação e que seja realizada a manutenção adequada para evitar ou corrigir qualquer desalinhamento que possa ocorrer ao longo do tempo. O alinhamento preciso entre eixos e polias é fundamental para o bom funcionamento e a vida útil prolongada dos equipamentos industriais (Duarte, 2022).

2.4 Má Lubrificação

A lubrificação é um processo que consiste na formação de uma camada lubrificante impedindo o contato direto entre duas superfícies sólidas que se movimentam entre si, minimizando o atrito entre essas partes. Quando aplicada corretamente, tipo e quantidade certa, diminui os danos causados por atritos, altas temperaturas e corrosão, aumentando a vida útil do equipamento (Grupo SKF, 2014).

Ainda segundo o Grupo SKF (2014), estudos mostram que mais de 30% das falhas em rolamentos são causadas por uma má lubrificação, seja pelo tipo e quantidade errados ou por contaminação do lubrificante pelo ar, água ou sujeira. Svenska Kullagerfabriken (2022), corrobora a afirmação anterior, informando que uma das causas raízes de falha durante a vida útil dos rolamentos, em 36%, é ocasionada pela má realização do processo de lubrificação. Observe a Figura 03 abaixo.

Figura 03: Principais Causas de Defeitos em Rolamentos



Fonte: Adaptado de Svenska Kullagerfabriken (2022)

Conforme problema exposto, a quantidade de graxa para lubrificação é de extrema importância, não podendo ser aplicada em grande ou pequena quantidade. O volume correto de graxa aplicada é obtido pela seguinte fórmula (Svenska Kullagerfabriken 2022).

$$G = 0,005 \times D \times B \quad (1)$$

onde:

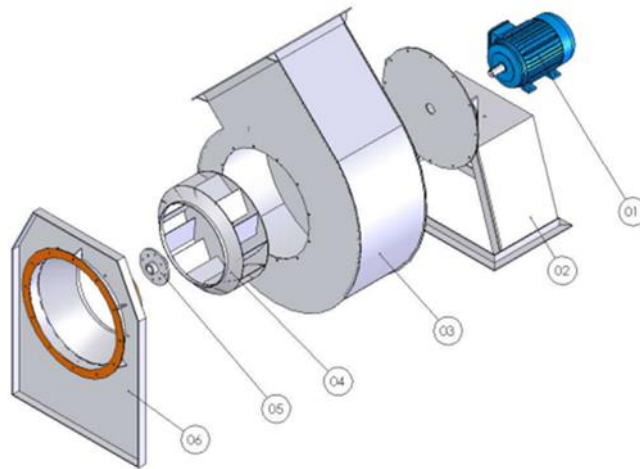
- G = quantidade de graxa, em gramas;
- D = diâmetro externo do rolamento, em mm;
- B = largura do rolamento, em mm;
- H = para rolamentos axiais.

2.5 Montagem dos Equipamentos Industriais

A montagem de equipamentos industriais refere-se ao processo de configurar componentes individuais a fim de criar um sistema funcional ou equipamento completo. É uma etapa crítica na construção, manutenção e instalação de máquinas, dispositivos, sistemas industriais e outros equipamentos mecânicos. É importante garantir que as peças se ajustem corretamente e os encaixes sejam precisos (Brasfaiber, 2021).

Brasfaiber (2021), afirma também que o mecânico possui informações das condições práticas de procedimento, funcionamento e do local de trabalho. Pode, portanto, aliar estes conhecimentos às recomendações práticas dadas pelo manual de montagem, juntamente com as informações e detalhes mais específicos de cada componente fornecido por seu fabricante, preparando então, um bom esquema de instalação e operação, bem como um seguro Programa de Manutenção. Um exemplo comum de equipamento industrial que necessita dos cuidados na hora de sua montagem é o exaustor – máquinas rotativas, deslocadoras volumétricas de fluidos gasosos – pois cada tipo oferece um procedimento diferente e exclusivo em sua instalação. A Figura 04 demonstra os componentes e o correto processo de montagem de um exaustor industrial.

Figura 04: Montagem de Exaustor Centrífugo com Transmissão Direta



Legenda:

1. Motor elétrico (trifásico ou monofásico);
2. Base do motor;
3. Voluta;
4. Rotor;
5. Cubo e;
6. Cone e Sucção.

Fonte: Brasfaiber (2021)

A montagem correta de equipamentos, o balanceamento, alinhamento e boa lubrificação, também denominados manutenção proativa, desempenham um papel fundamental na prevenção de vibrações mecânicas indesejadas.

2.6 Análise de Vibrações

De acordo com de Almeida e Almeida (2013), a análise de vibração se estabeleceu como uma ferramenta primordial na manutenção preditiva de equipamentos industriais. Ao longo do tempo, essa técnica tem provado ser indispensável para identificar e avaliar as causas das vibrações em máquinas e, conseqüentemente, diagnosticar defeitos por meio de análises detalhadas no domínio do tempo e no espectro de vibrações.

Ainda segundo esses mesmos autores, de Almeida e Almeida (2013), as medidas e análises de vibrações nas máquinas proporcionam um entendimento profundo das oscilações e vibrações que ocorrem durante a operação. Isso, por sua vez, cria condições favoráveis para identificar e avaliar o potencial de falha das máquinas, pois muitas falhas mecânicas, elétricas

e funcionais geram forças dinâmicas de excitação que se manifestam como vibrações detectáveis.

Essas aplicações das medidas de vibração e técnicas de análise e diagnóstico passaram a formar a base de programas de manutenção preditiva eficazes. Em vez de esperar por uma falha inesperada que resulte em tempo de inatividade não programado, as empresas agora podem adotar uma abordagem proativa para a manutenção. Elas podem antecipar e prevenir problemas por meio da análise contínua das vibrações em suas máquinas (de Almeida; Almeida, 2013).

A vibração é uma oscilação de um corpo em torno de uma posição de referência. Ela é um fenômeno cotidiano, nós a encontramos em nossas casas, durante as viagens e no trabalho. A vibração é frequentemente um processo destrutivo, ocasionando falhas nos elementos de máquinas por fadiga (trincas, falhas por ruptura etc.) O movimento vibratório é a resposta de uma máquina às forças dinâmicas que a excitam. A máquina vibra em várias frequências e estas vibrações se propagam por toda a máquina e estruturas próximas. Vibrações severas induzem desgaste e fadiga, que certamente são responsáveis por quebras definitivas dos equipamentos (De Almeida; Almeida, 2013).

De Almeida e Almeida (2013), concluem dizendo que utilizar análises vibracionais é o método para o monitoramento das condições das máquinas, pois é possível identificar sinais prematuros de falhas em seus componentes. As informações apresentadas pela análise de vibração devem ser utilizadas para detecção de irregularidades no sistema mecânico provocadores do desbalanceamento, desalinhamento que gera má eficiência do sistema rotativo das máquinas, falhas em rolamentos devido à má ou incorreta lubrificação e componentes ruins ou montados de forma incorreta. Os métodos mais comuns para obter e exibir essas informações é em frequência e amplitude, já que a frequência revela a origem vibracional ou o tipo de falha detectado e a amplitude revela a severidade dessa falha.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado a partir de uma pesquisa bibliográfica seguida de um estudo de caso, onde foram definidas as recomendações e aplicada a melhor intervenção na máquina rotativa a partir de medições e análises vibracionais realizadas. Após as análises e interpretações dos dados coletados, é definida a melhor recomendação para o problema observado e aplicada a intervenção, visando prevenir maiores problemas. Contudo, antes de expor os resultados obtidos com este estudo, é necessário entender como acontece a análise de vibrações, bem como, os equipamentos utilizados, as condições de operação das máquinas, os pontos cruciais de coletas de vibração, a criticidade dos defeitos apresentados e os métodos e equipamentos utilizados nas principais intervenções de correção do problema.

3.1 Como Medir Vibrações em Máquinas

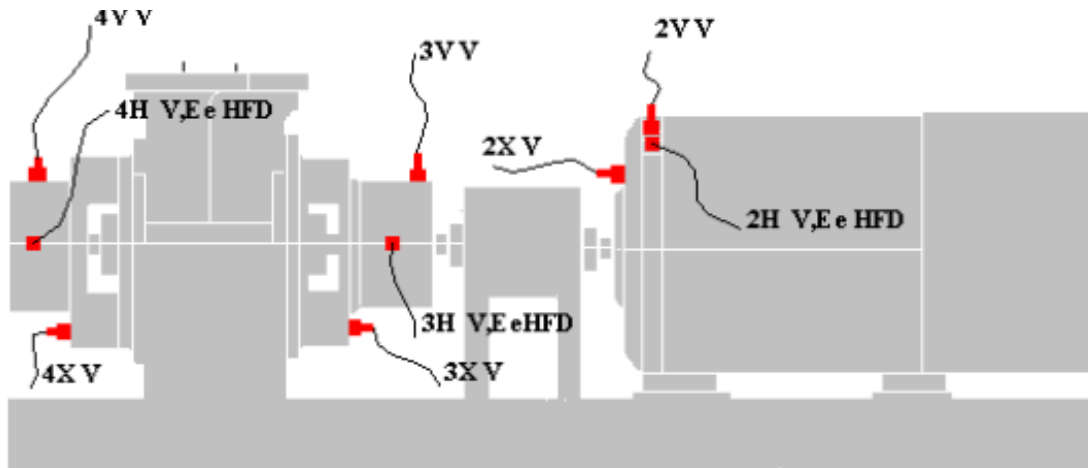
É importante ressaltar que os dados foram coletados com as máquinas operando em condições normais de produção e, para essas mesmas máquinas rotativas, tivemos duas direções de coleta (radial e axial) e três posições (vertical; horizontal; axial). Esses dados foram obtidos a partir de um acelerômetro, fixado em pontos cruciais da máquina por meio de bases magnéticas a fim de evitar filtros nos sinais de medição e conectado no coletor de vibrações Vibxpert II com range de medição de 0-40 kHz e 102.000 linhas de resolução. Para garantir confiabilidade nos dados coletados, esse coletor de vibrações precisa atestar certificado de calibração.

3.2 Onde Medir Vibrações em Máquinas

Para obter resultados precisos e confiáveis, é importante saber não apenas como, mas também onde realizar as coletas de dados vibracionais. As diretrizes que orientam este processo informam que é preciso medir vibrações perto de mancais ou rolamentos, pois eles são, frequentemente, áreas de origem de vibração e são elementos críticos para o funcionamento das máquinas. É comum medir em várias posições como radial, axial e tangencial para obter uma visão completa do comportamento real da máquina; medir vibrações diretamente nos eixos rotativos ou em partes ligadas a eles ajuda a identificar problemas relacionados ao movimento rotacional como o desbalanceamento, desalinhamento e folga mecânica. As coletas em diferentes pontos ao longo do eixo podem revelar variações de amplitude e frequência em

pontos estruturais de máquinas de grande porte, pois as vibrações podem ser transmitidas para eles. Observe, na Figura 05, os pontos cruciais para coleta de vibrações e as informações que são obtidas nesses pontos em um equipamento industrial, onde as letras V, E, H e X significam, respectivamente, velocidade, envelope, aceleração e axial (horizontal ou vertical).

Figura 05: Pontos de Coleta de Vibração em Equipamentos



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Por fim, frisa-se que os equipamentos apresentados nesse estudo de caso encontravam-se em condições de criticidade P1 e P2, onde P1 apresenta alto risco de parada do equipamento e exige intervenção imediata com prazo máximo para solução do problema de 30 dias, e P2 exige intervenção rápida, pois o equipamento encontra-se em estado de perigo.

3.3 Métodos e Equipamentos Utilizados nas Intervenções para Correção dos Defeitos

Com o objetivo de minimizar as vibrações nos equipamentos e corrigir os defeitos apontados na análise de vibração, serão apresentadas as principais ações corretivas.

3.3.1 Balanceamento

O balanceamento de um rotor é realizado para minimizar as vibrações que ocorrem devido ao desequilíbrio na massa do rotor. Aqui está uma visão geral de como é realizado e quais são os equipamentos utilizados.

Para realizar o balanceamento de um rotor desbalanceado é necessário, primeiramente, que o técnico de manutenção destinado para fazer a correção, seja capaz de identificar o local

e a quantidade de massa desbalanceada, por meio da análise de vibração no equipamento. É preciso escolher um método para realização do balanceamento, afinal existem dois métodos principais: estático e dinâmico. O método estático é adequado para rotores que podem ser facilmente girados de forma manual, enquanto o método dinâmico é utilizado em rotores que estão em operação.

Com base na análise do desbalanceamento são tomadas medidas para adicionar ou remover massa do rotor. Isso pode ser feito usando contrapesos ajustáveis ou adicionando pesos pré-determinados em locais específicos do rotor. Após realizar as alterações no rotor, é importante verificar se o desbalanceamento foi corrigido. Isso pode ser feito a partir de uma nova análise de vibração ou outros métodos de monitoramento.

Os equipamentos utilizados no processo de balanceamento são:

- Balanceadores estáticos: Dispositivos usados para balanceamento estático, onde o rotor é girado manualmente e contrapesos são adicionados ou removidos até que o desbalanceamento seja corrigido;
- Balanceadores dinâmicos: São máquinas que permitem o balanceamento dinâmico dos rotores em operação. Geralmente consistem em um conjunto de sensores de vibração, computadores e software especializado para análise e correção do desbalanceamento;
- Contrapesos e massas de balanceamento: São utilizados para adicionar ou remover massa do rotor de forma precisa, corrigindo o desbalanceamento. Esses contrapesos podem ser fixados temporariamente ou permanentemente, dependendo das necessidades do equipamento;
- Instrumentos de medição de vibração: São utilizados para medir as vibrações do rotor antes e depois do balanceamento, garantindo que o desbalanceamento tenha sido corrigido com sucesso.

Em resumo, esse processo é fundamental para garantir o funcionamento suave e eficiente, proporcionando o equilíbrio na massa do rotor necessário à eficácia de sua operação.

3.3.2 Alinhamento

O alinhamento de eixos e polias é um procedimento crítico para garantir o bom funcionamento de equipamentos rotativos. Aqui é apresentado de que forma é realizado e quais são os equipamentos utilizados.

Para realizar o alinhamento em uma máquina, o técnico de manutenção precisa garantir que ela (máquina) esteja desligada e que todas as conexões estejam soltas, a fim de permitir o movimento livre dos componentes, pois não é possível realizar o alinhamento com a máquina operando. O alinhamento começa medindo a condição inicial dos eixos e das polias. Isso pode ser feito usando um medidor de desalinhamento a laser ou um relógio comparador montado em um suporte magnético.

Com base nas medições iniciais, os componentes, eixos e polias, são ajustados para corrigir qualquer desalinhamento. O técnico de manutenção pode optar pelo uso de parafusos de ajuste ou dispositivos de fixação. Após o ajuste, é feita uma nova medição para verificar se o desalinhamento foi corrigido com sucesso. Isso pode ser feito novamente com o medidor de desalinhamento a laser ou o relógio comparador. Depois que o alinhamento estiver correto, os componentes são firmemente fixados no lugar, garantindo que permaneçam alinhados durante a operação.

Os equipamentos utilizados no processo de alinhamento são:

- Medidores de desalinhamento a laser: São dispositivos precisos que emitem um feixe de laser para medir o desalinhamento entre os eixos e as polias. Eles fornecem leituras em tempo real e são ideais para alinhamentos rápidos e precisos. Esse equipamento foi utilizado na intervenção apresentada no tópico 4 – Resultados e Discussão – deste trabalho;
- Relógios comparadores: São instrumentos de medição mecânicos que podem ser usados para avaliar empenamentos e excentricidade. Eles são montados em suportes magnéticos para facilitar o ajuste e a leitura das medições. Para o alinhamento existe uma técnica em que são utilizados dois instrumentos;
- Dispositivos de fixação: São utilizados para segurar temporariamente os componentes no lugar enquanto o alinhamento está sendo ajustado. Isso pode incluir grampos, cunhas ou calços;
- Ferramentas de ajuste: São usadas para mover os componentes, como parafusos de ajuste ou chaves de fenda, para corrigir o desalinhamento;
- Chaves de aperto: São utilizadas para apertar os parafusos e fixar os componentes no lugar após o alinhamento ser concluído.

Concluindo, o alinhamento de eixos e polias é realizado por meio da medição precisa do desalinhamento inicial, ajuste dos componentes e verificação final pela parte técnica.

3.3.3 Lubrificação

A lubrificação correta dos rolamentos é parte essencial na garantia do bom funcionamento e na vida útil dos equipamentos. Veja a forma correta de realizar a lubrificação de um rolamento e os utensílios necessários para aplicação do lubrificante.

Primeiramente, antes de realizar a lubrificação, é importante escolher o lubrificante adequado e a quantidade correta a ser aplicada nos rolamentos. Isso vai depender das condições operacionais, como velocidade, carga, temperatura e o ambiente de trabalho que se encontra o equipamento. Os rolamentos têm pontos de acesso designados para a aplicação de lubrificante, com isso, é necessário que o técnico de lubrificação conheça esses pontos que geralmente estão localizados nos retentores de graxa ou em furos de lubrificação nas caixas dos rolamentos.

O lubrificante pode ser aplicado de forma manual, usando uma pistola de graxa, pelo lubrificador ou de forma automática através de sistemas de lubrificação centralizada. A quantidade adequada de lubrificante deve ser aplicada para garantir uma lubrificação eficaz e evitar o excesso, que pode resultar em superaquecimento. Após a aplicação do lubrificante, é importante que haja monitoramento regularmente dos rolamentos para garantir que estejam recebendo lubrificação adequada. Isso pode incluir a verificação visual dos pontos de lubrificação, a medição da temperatura dos rolamentos e a análise do estado do lubrificante.

Os equipamentos utilizados para lubrificação dos rolamentos são:

- **Pistola de graxa:** É uma ferramenta manual usada para aplicar lubrificante nos pontos de lubrificação dos rolamentos. A pistola de graxa geralmente possui um gatilho que, quando pressionado, libera o lubrificante com pressão controlada;
- **Sistemas de lubrificação centralizada:** São sistemas automáticos que fornecem lubrificação contínua e controlada para vários pontos de lubrificação em um equipamento. Eles consistem em uma bomba de lubrificação, tubulações e distribuidores que distribuem o lubrificante conforme necessário;
- **Lubrificantes:** São substâncias utilizadas para reduzir o atrito e o desgaste nos rolamentos. Eles podem ser graxas ou óleos lubrificantes, e a escolha depende das condições operacionais e das recomendações do fabricante;
- **Ferramentas de limpeza:** Antes de aplicar lubrificante novo, é importante limpar os pontos de lubrificação e os rolamentos para remover quaisquer resíduos ou contaminantes. Isso pode incluir panos de limpeza, escovas e solventes adequados;
- **Equipamentos de monitoramento:** São usados para monitorar a eficácia da lubrificação, como termômetros infravermelhos para medir a temperatura dos rolamentos e dispositivos de análise de óleo para verificar a condição do lubrificante.

Para evitar falhas inesperadas nos rolamentos é preciso que eles estejam lubrificados com o lubrificante e a quantidade correta.

3.3.4 *Bump Test*

O *bump test*, também conhecido como teste de impacto, é um diagnóstico usado para avaliar a condição estrutural e o comportamento dinâmico dos equipamentos rotativos dentro das indústrias. Abaixo é apresentado de que forma ele é realizado e quais equipamentos são utilizados.

Quando for realizar este teste de impacto, é preciso que o técnico de manutenção verifique se o equipamento está desligado para garantir sua segurança pessoal e evitar danos ao equipamento. Durante o teste, um impacto controlado é aplicado em uma parte específica do equipamento usando um martelo ou pistola de impacto. Esse impacto pode ser aplicado em diferentes locais, dependendo do objetivo do teste e das características do equipamento.

Após o impacto, as respostas do equipamento são registradas usando sensores de vibração (acelerômetros). O responsável pela coleta de dados vibracionais posiciona esses sensores em locais estratégicos para capturar a vibração resultante do impacto. Os dados de vibração registrados são analisados para avaliar a resposta dinâmica do equipamento. Isso pode incluir a identificação de frequências naturais, modos de vibração, amortecimento, folga mecânica devido a montagem incorreta dos componentes do maquinário e outros parâmetros importantes.

Os equipamentos utilizados no *bump test* são:

- Martelo de impacto: É uma ferramenta manual usada para aplicar o impacto controlado no equipamento. O martelo de impacto deve ser projetado para fornecer uma força de impacto consistente e precisa;
- Pistola de impacto: É uma ferramenta pneumática que fornece um impacto controlado de alta velocidade. As pistolas de impacto são úteis para aplicar impactos em locais de difícil acesso ou em equipamentos de grande porte;
- Sensores de vibração (acelerômetros): São dispositivos de medição que registram as vibrações geradas pelo impacto. Os acelerômetros são colocados em locais estratégicos no equipamento para capturar a resposta dinâmica;

- Coletor de vibração: É um dispositivo usado para coletar, processar e analisar os dados de vibração registrados pelos sensores. Esses analisadores de vibração fornecem ferramentas de análise avançadas para interpretar os resultados do *bump test*;
- Software de análise: É usado para processar e interpretar os dados coletados durante o teste. O software oferece gráficos, relatórios e ferramentas de diagnóstico para ajudar os engenheiros a identificarem os problemas e tomarem medidas corretivas adequadas.

Finalizando este assunto, o *bump test* é realizado aplicando-se um impacto controlado no equipamento e registrando as respostas de vibração usando sensores adequados. A análise dos dados coletados permite identificar potenciais problemas e tomar medidas corretivas.

Ao longo desta metodologia, exploramos técnicas que formam uma abordagem abrangente para a manutenção preditiva de equipamentos rotativos industriais. Ao implementar esta metodologia de forma regular e sistemática, as empresas podem melhorar a confiabilidade operacional, reduzir os custos de manutenção e maximizar a vida útil de seus equipamentos, garantindo assim um ambiente de produção seguro e eficiente.

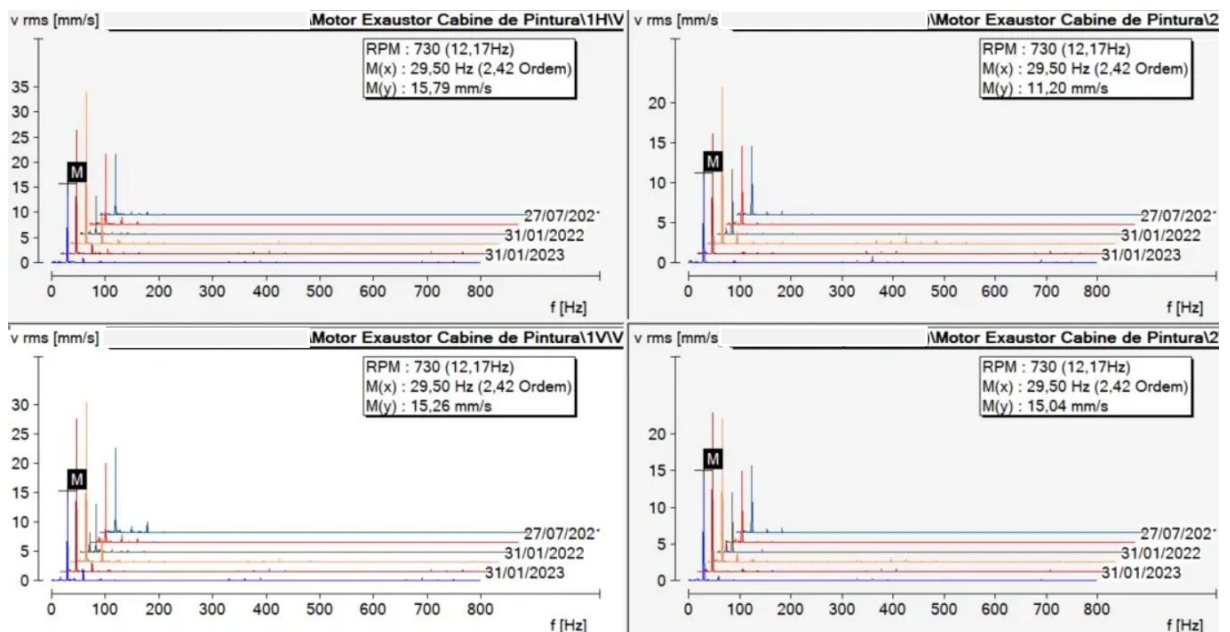
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coletas vibracionais realizadas e os relatórios de análises que serão apresentados ao longo deste tópico, foram elaborados por uma empresa e por profissionais especializados em vibrações mecânicas.

4.1 Análise, Balanceamento e Resultado

A primeira análise vibracional foi realizada em um motor de exaustor industrial de uma cabine de pintura onde foi constatado picos acima de 20mm/s na velocidade das amplitudes de vibração, sendo esta uma velocidade superior ao limite de normalidade que é de 15mm/s na frequência de 29Hz, tratando-se de um caso de criticidade P2. Essa coleta de dados foi realizada no dia 31 de janeiro de 2023. Os resultados obtidos estão demonstrados nos gráficos da Figura 06 abaixo.

Figura 06: Primeiras Análises do Motor do Exaustor



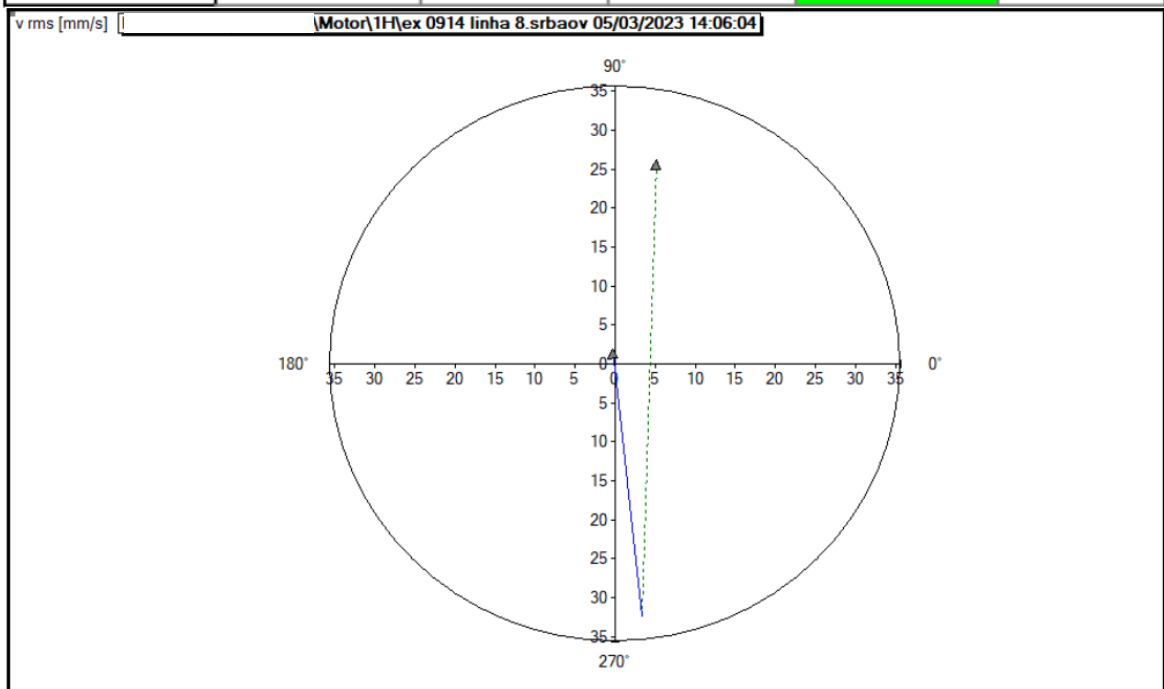
Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Observando os gráficos acima, notamos que devido ao alto ganho de amplitude nos espectros de aceleração foi recomendado a limpeza do rotor, no entanto, foi verificado que ele já estava em condições normais de limpeza, com isso, recomendou-se o balanceamento do rotor.

Segue Figura 07 que apresenta a evolução do processo de balanceamento realizado no rotor do exaustor com massa de 25kg, diâmetro de 600mm e trabalhando com rotação de 1770 rpm.

Figura 07: Evolução do Balanceamento do Rotor

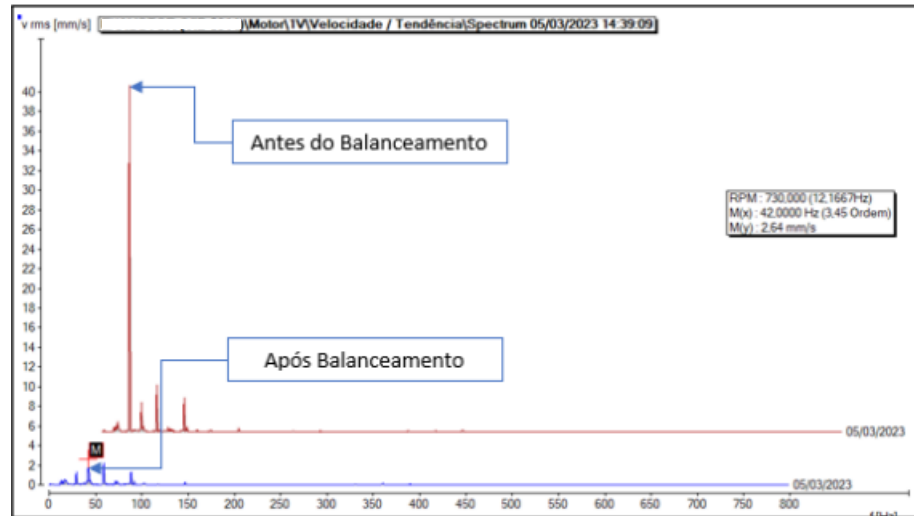
Data	Etapas	Massa (g)	Pos. (°)	Amplitude	Fase (°)
05/03/2023	0	0	0	32,61	276
05/03/2023	1	37,7	0*	26,64	79
05/03/2023	2	20,98	8	1,96	98



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Após a realização do balanceamento no rotor do exaustor, foram feitas novas coletas vibracionais que apresentaram os seguintes resultados. Observe a Figura 08 que mostra o espectro de velocidade antes e após o balanceamento no eixo vertical IV.

Figura 08: Níveis de Vibração na Vertical (1V) Atenuados

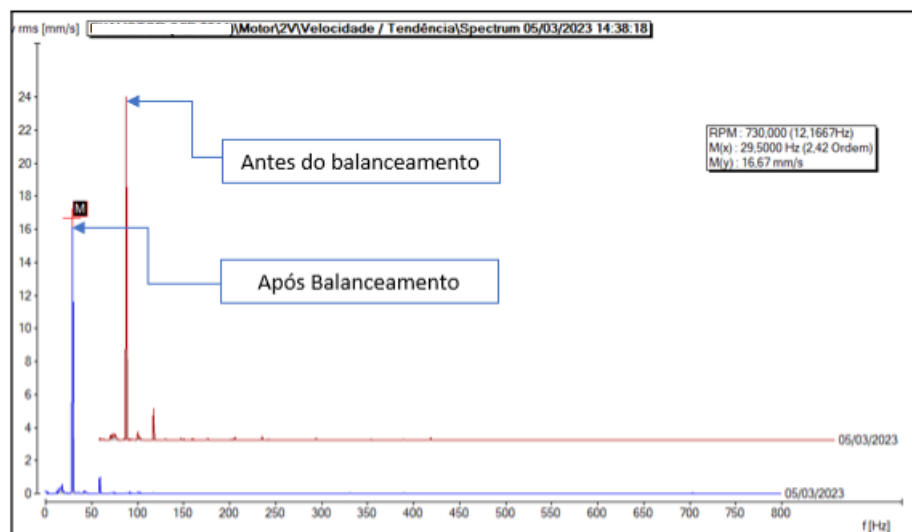


Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

É possível concluir que antes do processo de balanceamento, foram registrados altos picos de velocidade na amplitude de vibração e, após realizar manutenção recomendada, observou-se queda significativa nesses picos.

Entretanto, para o espectro de velocidade 2V, mesmo após o balanceamento, seus níveis vibracionais de velocidade permaneceram elevados, conforme demonstrado na Figura 09.

Figura 09: Níveis de Vibração na Vertical (2V) Elevados



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Para a identificação da causa dessa amplificação dinâmica, que consiste em um desequilíbrio por parte de forças periódicas que coincidem com a frequência natural do equipamento, recomenda-se realizar um teste de resposta a essa amplificação, o *bump test*. Se

a frequência natural e a frequência de operação estiverem muito próximas, é recomendado a realização de um estudo das frequências naturais de todo o conjunto, visando identificar as alterações e ajustar o afastamento entre as frequências naturais e a frequência de operação, evitando a ressonância.

4.2 Análise, Alinhamento e Resultado

Outra análise vibracional foi realizada no motor e nos mancais de um ventilador industrial de um refrigerador de massa, onde foi constatado vibração em velocidade com alto ganho de amplitude. O desalinhamento foi confirmado em uma análise de campo, tratando-se também de um caso de criticidade P2. Os resultados obtidos estão demonstrados na Figura 10 abaixo.

Figura 10: Resultado Obtido a partir da Análise de Campo

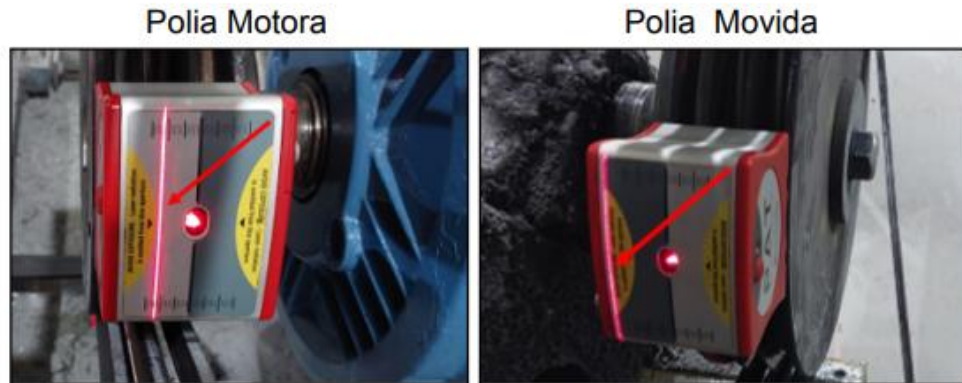


Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

A partir dessa análise e da interpretação de seus dados, foi possível observar que devido a vibração predominantemente na direção axial (1H; 2H), bem como, picos significativos nas frequências relacionadas à rotação, o equipamento também apresentou ruídos anormais devido ao desgaste provocado pelo desalinhamento. Observe na Figura 11, como é aparente o

desalinhamento entre essas polias quando analisado a partir de uma ferramenta de alinhamento a laser.

Figura 11: Polia Motora e Movida Antes do Alinhamento



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Foi solicitado ao setor de manutenção um alinhamento entre a polia motora e a polia movida do sistema de transmissão desse ventilador industrial. A Figura 12 mostra o alinhamento com o auxílio do mesmo equipamento a laser após a intervenção.

Figura 12: Polia Motora e Movida Após o Alinhamento



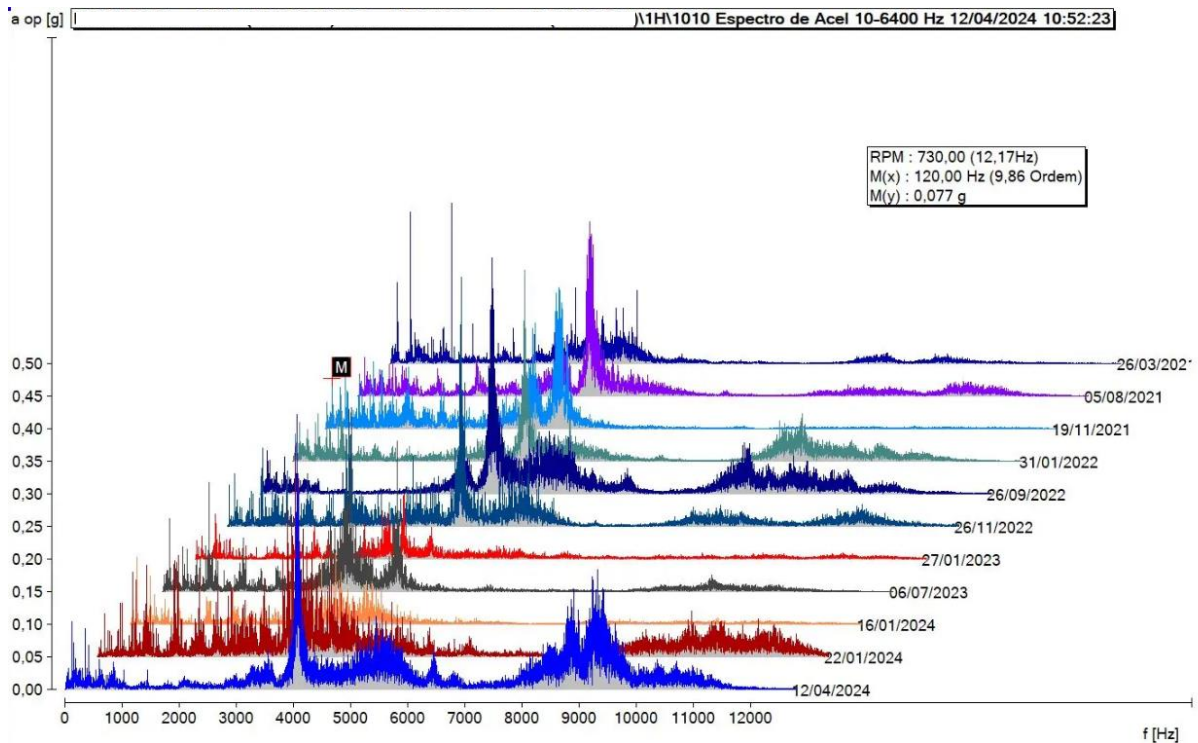
Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Depois dessa intervenção, foi realizada uma nova análise de vibração no sistema que demonstrou correção do problema. Para manter este alinhamento ao longo do tempo é necessário um monitoramento contínuo das condições do equipamento a partir de um plano de manutenção bem definido e atualizado.

4.3 Análise, Lubrificação e Resultado

Outra coleta vibracional aconteceu em um motor elétrico de um misturador de massa onde apurou-se a necessidade de checagem da condição de lubrificação dos rolamentos, pois foram apresentados ganhos de amplitude nos espectros de aceleração e envelope no rolamento LOA (análise da zona de carga, ou seja, a área do rolamento que está sujeita à maior carga durante a operação), como é possível observar no gráfico da Figura 13 abaixo.

Figura 13: Análise de Vibração no Motor do Misturador de Massa



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2024)

Diante do diagnóstico apresentado pela análise de vibração nesse rolamento, foi verificado o carpete de vibração apresentando potenciais ganhos de amplitude em aceleração e em envelope na faixa de 5,5kHz e 9kHz, caracterizando-se como um caso de criticidade P1. Foi recomendado avaliar o plano de lubrificação, realizar nova lubrificação caso seja necessário e realizar monitoramentos com mais frequência.

Em seguida, após a obtenção desses dados, foi realizada a relubrificação do rolamento do motor de forma manual conforme podemos observar nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

Figura 14: Rolamento LOA Relubricado – Vista Frontal



Fonte: O Autor (2024)

Figura 15: Rolamento LOA Relubricado – Vista Superior



Fonte: O Autor (2024)

Depois de uma hora da relubrificação do rolamento LOA, foi realizada uma nova coleta de vibração apenas para análises comparativas onde os novos valores foram satisfatórios e apresentaram melhora nos espectros de aceleração e envelope. Visando uma melhoria contínua do sistema de lubrificação, que é o principal causador de falhas em rolamentos, já existe um projeto de manutenção para a sua automatização, afinal, o sistema manual de lubrificação não consegue fornecer a quantidade correta de graxa durante todas as aplicações, oscilando em cada relubrificação, hora com maior quantidade, hora com menor quantidade. Isso pode resultar em novos picos de amplitude em monitoramentos futuros.

4.4 Análise, *Bump Test* e Resultado

Foi realizada mais uma análise de vibração em outro motor de um exaustor industrial que identificou uma amplificação dinâmica. Utilizou-se o teste de resposta, *bump test*, que apresentou como resultados que a frequência natural do equipamento (47,5Hz) estava muito próxima de sua frequência de operação (47,9Hz), alertando para um nível de criticidade P2. Essa amplificação dinâmica acontece porque a razão entre a frequência de operação e a frequência natural está dando um valor maior que 1. Se o valor dessa divisão for igual a 1, já acontece a ressonância, o que resulta em uma grande amplificação dinâmica na resposta vibracional, ou seja, é necessário que a frequência ideal de trabalho do equipamento sempre esteja afastada de sua frequência natural. O resultado dessa divisão deve dar um valor o mais longe possível de 1.

Tendo em vista este primeiro resultado, foi recomendado realizar alteração da rigidez entre motor/voluta visando afastar a frequência natural da frequência de operação, desmontar o motor para verificação de possíveis folgas mecânicas, montá-lo novamente seguindo os padrões recomendados e corretos de montagem e soldar um apoio na carcaça do motor para ajudá-lo na sustentação e dissipação da velocidade de ondas longitudinais. Observe a Figura 16 que nos mostra o apoio soldado no motor.

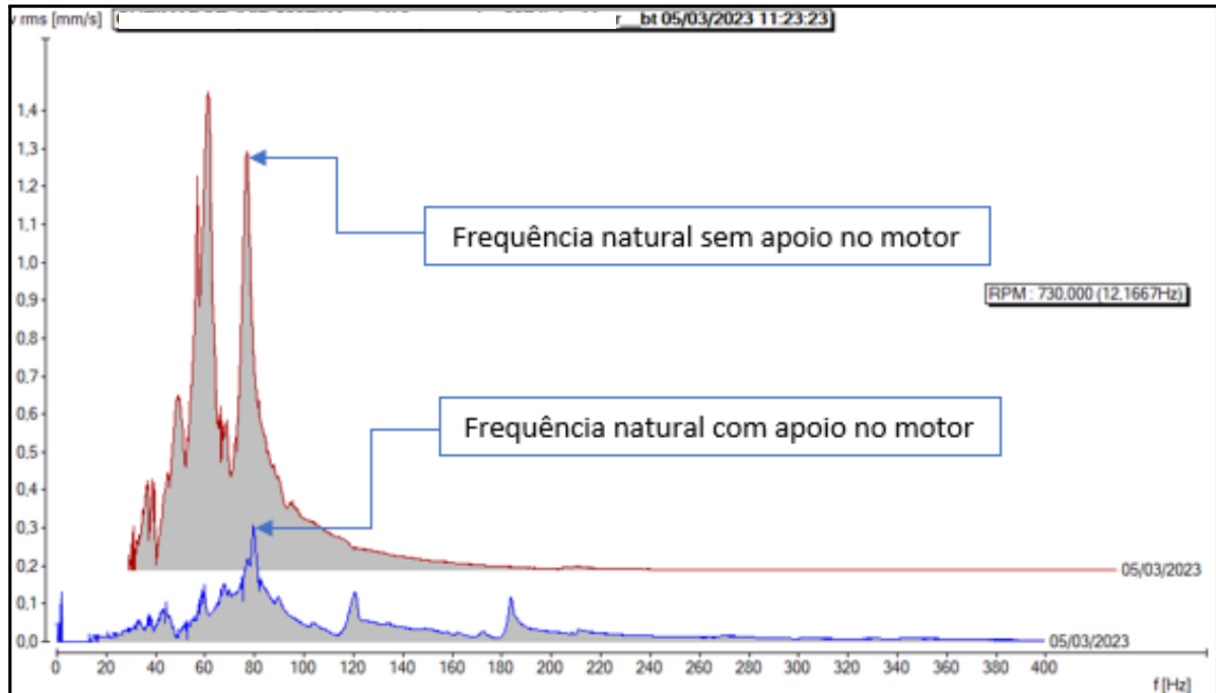
Figura 16: Apoio no Motor



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Observe agora, na Figura 17, como a amplitude da frequência diminuiu após concretização das intervenções recomendadas.

Figura 17: Comparação dos Valores de Amplitude Após Intervenções Recomendadas



Fonte: Empresa de Manutenção Preditiva (2023)

Após atuação mecânica, realizou-se nova medida vibracional que confirmou o afastamento suficiente entre frequência natural e frequência de operação, portanto o sistema foi corrigido.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal demonstrar como a integração de dados de vibrações e técnicas avançadas de manutenção pode aumentar significativamente a confiabilidade e a eficiência de equipamentos rotativos industriais.

Ao longo da pesquisa, foi possível constatar que a utilização sistemática de análise de vibrações, combinada com práticas de manutenção preditiva e preventiva, resulta em uma gestão mais eficaz da integridade dos equipamentos. As principais técnicas abordadas incluíram a medição de vibrações, o balanceamento dinâmico, o alinhamento de eixos e polias, a lubrificação adequada dos rolamentos e o *bump test*. Cada uma dessas técnicas contribuiu de maneira significativa para a detecção precoce de anomalias e para a realização de intervenções preventivas.

A metodologia integrada apresentada neste trabalho demonstra que, através de uma análise detalhada e intervenções planejadas, é possível alcançar uma gestão superior da integridade dos equipamentos, resultando em benefícios econômicos e operacionais significativos.

Para o futuro, recomenda-se a continuidade desta pesquisa com a incorporação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de dados em tempo real, para aprimorar ainda mais as capacidades de monitoramento e manutenção preditiva. Com essas inovações, espera-se que as indústrias possam alcançar níveis ainda maiores de eficiência e confiabilidade, consolidando um ambiente de produção mais seguro e produtivo.

REFERÊNCIAS

- ALINHAMENTO entre Eixos e Polias. **Vibramec Engenharia**, 2023. Disponível em: <https://www.vibramec.com.br/alinhamento-a-laser>>. Acesso em: 30 de setembro de 2023.
- DE ALMEIDA, M. T.; ALMEIDA, F. R. V. **Análise de Vibrações I: Princípios de Diagnósticos de Defeitos em Máquinas Rotativas**. Itajubá, 2013. Acesso em: 16 de outubro de 2023.
- DE SOUZA, V. C.; MARCHI, C.S.; BUENO, N.V.; FAUSTINO, T. S.; BARREIRO, T. A. **Utilização das Tecnologias da Indústria 4.0 na Manutenção Preditiva Através do Monitoramento de Equipamentos e Instalações**. 2022. Brazilian Journal of Development. ISSN: 2525-8761.
- DUARTE, Yuri de Souza. **Método da Evolução Diferenciada para a Otimização do Cálculo do Alinhamento de Eixos Propulsores**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022. Acesso em: 17 de setembro de 2023.
- GALDINO, J.C.; REZENDE, A.S. **Orientações e Boas Práticas de Procedimentos de Análise de Vibrações em Aeronaves de Asas Rotativas para Mecânicos de Manutenção Aeronáutica**. 2014. 97f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Manutenção de Aeronaves) – São José dos Campos, FATEC, 2014. Acesso em: 17 de setembro de 2023.
- HOLANDA, Sandra Maria Santos. **Aplicação da Manutenção Preditiva por Análise de Vibrações em Equipamentos de Trens Urbanos com Plano de Manutenção Proposto**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2016.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção – Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- MANUAL Técnico de Instalação, Operação e Manutenção. Exaustores Axiais e Centrífugos – Diretos e Indiretos. **BRASFAIBER**, 2021. Disponível em: https://www.brasfaiber.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Manual-Tecnico-de-Operacao-e-Manutencao_EXAUSTOR.pdf>. Acesso em: 08 de outubro de 2023.
- MITCHELL, J. S. **From Vibration Measurements to Condition Based Maintenance: Seventy Years of Continuous Progress**. Sound and Vibration Magazine, 40 th Anniversary Issue, vol. 41, no 1, pp. 62-78, January, 2007.
- O PODER da lubrificação. **SKF**, 2014. Disponível em: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968037f0c8/pdf_preview_medium/0901d1968037f0c8_pdf_preview_medium.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2023.
- RAO, Singiresu. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- SKF Automatic Lubricators. **SKF**, 2022. Disponível em: https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d1968019d1ed/pdf_preview_medium/0901d1968019d1ed_pdf_preview_medium.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2023.
- SOUZA, Valdir Cardoso. **Organização e Gerência da Manutenção**. 5. ed. São Paulo: All Print, 2013.