

**FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUVERAVA  
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS**

**Henrique Castejon de Oliveira  
João Victor Ramos Cruz**

**ANÁLISE DE VIBRAÇÕES NA DETECÇÃO DE FALHAS  
EM CONJUNTO MOTOBOMBA**

**ITUVERAVA  
2019**

**HENRIQUE CASTEJON DE OLIVEIRA  
JOÃO VICTOR RAMOS CRUZ**

**ANÁLISE DE VIBRAÇÕES NA DETECÇÃO DE  
FALHAS EM CONJUNTO MOTOBOMBA**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras,  
Fundação Educacional de Ituverava para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.**

**Orientador: Prof. Me. Ciro Sérgio Abe**

**ITUVERAVA  
2019**

**HENRIQUE CASTEJON DE OLIVEIRA  
JOÃO VICTOR RAMOS CRUZ**

**ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NA DETECÇÃO DE  
FALHAS EM CONJUNTO MOTOBOMBA**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras,  
Fundação Educacional de Ituverava para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.**

**Ituverava, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.**

**Orientador (a):** \_\_\_\_\_  
**Prof. Me. Ciro Sérgio Abe**

**Examinador (a):** \_\_\_\_\_  
**Nome do examinador (a)**

**Examinador (a):** \_\_\_\_\_  
**Nome do examinador (a)**

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais, irmãos, amigos e familiares que nos deu todo apoio e incentivo para passarmos por todos os obstáculos que surgiram no decorrer do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

A nossa família.

Ao nosso orientador Me. Ciro Sérgio Abe que dispôs de seu tempo para nos auxiliar

A professora Leticia Nociti pelo incentivo durante o curso.

Aos docentes pelos ensinamentos transmitidos durante a formação.

A todos nossos amigos que nos apoiaram durante o curso.

**“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar de novo com mais inteligência”**

**Henry Ford**

## RESUMO

Este trabalho objetiva a demonstração da notoriedade da manutenção preditiva realizando a análise por meio do estudo da vibração, no qual essa é utilizada para prever possíveis falhas em equipamentos rotativos, de modo a evitar desperdícios tais como a perda produtiva e a troca de componentes desnecessários. A metodologia utilizada é a análise de vibração por intermédio do espectro, utilizando-se das técnicas envelope e global (RMS). Em primeiro plano, coletaram-se espectros que apresentavam os causadores das vibrações, bem como o desalinhamento, desbalanceamento, falha em rolamentos e cavitação. Após as coletas realizadas e as falhas detectadas, a ordem de serviço é gerada e, logo em seguida, o equipamento é enviado à manutenção de acordo com o pré-diagnóstico executado, de maneira a inscrever a precisão do conserto. Por conseguinte, chega-se à conclusão que a implantação da manutenção preditiva gera resultados satisfatoriamente positivos, os quais contribuem para uma eficiente e viável estratégia da empresa, fazendo com que o controle produtivo e o respectivo funcionamento do maquinário sejam mais notório e brandos.

**Palavras-chave:** Manutenção. Preditiva. Vibração. Equipamentos. Espectro. Análise. Técnicas.

## SUMMARY

This work has the goal to demonstrate the notoriety of the predictive maintenance, performing the analysis by the vibration study, in which this is used to predict possible failures in rotative equipments, in a way to avoid wastes such as the productive loss and the exchange of unnecessary components. The used methodology is the vibration analysis by means of the spectrum, using the envelop and global techniques (RMS). In the foreground, spectrums that have presented the causes of the vibration, misalignment, unbalance, failure in bearing and cavitation were collected. After the collects were performed and the failures were detected, the order of service is generated and, shortly thereafter, the equipment is sent into maintenance according to the pre-diagnosis that was processed, in a way to increase the repairing precision. Therefore, it comes into the conclusion that the predictive maintenance implantation generates satisfactorily positive results, which contributes to an efficient and viable company strategy, causing that the productive control and the respective machinery operation be more mild and notorius.

**Keywords:** Maintenance. Predictive. Vibration. Equipments. Spectrum. Analysis. Techniques



## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Percentual de falhas de cada componente do motor .....	26
---	----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Ficha Técnica do motor .....	34
<b>Tabela 2</b> Ficha Técnica da Bomba Centrífuga .....	34
<b>Tabela 3:</b> - Quantidade de OS” de reparos do motor entre 01/01/2000 até 31/12/2011.....	42
<b>Tabela 4:</b> Quantidade de OS” de reparos da bomba entre 01/01/2000 até 31/12/2011 .....	42
<b>Tabela 5:</b> Quantidade de OS” de reparos do motor entre 01/01/2012 até 07/11/2019 .....	42
<b>Tabela 6:</b> Quantidade de OS” de reparos da bomba entre 01/01/2012 até 07/11/2019 .....	43
<b>Tabela 7:</b> Redução dos números de OS” em motores .....	43
<b>Tabela 8:</b> Redução dos números de OS” em bombas.....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS

**+H** = Caso o eixo da bomba esteja baixo do nível do reservatório

**-H** = Caso o eixo da bomba esteja acima do nível do reservatório

**hconec** = é a soma de todas as confecções até a sucção

**hf** = é perda de carga de carga na tubulação de sucção

**htub** = tamanho da tubulação

**NPSHd** = Net Positive Suction Head Disponível

**NPSHr** = Net Positive Head Requerido

**Pa** = Pressão atmosférica, encontrada em tabela

**Pv** = Pressão de vapor

**RMS** = Root Mean Square

**x**= Deslocamento ( $\mu\text{m}$ ) **A**= Área ( $\text{m}^2$ )

$\gamma$  = Peso específico do fluido (Água =  $10.000 \text{ N/m}^2$ )

$\omega$ = Velocidade angular ( $\text{rad/s}$ )

$\varphi$ = Fase ( $\text{rad}$ )

**A** = Amplitude do vetor de zero a pico em mm

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 Objetivo Geral.....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Justificativa.....	15
<b>2 REVISAO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Evolução Histórica Da Manutenção.....	17
2.1 Tipos de Manutenção.....	18
2.2.1 <u>Manutenção Corretiva</u> .....	19
2.2.2 <u>Manutenção Preventiva</u> .....	20
2.2.3 <u>Manutenção Preditiva</u> .....	20
2.3 Confiabilidade do Equipamento.....	22
2.4 Bombas.....	22
2.4.1 <u>Bombas Centrífugas</u> .....	22
2.4.2 <u>Cavitação</u> .....	23
2.5 Motor Trifásico.....	24
2.5.1 <u>Falhas em Motores de Indução Trifásicos (MIT)</u> .....	25
2.6 Rolamentos.....	27
2.6.1 <u>Falhas em Rolamentos</u> .....	27
2.7 Vibração.....	27
2.7.1 <u>Causa da Vibração nos componentes</u> .....	30
2.8 Métodos de Análises.....	30
2.8.1 <u>Método Global de Vibração (RMS)</u> .....	30
2.8.2 <u>Método Envelope</u> .....	31
<b>3 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>32</b>
3.1 Desenvolvimento do Plano de Manutenção Preditiva.....	32
3.2 Equipamento Analisado.....	33
3.3 Pontos de Coletas de Dados e Intervalos.....	34
3.4 Medidor de Vibrações.....	36
3.5 Análise de Resultados E Discussões.....	37
3.5.1 <u>Folgas Mecânicas</u> .....	37
3.5.2 <u>Cavitação</u> .....	38
3.5.3 <u>Desalinhamento</u> .....	38

<b>3.5.4 <u>Falha em Rolamento</u></b> .....	<b>39</b>
<b>3.6 Procedimentos Após a Detecção da Falha</b> .....	<b>40</b>
<b>3.7 Histórico de Coletas</b> .....	<b>40</b>
<b>3.6.1 <u>Coletas Antes da Manutenção Preditiva</u></b> .....	<b>41</b>
<b>3.6.2 <u>Coletas Realizadas Após a Manutenção Preditiva Implantada</u></b> .....	<b>41</b>
<b>3.6.3. Demonstrativo de Redução De Reparos</b> .....	<b>42</b>
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Quando se trata de manutenção preditiva, grande parte das empresas enxergam apenas como um gasto desnecessário e uma complicação a mais com análises e monitoramentos. No entanto, tal procedimento dá-se de maneira bem mais simples e viável, quando comparado a outros tipos de manutenção - preventiva e corretiva.

Com a análise preditiva, obtém-se também uma densa economia de tempo e capital, dada a eliminação de chances de retrabalho em um curto espaço de tempo, ou seja, evitam-se trocas desnecessárias de componentes que, por sua vez, resultam em uma parada da produção e, conseqüentemente, uma perda significativa de recursos. O foco deste trabalho é a análise da vibração, porém, é de suma importância salientar a existência de outros métodos para identificação de falhas, como o ultrassom, inspeção visual e a termográfica.

Hodiernamente, para o destaque de uma empresa ou um complexo industrial no mercado, é necessária uma produção com alta qualidade e baixo custo, tendo em vista a manutenção como ponto chave para uma prolongação da vida útil dos equipamentos e bom funcionamento durante a sua produção. A densa variedade de equipamentos que se enquadram como alta criticidade são aqueles de âmbito rotativo, a título de exemplo, citam-se: motores, bombas, exaustores e ventiladores, visto seu teor essencial para o funcionamento de uma indústria.

Coletar dados espectrais de análises do conjunto motobomba do multijato, o qual sofre desgaste durante seu funcionamento. Além disso, demonstrar por meio de estudos e análises o quanto a manutenção preditiva é viável para uma indústria, uma vez comparada com os demais tipos de manutenção e realizar estudo de confiabilidade utilizando os indicadores.

### **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho dá-se por meio da implantação da manutenção preditiva em um conjunto motobomba a fim de diminuir as paradas não programadas, as quais geram grandes perdas de produção e até mesmo ocasionam trocas desnecessárias de componentes. Assim, por meio de tal manutenção, poder-se-á diagnosticar a origem e o caráter das falhas, de modo a tratar o problema com maior antecedência possível.

## 1.2 Objetivos Específicos

Definimos como objetivos específicos os itens citados a baixo:

- Compreender o funcionamento do conjunto motobomba.
- Identificar pontos específicos para se realizar a coleta de dados da análise de vibração.
- Identificar possíveis causas das vibrações.
- Demonstrar qual tratativa tomar após a detecção da falha relacionando com o plano de manutenção por intermédio da abertura da ordem de serviço.
- Obter conhecimento sobre controle de manutenção.
- Reduzir o índice de falhas do conjunto motobomba, de modo a reestabelecer a eficiência produtiva.

## 1.3 Justificativa

Segundo (XENOS, 2009), de uma forma irônica, muitas indústrias utilizam a palavra manutenção para se referir a um equipamento desabilitado. Entretanto, é nesse ponto em que acomete-se um equívoco, uma vez que a manutenção não ocorre quando o equipamento torna-se inutilizável, e sim quando se introduz uma série de acompanhamentos ao decorrer de seu funcionamento, a fim de evitar que as falhas aconteçam. Ainda, pelo fato de confundirem manutenção com reparo, diversas empresas passam por severos problemas, sendo até mesmo necessário uma parada produtiva por falhas inesperadas em equipamentos.

Segundo (SILVA,2018), não se pode utilizar a manutenção apenas para corrigir problemas quando sua ocorrência é constatada, mas também para estar sempre em busca de uma melhoria constante, tornando possível utilizar o equipamento ao máximo, fazendo com que os defeitos inesperados tendam a zero.

Levando em consideração todos esses quesitos relacionados à manutenção, torna-se evidente perceber que a manutenção preditiva é indispensável em uma indústria, pois dessa forma evita-se desperdícios produtivos e estabelece-se uma qualidade de ponta, gerando, conseqüentemente, maiores lucros. Além disso, fatores que influenciam exponencialmente em uma indústria, além da manutenção preditiva, é o setor PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), em que acontecem todos os planejamentos e armazenamentos de dados de todas as manutenções realizadas em equipamentos. Com isso, pode-se nortear a indústria,

definindo seus parâmetros, de modo a convergir em qualidade elevada e baixos custos operacionais.

O conjunto motobomba é considerado um dos equipamentos mais importantes em uma usina sucroalcooleira, dado que sua maior parte é composta por motores e bombas, objetivando o transporte de líquidos de um processo para outro. O fluido transportado pela bomba estudada é a água que se encontra na temperatura de aproximadamente 40 °C, a qual é encaminhada para o setor da evaporação.

Segundo (KARDEC; NASCIF, 2009), aderir ao acompanhamento rotineiro e buscar melhorias constantes é o que garante a maior estabilidade de processos em uma empresa, de modo a gerar controle dos processos diários, trazendo assim resultados previsíveis, os quais contribuem para um consequente destaque empresarial.

Após saber todos os danos e prejuízos que a falta de um conjunto motobomba gera para a usina, é imprescindível a utilização de um plano de manutenção no qual acompanhará o conjunto periodicamente, prevendo possíveis falhas e, logicamente, realizando uma programação para um próximo reparo.



## 2 REVISAO DE LITERATURA

### 2.1 Evolução Histórica Da Manutenção

A manutenção antes da década de 30, no Pós-1ª Guerra Mundial, não era adotada pelas indústrias devido às dificuldades de muitos países que foram arrasados pelo conflito. Esses tiveram que adotar medidas para melhorarem a confiabilidade dos equipamentos para que pudessem ampliar o teor produtivo e, conseqüentemente, reestruturar a nação. À primeira vista, foram adotadas práticas de manutenções pouco complexas e eficientes. No entanto, com o passar do tempo e o respectivo avanço tecnológico, tais práticas foram sujeitas a aprimoramentos significativos, de modo a elevar a produtividade. De maneira ampla, as guerras possuem o caráter transformador tanto do meio social e cultural quanto do quesito tecnológico, por meio, por exemplo da evolução industrial. Nessa perspectiva, associa-se tal avanço ao fenômeno da globalização, o qual, por intermédio da interconexão dos meios comunicativos e tecnológicos, gera uma necessidade cada vez mais crescente de “adesão ao moderno”, ou seja, ampliou-se tanto a demanda quanto a indispensabilidade de produção de equipamentos e serviços que se adequem à presente geração e suas exigências. Pode-se dividir as fases da manutenção em (KARDEC; NASCIF, 2009) e (MENGUE; SELLITTO, 2013):

- Primeira geração;
- Segunda geração;
- Terceira geração;
- Quarta geração.

A Primeira Geração encontra-se intrinsecamente ligada à pós-Primeira Guerra Mundial, dado que as indústrias não possuíam equipamentos mecanizados como encontrados atualmente, além dos mesmos serem superdimensionados e simples. Nesse período, a manutenção não possuía qualquer tipo de sistematização, sendo a limpeza e o reparo tarefas realizadas ocasionalmente. Além disso, acreditava-se que a quebra e falha das máquinas seriam eventos inevitáveis e irremediáveis. (KARDEC; NASCIF, 2009) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

A Segunda Geração emergiu no pós-Segunda Guerra Mundial, quando a demanda produtiva cresceu significativamente, havendo assim a necessidade de equipamentos mecanizados. Ademais, com descrita ampliação do desenvolvimento tecnológico, originou-se

uma diminuição de mão de obra e uma maior complexidade nas plantas industriais. De modo lógico, para a existência de uma superioridade produtiva, a disponibilidade dos equipamentos deve estabelecer direta proporcionalidade com tal, de modo a, finalmente, surgir a manutenção preventiva. Esse método era utilizado para realizar as devidas intervenções nos equipamentos em determinados períodos. Os custos nesta época por sua vez foram aumentados em comparação a outros custos operacionais e, conseqüentemente, foram instaurados os sistemas de planejamento e controle de manutenção, os quais integram a manutenção na hodiernidade. Por conseguinte, o montante aplicado em itens de característica física, em conjunto com o evidente crescimento do custo desse capital, conduziu os indivíduos a buscarem alternativas distintas para o aumento da durabilidade de tais máquinas. (KARDEC; NASCIF, 2009) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

A Terceira Geração se iniciou na década de 70, quando o processo de mudança nas indústrias aumentou exponencialmente. Nessa época, começou-se a utilizar o sistema *Just in Time* para conter o estoque, reduzindo assim os custos de produção com o intuito de diminuir as paradas da produção e, conseqüentemente, o atraso na entrega do bem material. Com o melhoramento tecnológico, a manutenção necessitou ser levada a sério, uma vez que com o surgimento da automação, ampliou-se o número de falhas e a necessidade de adotar indicadores de confiabilidade e disponibilidade. (KARDEC; NASCIF, 2009) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

A Quarta Geração foi uma segmentação da Terceira, tendo como foco a utilização dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, sendo a primeira de maior importância. O objetivo principal dessa geração é, cada vez menos, utilizar manutenções que parem a produção, ou seja, diminuir a manutenção preventiva e inibir o uso da corretiva não planejada. (KARDEC; NASCIF, 2009) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

“A prática de análise de falhas é uma metodologia consagrada como uma prática capaz de melhorar a performance dos equipamentos e da empresa por consequência” (KARDEC; NASCIF, 2009, p.46).

## 2.1 Tipos de Manutenção

As práticas mais utilizadas pelas indústrias atualmente são:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;

- Manutenção Preditiva.

### 2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva como o nome mesmo diz, é quando realizada a manutenção no equipamento no momento exato da apresentação de falhas, de modo a buscar a “correção” do empecilho. Em primeiras impressões, pode-se considerá-la um tipo de manutenção adequada, todavia, ao direcionar para o campo econômico, chega-se à conclusão de que essa gera grandes prejuízos relacionados à parada da produção (XENOS, 2009). Segundo XENOS (2009, p.23) “*Existem duas possibilidades que podem levar a necessidade de uma manutenção corretiva*”:

- i. Quando é apresentado um menor desempenho do equipamento;
- ii. No momento em que são constatadas falhas.

A manutenção corretiva é dividida em dois grupos: *planejada e não planejada*

A manutenção corretiva planejada ocorre quando o equipamento vem apresentando comportamento irregular e, sabendo-se que sua falha está próxima, o mesmo é mantido em funcionamento, até que ocorra a quebra definitiva e o método seja adotado pelo acompanhamento da preditiva. Portanto, há o planejamento das peças que irão ser substituídas em uma próxima parada da produção. Esse tipo de manutenção também pode-se relacionar com a segurança. (ROCHA, 2014) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

Já a manutenção corretiva não planejada ocorre quando há a falha do equipamento de uma forma inesperada, fazendo com que não haja planejamento de componentes ou mão de obra. (ROCHA, 2014) e (MENGUE; SELLITTO, 2013). Relacionando custo de manutenção este método é o mais viável, porém, quando se relaciona custo de produção ele se torna inviável, de modo a gerar perdas absurdas no processo (ROCHA, 2014) e (MENGUE; SELLITTO,2013).

### **2.2.2 Manutenção Preventiva**

A manutenção preventiva tem como objetivo evitar falhas inesperadas no equipamento, correndo o risco de parar o processo industrial. (KARDEC; NASCIF, 2009) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

Já que os próprios fabricantes geralmente não fornecem dados, mencionando datas para manutenções, considerando também que esse período pode variar de acordo com condições climáticas, tipos de processos e para quais fins são utilizados, as empresas determinam o momento da manutenção, baseando-se em históricos e arquivos estatísticos de manutenções anteriores no equipamento. (Rocha, 2014) e (MENGUE; SELLITTO, 2013) e (KARDEC; NASCIF, 2009).

Ao contrário da corretiva, na qual o equipamento é encaminhado para manutenção apenas quando de fato quebra, a desvantagem dessa manutenção é que ocorrem trocas de componentes muitas vezes desnecessários, causando desperdícios de materiais e tempo. (NEPOMUCENO, 1989) e (MENGUE; SELLITTO, 2013).

### **2.2.3 Manutenção Preditiva**

A manutenção preditiva surgiu para o monitoramento periódico do equipamento podendo detectar possíveis falhas futuras, de modo a manter-se paralela à manutenção corretiva planejada. De uma forma inovadora, as análises poderão detectar quais componentes estão apresentando falhas, assim facilitando os métodos de manutenções. Com a manutenção de condição, há um planejamento da parada na indústria para realizar manutenções. Assim, pode-se esquematizar quais equipamentos serão substituídos, de maneira a obter economia para a empresa na troca desnecessária de peças. Tal manutenção estabelece ainda um acompanhamento que permite a preparação prévia do serviço e tomadas de decisões alternativas relacionadas com a produção. (KARDEC; NASCIF, 2009) e (LACEY, 2010).

As principais técnicas da manutenção preditiva, além da análise de vibração, são:  
Termográfica: A termográfica é a medição da temperatura superficial do objeto em estudo quando estiver sujeito a tensões térmicas. O método utilizado para a medição é a detecção da radiação térmica ou infravermelha que são emitidos através de equipamentos ou objetos. A

captação dos termogramas é realizada por câmeras termográficas que permitem a visualização da distribuição de calor. (PERREIRA, 2011).

Ultrassom: É um método de análise dos sons emitidos por descargas elétricas como o faiscamento, arco elétrico e efeito corona. A melhor maneira de obter precisão na hora da análise, é aproximar o aparelho ao equipamento no seu máximo. (PERREIRA, 2011).

Líquido penetrante: O ensaio por meio de líquidos penetrantes é um método desenvolvido para detectar trincas em superfícies do material. (ANDREUCCI, 2013)

Ferrografia: Segundo (HOLANDA, 2016, p. 16), “Analisa itens como viscosidade, acidez, teor de água e outras fontes de contaminação que podem comprometer a operação do equipamento.”

O benefício da manutenção preditiva é que ela fará com que não ocorram sérios danos aos equipamentos, de modo a operarem por um maior tempo, aumentando os índices de confiabilidade, disponibilidade e diminuindo os custos, sendo esses os pilares de uma eficaz gestão de manutenção. Além disso, tal tipo de manutenção tem como benefício a capacidade de estimar o tempo médio entre falhas, existindo um indicador que fornece dados a fim de determinar qual será o melhor tempo para substituir os componentes, ao invés de esperar a falha ocorrer. (HOLANDA, 2016)

Condições básicas para utilizar a manutenção preditiva:

- O equipamento, o sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento ou medição;
- O equipamento, o sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação pelo fato dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser provindas de causas que podem ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise de diagnóstico e sistematizado.

Fatores indicados para realizar a manutenção preditiva:

- Aspectos relacionados com a segurança pessoal e operacional;

- Redução de custos pelo acompanhamento constante das condições dos equipamentos, evitando intervenções desnecessárias;
- Manter os equipamentos operando, de modo seguro, por mais tempo.
- Levando em consideração a redução de acidentes por falhas em equipamentos é significativa e a ocorrência de falhas não esperadas são extremamente baixas que ocasiona uma redução de paradas inesperadas da produção e assim evita graves perdas financeiras. (KARDEC; NASCIF, 2009).

### **2.3 Confiabilidade do Equipamento**

A confiabilidade de um equipamento é quando se define a probabilidade de desempenho durante um período sob suas determinadas condições de uso (ELSAYED, 1996, Traduzido).

Confiabilidade não é apenas medida por tempo entre falhas, mas também pela boa impressão causada pelo fabricante no momento da negociação, sendo esse ciclo iniciado no momento da compra do equipamento e concretizado durante a utilização, uma vez que ficará evidenciado o funcionamento de acordo com o combinado pré-estabelecido. (FRITSCH; RIBEIRO,1998)

### **2.4 Bombas**

As bombas surgiram com a necessidade de transportar água há muito tempo atrás para irrigar plantações distantes de rios. Atualmente pode-se dizer que grande parte das indústrias são compostas por bombas, para transporte de líquidos.

Com a tecnologia foram surgindo vários tipos de bombas permitindo que as mesmas transportem até materiais de alta viscosidade (ELETROBRÁS et al., 2009).

#### **2.4.1 Bombas Centrífugas**

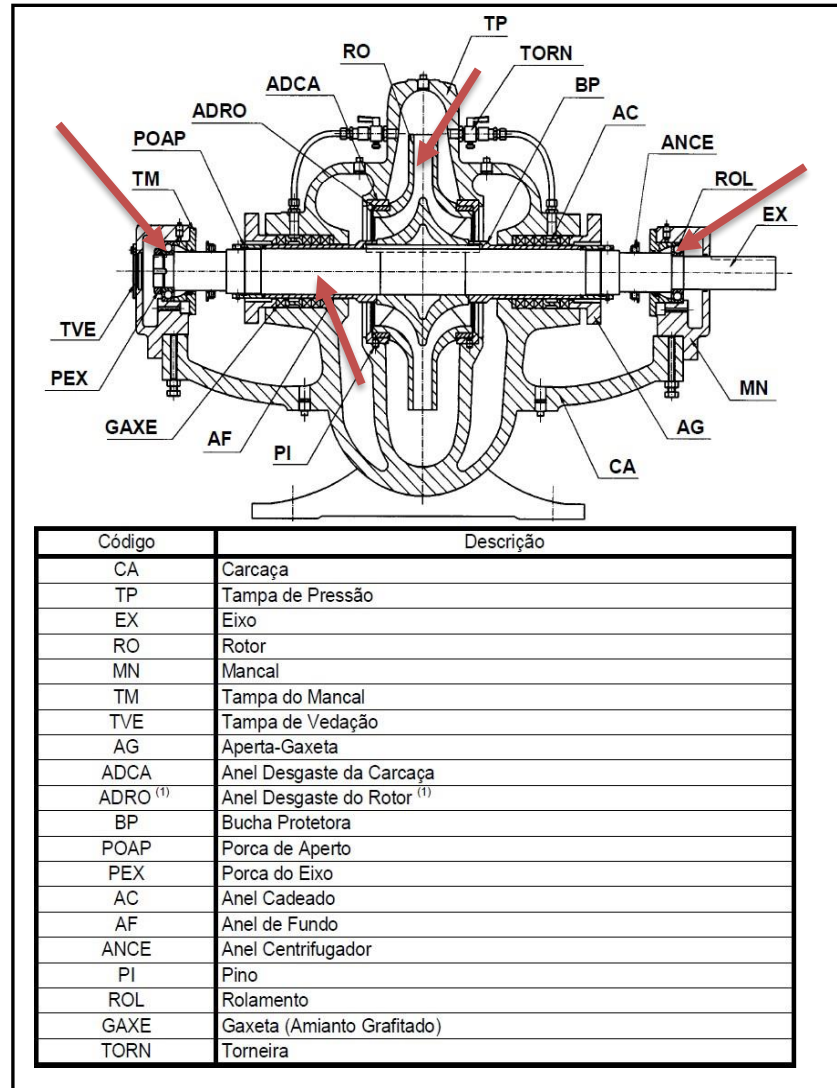
Existe um rotor que fornece energia ao fluido, girando em alta velocidade onde obtém-se a energia cinética que logo após é transformada em energia de pressão.

Os principais componentes são e estão ilustrados na figura 3:

- Eixo

- Rotor;
- Rolamentos;

**Figura 1:** Desenho em Corte com a indicação dos principais componentes



Fonte: Modificado de (IMBIL, [21--])

#### 2.4.2 Cavitação

A cavitação é um dos maiores causadores de vibração em uma bomba centrífuga, onde deve-se prestar atenção, pois quando é em excesso, pode ocasionar em sérios danos (BAPTISTA; LARA, 2016).

A cavitação é quando se formam bolhas de vapor e elas sofrem uma implosão entrando em contato com as pás da bomba. Esse fenômeno ocorre quando o fluido em uma determinada temperatura sofre uma queda de pressão e, em seguida, um aumento da mesma,

ou seja, é um processo semelhante ao da fervura, onde o líquido se vaporiza. As consequências mais diretas que esse fenômeno poderá causar serão (BAPTISTA; LARA, 2016):

- Caso as bolhas formadas durante o processo apresentem uma pressão interna superior à externa, as bolhas irão expandir até ocupar toda seção e conseqüentemente interromperá o fluxo de líquido;
- Caso algumas bolhas são levadas pelo fluxo ao interior da bomba, onde a pressão é superior a pressão interna da bolha, poderá implodir e a água que está circulando será impelida para o centro da bolha, causando o que chamamos de golpe de aríete.

As maneiras de identificar cavitação são (BAPTISTA; LARA, 2016):

- Barulho e vibrações causadas pelos colapsos das bolhas;
- Alterações das curvas características provocadas pelo surgimento de bolhas de ar e pela turbulência gerada no fenômeno;
- O material irá se deteriorar no local onde ocorrerá a cavitação

Para identificar a cavitação, é necessário utilizar a equação de Bernoulli onde irá encontrar o NPSH (Net Positive Suction Head) disponível, terá que ser maior que o NPSH requerido, sendo este último dada a fórmula no catálogo da bomba e as curvas características da bomba. Abaixo a fórmula do NPSHd (BAPTISTA; LARA, 2016):

$$NPSHd = \pm H + \frac{P_a - P_v}{\gamma} * 10 - hf \quad (4)$$

$$hf = htub + hconec \quad (5)$$

Caso o fabricante não de a fórmula do NPSHr, pode-se utilizar a seguinte formula:

$$NPSHr = 0,0012 * n^{4/3} * Q^{2/3} \quad (6)$$

Para a bomba não caviar o NPSHd > que o NPSHr, caso contrário a bomba irá caviar (BAPTISTA; LARA, 2016).

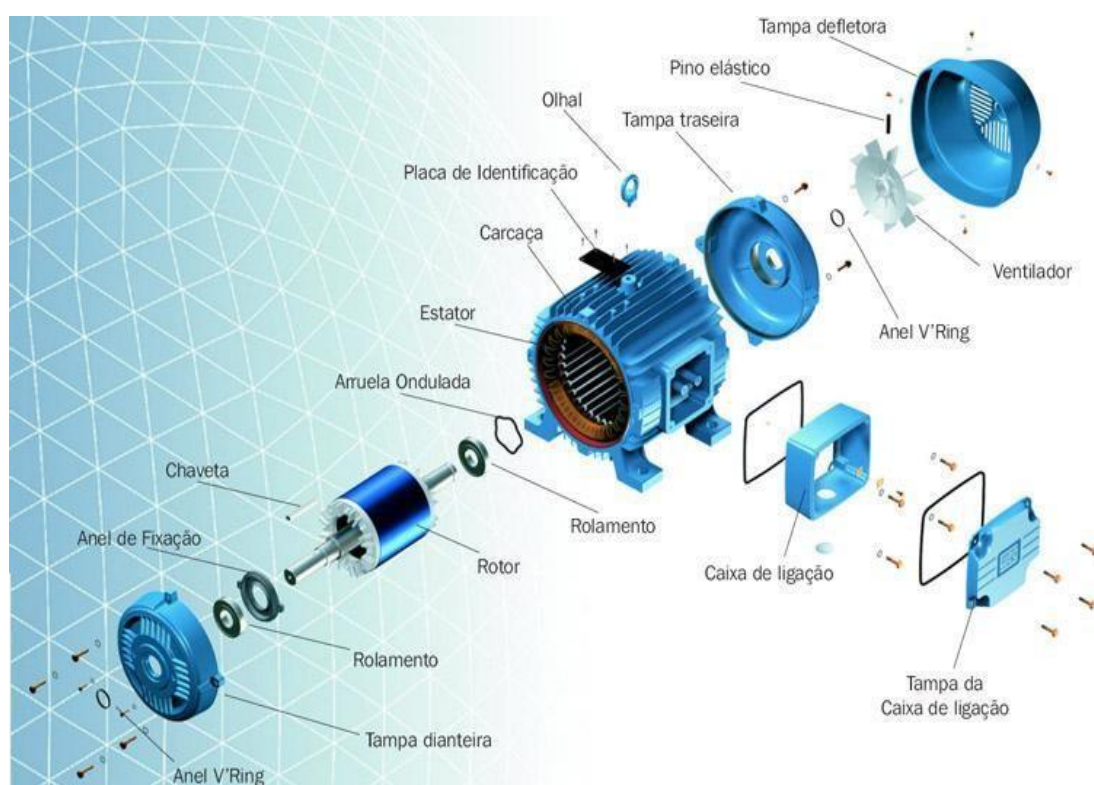
## 2.5 Motor Trifásico

O funcionamento dos motores por indução trifásicos ou MITs é transformar energia



elétrica em energia mecânica motriz. São os mais utilizados no ramo industrial, pois eles têm como pontos positivos sua robustez e baixo custo. Isto porque quando se adquire um motor e é dada manutenção de forma eficiente isso tende a durar vários anos, que faz o custo ser relativamente baixo relacionado ao custo – produção, ou seja esse valor paga-se ao decorrer dos anos (GONGORA, 2013) e (AMARAL, 2014).

**Figura 2:** Componentes de um Motor Trifásico



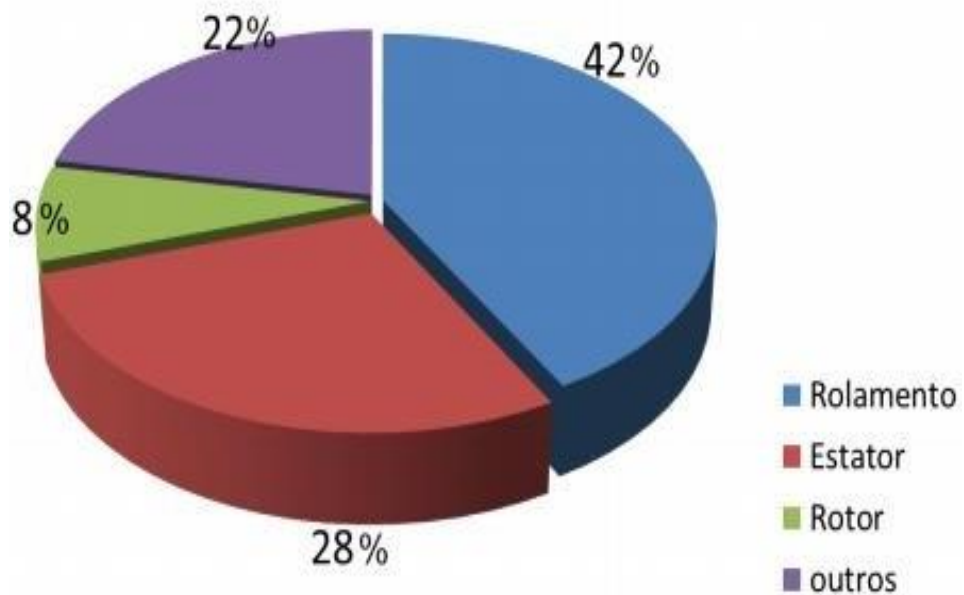
Fonte: Modificado de (AMARAL, 2014)

### **2.5.1 Falhas em Motores de Indução Trifásico (MIT)**

As falhas nos motores são classificadas em dois grupos: falhas elétricas e mecânicas. Segundo (BACCARINI, 2015), por volta de 40% a 50% das falhas são mecânicas originadas por falhas em rolamentos, mancais, dentre outros.

De acordo com o estudo de (KOWALSKI; ORLOWSKA-KOWALSKA, 2003), detectou que os principais componentes que apresentam falhas são os rolamentos com 42%, estator 28%, Rotor 8% e outros componentes 22% como indica o gráfico abaixo:

**Gráfico 1:** Percentual de falhas de cada componente do motor



**Fonte:** Modificado de KOWALSKI; ORLOWSKA – KOWALSKA (2003)

As falhas elétricas ocorrem quando há:

- Fuga de corrente;
- Sobrecarga;
- Curto-circuito;
- Sobretensão.

Digamos que as falhas elétricas podem ser identificadas de uma maneira simples, pois sempre quando a mesma ocorrer, o motor irá parar imediatamente.

As falhas mecânicas correm quando há:

- Desalinhamento;
- Problemas nos mancais;

- Desgaste no acoplamento;
- Falhas em rolamentos.

Existem algumas maneiras de serem identificadas as falhas mecânicas, quando relacionadas a falhas elétricas podemos dizer que ela é mais complexa. O equipamento pode apresentar ruídos e comportamentos anormais mesmo estando em funcionamento, dificultando a identificação de qual componente está a falha. O principal método de detectar falhas mecânicas é a análise de vibração.

## **2.6 Rolamentos**

Foram aderidos à atual forma no final do século XIX. Os rolamentos são componentes mecânicos de extrema importância e são utilizados praticamente em todos os tipos de equipamentos girantes, com função de diminuir o atrito assim reduzindo a perda de energia no ato da rotação (KARDEC E NASIF, 2009 e (NSK, 2019). No decorrer do tempo foram surgindo necessidades de melhorias, assim foram implantados vários modelos de rolamentos, tendo por exemplo, rolamento de esferas, rolos cada um para determinada função que o equipamento exige a fim de possuir uma maior resistência e durabilidade (NSK, 2019).

### **2.6.1 Falha em Rolamentos**

Conforme o tempo de uso do rolamento, ele tende a apresentar desgastes e consequentes falhas. O rolamento vem a apresentar defeitos quando ocorre falta ou excesso de lubrificação, manuseio incorreto, desbalanceamento, alta temperatura, vibrações e montagem incorreta. Pode também ocorrer falha prematura como a fadiga, que provoca escamações na pista do rolamento causando atrito, aderindo o método de prevenção, são realizadas análises periódicas de detecção de falhas para que um rolamento quebrado não venha causar danos maiores em todo o equipamento. (NSK, 2019) e (SKF,2015).

## **2.8 Vibração**

A vibração está sempre presente em equipamentos que possuem deslocamento, ou seja, fora do seu ponto de equilíbrio, causando um movimento oscilatório. Quando há

vibração em excesso, poderá ocorrer falhas no equipamento tais como; desalinhamento, ruído, desgaste, entre outros. Este alto nível de vibração, ocorre quando apresenta defeitos de fabricações, erros de projetos e montagens irregulares (ROCHA, 2014).

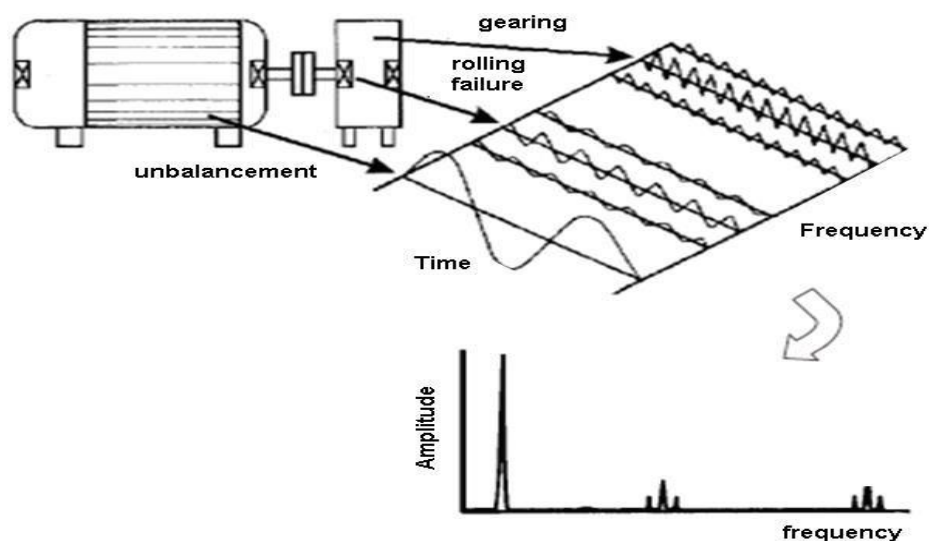
A vibração é definida como um movimento de oscilação em torno de um ponto de partida, e essas oscilações são causadas pelas forças que resultam nos movimentos de oscilações, que são descritos pelo deslocamento, velocidade e aceleração. Em um equipamento gera uma condição de movimentos indesejados em seus componentes podendo ser maléfico para o mesmo. O número total de ciclos de movimentos realizados por segundo no equipamento é denominado frequência (Hz) (CAHYONO; PRIYANTA; RAMADHAN, 2017, Tradução Nossa).

Uma taça de vidro quando exposta a uma certa intensidade de ondas sonoras pode se romper devido ao fenômeno de ressonância. Em um equipamento não será diferente, ele terá uma vibração ideal de funcionamento, sendo essa determinada pelo departamento de projetos. Uma vez excedida, torna-se maléfico ao equipamento e, caso não seja resolvido o problema, poderão ocorrer falhas no maquinário.

Os dados de vibração podem ser captados por meio de acelerômetros e processados por um analisador de sinais, o mesmo pode ser analisado por meio do tempo ou da frequência.

*Fast Fourier Transform (FFT)* que vem de uma derivação de onda no tempo que é apresentada o domínio da frequência. Tal processo é um fenômeno de quebra de sinais vibracionais em componentes do sinal de vibração e plotagem em uma frequência escala. Esse sinal é chamado de espectro de frequência, fornecendo informações valiosas da máquina analisada (GONÇALVES; SILVA,2011).

**Figura 3:** Sinal Vibratório no Domínio da Frequência

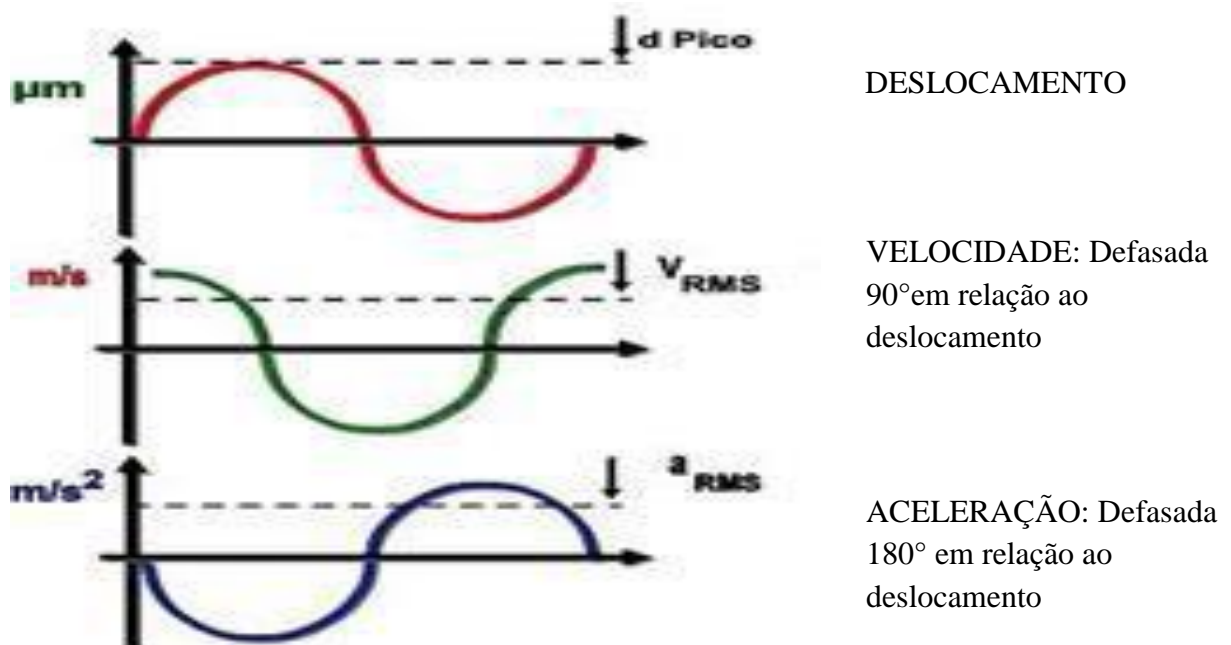


Fonte: Modificado de Gonçalves; Silva (2011)

A partir da análise de vibração é possível tomar decisões mais precisas quanto à necessidade de uma manutenção, assim a máquina estará disponível por um maior tempo, de modo a reduzir custos de manutenção, tempo de parada, estoque de componentes para reposição, e o mais importante, aumentar a segurança do operador. (CAHYONO; PRIYANTA; RAMADHAN, 2017, Traduzido).

No gráfico abaixo, demonstraremos os parâmetros de vibrações:

**Figura 4:** Defasagem dos parâmetros de vibração



Fonte: Modificado de Holanda (2016)

- O deslocamento é medido através do pico a pico, isto é, (do pico mais alto ao pico mais baixo da sonda de deslocamento, unidades utilizadas são microns/s para sistemas unitários imperiais, e utilizado mm/s para sistema de unidade métrica. As medições ocorrem abaixo onda), esta onda de frequência é gerada através de um sensor conhecido como de 10Hz e é dado pela seguinte forma: (KARDEC E NASIF, 2009) e (CAHYONO; PRIYANTA; RAMADHAN, 2017, traduzido).

$$x = A * \text{sen } \omega t \quad (1)$$

- A velocidade mostra a rapidez que o objeto vibra, também mede o nível de sinal da vibração, para alteração do deslocamento e é muito usado para medir as vibrações no

motor. Medições com frequências abaixo de 10Hz e acima de 1000Hz são menos eficientes. Derivando (1) em relação ao tempo, obtemos (2): (KARDEC E NASIF, 2009) e (CAHYONO; PRIYANTA; RAMADHAN, 2017, Traduzido).

$$V = dx/dt = A * \omega * \cos(\omega t) \quad (2)$$

- A aceleração é uma mudança da velocidade do objeto vibratório em relação à força, ou ruptura que gera a vibração, a aceleração máxima ocorre à mudança de direção, quando a vibração atinge o deslocamento máximo e a velocidade zero, para sistemas de unidades imperiais utiliza-se pol/cm<sup>2</sup> e unidades métricas mm/s<sup>2</sup>. Derivando (2) em função do tempo, obtemos (3): (KARDEC E NASIF, 2009) e (CAHYONO; PRIYANTA; RAMADHAN, 2017, Tradução Nossa).

$$a = A * \omega^2 * \sin(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

### **2.7.1 Causas da Vibração nos Componentes**

O eixo causa vibração quando está desalinhado ou desbalanceado e quando o batimento está fora do que o fabricante exige entre 0,00 mm até 0,05 mm. Já o rotor causa vibração quando está desbalanceado e quando as pás estão danificadas. Os rolamentos quando há um superaquecimento, podendo ser pela contaminação do lubrificante ou pela falta de lubrificante, começam a se desgastar e, conseqüentemente, iniciam a geração de vibração.

O processo pode interferir no funcionamento do equipamento, por exemplo, se fechar a válvula de descarga presente ao final da tubulação irá ocasionar um aumento da pressão e a vazão irá diminuir. Este problema irá fazer com que opere de maneira forçada. Ela também começará a vibrar, pelo aumento da força axial e redução da radial. Mas também, quando se abre a válvula demasiadamente, a pressão irá cair e a vazão aumentará, fazendo com que a bomba não trabalhe com sua total eficiência, ocasionando a cavitação devido a diminuição da força axial e aumento da força radial, fazendo com que a mesma entre numa zona de instabilidade.

Assim, esse fenômeno faz com que a bomba apresente vibração.

## **2.8 Métodos Para Análises**

Os métodos são as técnicas utilizadas para coletar e analisar as vibrações do equipamento. São elas:

### **2.8.1 Método Global De Vibração (RMS)**

O nível global de vibração é um monitoramento, que apresenta informações básica da condição de funcionamento do equipamento. É um método simples e rápido, contudo, contém uma grande desvantagem, deixando vulnerável a identificação dos defeitos, pois esse método não gera espectros e é impreciso na identificação com altas frequências. Esta técnica é utilizada para detectar desbalanceamentos, grandes desalinhamentos e eixos tortos. Portanto, esses três problemas causam uma alta vibração no equipamento. Em contrapartida, a identificação de falhas em rolamentos, é quase impossível com esse método, pois em funcionamento apresenta baixo nível de vibração (ANTONIOLLI,1999).

### **2.8.2 Método Envelope**

Na identificação de falhas em rolamentos, o método envelope é o mais ideal a ser utilizado, pois ele faz com que ocorra uma amplificação das vibrações, onde são filtradas com o filtro passa banda (ANTONIOLLI,1999).

No momento da medição, detecta-se exatamente o local onde ocorre há falha e acusa o nível de vibração que o equipamento está sofrendo. Desse modo, deixa-se em alerta a inspeção constante, para monitorar o aumento da vibração até que surja uma oportunidade para realizar a substituição do equipamento (ANTONIOLLI,1999).

Em alguns tipos de máquinas no momento de diagnosticar a falha, é de extrema importância analisar e medir a frequência de repetição da falha de sobre o pico de ressonância, tornando a detecção da falha de maneira mais fácil (ANTONIOLLI,1999).

### **3 ESTUDO DE CASO**

Os dados foram coletados de uma usina fundada há 30 anos que fornece açúcar, etanol e energia elétrica, situada na região da cidade de Ribeirão Preto.

A usina ao seu início a 30 anos atrás não tinha a mesma tecnologia que se encontra atualmente, seus equipamentos eram rústicos, manutenções eram grosseiras, conseqüentemente tinha-se menores produções comparado a hoje.

Com o tempo a mesma foi se inovando, aderindo novas técnicas, uma delas foram os tipos de manutenção que quando inicialmente era apenas corretiva, e preventiva. Com estudos e reuniões juntamente com gestores, decidiram implantar a manutenção preditiva, a mesma esta implantada desde o ano 2012.

Os dados coletados para esse trabalho foram retirados do conjunto motobomba situado no setor da estação de tratamento de água, sua função é enviar água com temperatura ambiente para multijato situado no setor fábrica de açúcar, sua função é liberar a água com alta pressão para a limpeza de impurezas que sobram no processo de fabricação do açúcar.

Para utilizar o plano da manutenção preditiva aplicando a análise de vibração do conjunto motobomba, foi necessário a coleta dos componentes dos equipamentos que poderiam sofrer possíveis falhas devido a vibração, em seguida, foi realizado o levantamento da importância do conjunto para o funcionamento do processo.

Após esse levantamento, identificou-se no conjunto todos os pontos os quais eram utilizados para coletas de dados, baseando-se nas informações de fabricantes e métodos aderidos pela empresa. A partir desse momento, pôde-se aderir parâmetros para a criação e utilização do plano de manutenção preditiva do conjunto motobomba.

#### **3.1 Desenvolvimento do Plano de Manutenção Preditiva**

Para a realização do plano de manutenção preditiva, juntamente com as análises de vibração, foram necessárias quatro etapas:

- Definição dos pontos de análises;



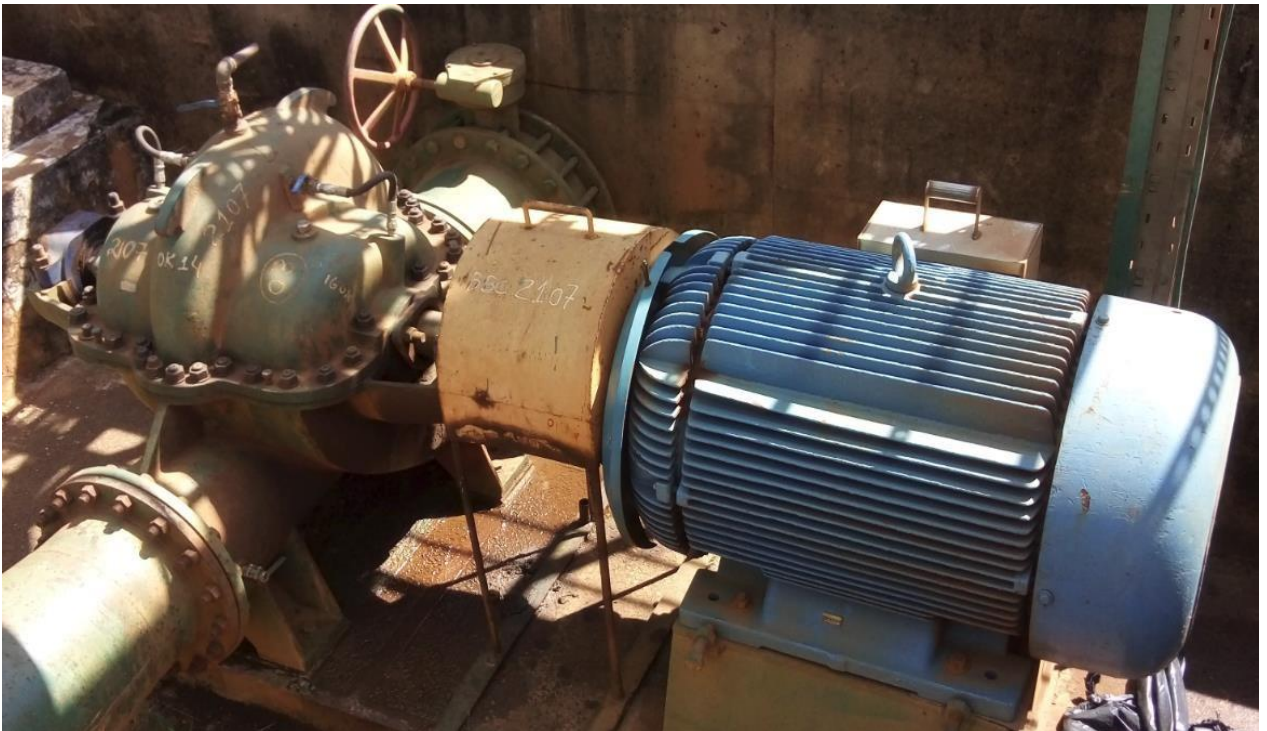
- Realização das análises e coleta de dados;
- Manutenção a partir dos dados obtidos.
- Histórico das manutenções do equipamento antes e depois da empresa aderir a manutenção preditiva.

A prática de cada uma dessas etapas é de grande importância para o desenvolvimento do projeto, pois trata-se de um equipamento de grande essencialidade para o processo produtivo, por esse motivo todo o planejamento e análise deve estar devidamente correto para que não haja possíveis imprevistos durante seu funcionamento.

### 3.2 Equipamento Analisado

O equipamento utilizado para análise deste trabalho é o conjunto motobomba ilustrado na figura 6 do processo de sucção no spray e recalque na evaporação. A ficha técnica do motor e bomba está descrito nas tabelas 1 e 2 respectivamente.

**Figura 5:** Conjunto Motobomba



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

**Tabela 1:** Ficha Técnica do motor

CARACTERISTICA	DADOS
Fabricante	WEG
Modelo	355 M/L
Potência (CV)	450
Nº Polos	4
Rotação (RPM)	1785
Tensão (V)	440
Corrente de Operação (A)	510
Índice de Proteção	55

Fonte: (WEG, [21--])

**Tabela 2:** Ficha Técnica da Bomba Centrífuga

CARACTERISTICA	DADOS
Fabricante	IMBIL
Nº Série	295542
Modelo	BP 400 – 440 B
Fluido	Água
Vazão da Bomba (m <sup>3</sup> /h)	2100
Altura Manométrica (mca)	42
Rendimento (%)	84
Diâmetro do Rotor (mm)	380
Tipo de Rotor	Fechado
Material do Rotor	Aço Inox
Material do Corpo	FOFO
Potência Consumida (CV)	389
Acoplamento	Falk T
Rolamento (LA)	NU 316 C3
Rolamento (LOA)	6316 C3
Material do Eixo	Aço Inox
Potência do Motor (CV)	450
Rotação do Motor (RPM)	1785

Fonte: (IMBIL, [21--])

### 3.3 Pontos de Coletas de Dados e Intervalos

Na usina situada na região de Ribeirão Preto por volta de 90% dos equipamentos são monitorados por análise de vibração. Para determinar a frequência que irá coletar os dados são definidos pela criticidade com que este equipamento apresenta ao processo. Esta criticidade é classificada em:

- Alta: coleta com intervalo de 15 dias;
- Média: coleta com intervalo de 30 dias;
- Baixa: coleta com intervalo de 60 dias.

Para o equipamento estudado a criticidade é média, ou seja, a coleta é realizada de 30 em 30 dias. São realizadas durante o ano cerca de 9 medições.

Os pontos de coletas são mostrados abaixo:

**Figura 6:** Pontos de coletas dos dados no motor e bomba



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

No motor, os pontos de coletas são no lado acionado (LA) e lado oposto acionado (LOA). No Lado oposto acionado, o ponto 1H indica que a coleta é feita no eixo horizontal. O ponto 1V a coleta é feita no eixo vertical, ou seja, a força radial. Os pontos 2H e 2V são coletados da mesma forma do LOA, o que se diferencia é o fato de é a existência de um ponto de coleta 2A, ou seja, o diferencial de 1 para 2 reside em que na região 1 há a coleta de dados no rolamento LOA, e na região 2 há a coleta dados do rolamento LA.

Na bomba as coletas são realizadas nos dois mancais como mostra a figura acima, pontos 3 e 4. Os pontos de medições são os mesmos do motor tanto o LA quanto o LOA.

### 3.4 Medidor de Vibrações

O coletor e analisador de vibrações é da marca TEKNIKAO modelo NK820, este aparelho possui dois canais para acelerômetros e comunicação USB para PC ou notebook. O sistema é gerenciado pelo software sistema digital de análise de vibrações (SDAV), que realizam registros em formas de ondas e espectros de frequência, com comandos manuais, automáticos e/ou através de alarmes, com formações de gráficos de tendências dos níveis (RMS e valor de picos) de vibrações.

**Figura 7:** Aparelho usado para coletar os dados



Fonte: Elaborado pelos Autores (2019)

**Figura 8:** Ficha Técnica do aparelho medidor de vibração

<p><b>PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação por USB;</li> <li>• Duas entradas para acelerômetro e/ou outros sensores dinâmicos;</li> <li>• Conversor analógico-digital de 12 bits;</li> <li>• Controle automático de ganhos "auto-range";</li> <li>• Capacidade para configuração independente de cada canal para aquisição de sinais de velocidade, aceleração e envelope da aceleração do movimento vibratório;</li> <li>• Espectros de frequências com precisão menor que 0,01% em oito faixas de 0,5 Hz a 10 kHz;</li> <li>• Espectros com resolução de 2k, 4k, 8k e 16k linhas;</li> <li>• Cursor simples e duplo, com harmônicas e localizador da amplitude máxima e frequência central de componentes do espectro;</li> <li>• Apresentação rápida dos registros de sinais, espectros e gráficos de tendência e exportação dos dados para planilhas eletrônicas;</li> <li>• Software licenciado, sem limites de cópias.</li> <li>• Conjunto montado em caixa ABS com 150 x 85 x 30 mm;</li> <li>• Alimentação via USB;</li> <li>• Sensor Óptico com precisão menor que 0,1% (cabo de 3 metros);</li> <li>• Base Magnética para o Sensor Óptico.</li> </ul> <p>Obs.: Deverá ser utilizado simultaneamente com seu próprio notebook/Laptop ou PC comum.</p>	<div data-bbox="922 1361 1252 1585" style="text-align: center;"> <p>NK820 com Tablet</p> </div> <p><b>FUNÇÃO BALANCEAMENTO DINÂMICO 1 E 2 PLANOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a correção do desbalanceamento de elementos girantes;</li> <li>• Balanceamento em 01 ou 02 planos de simetria;</li> <li>• Resultados em gramas, gramas/mm e ISO 1940;</li> <li>• Emissão de relatórios personalizados.</li> </ul> <div data-bbox="986 1953 1351 1998" style="text-align: right;"> </div>
---	--

Fonte: (TEKNIKAO, 2017)

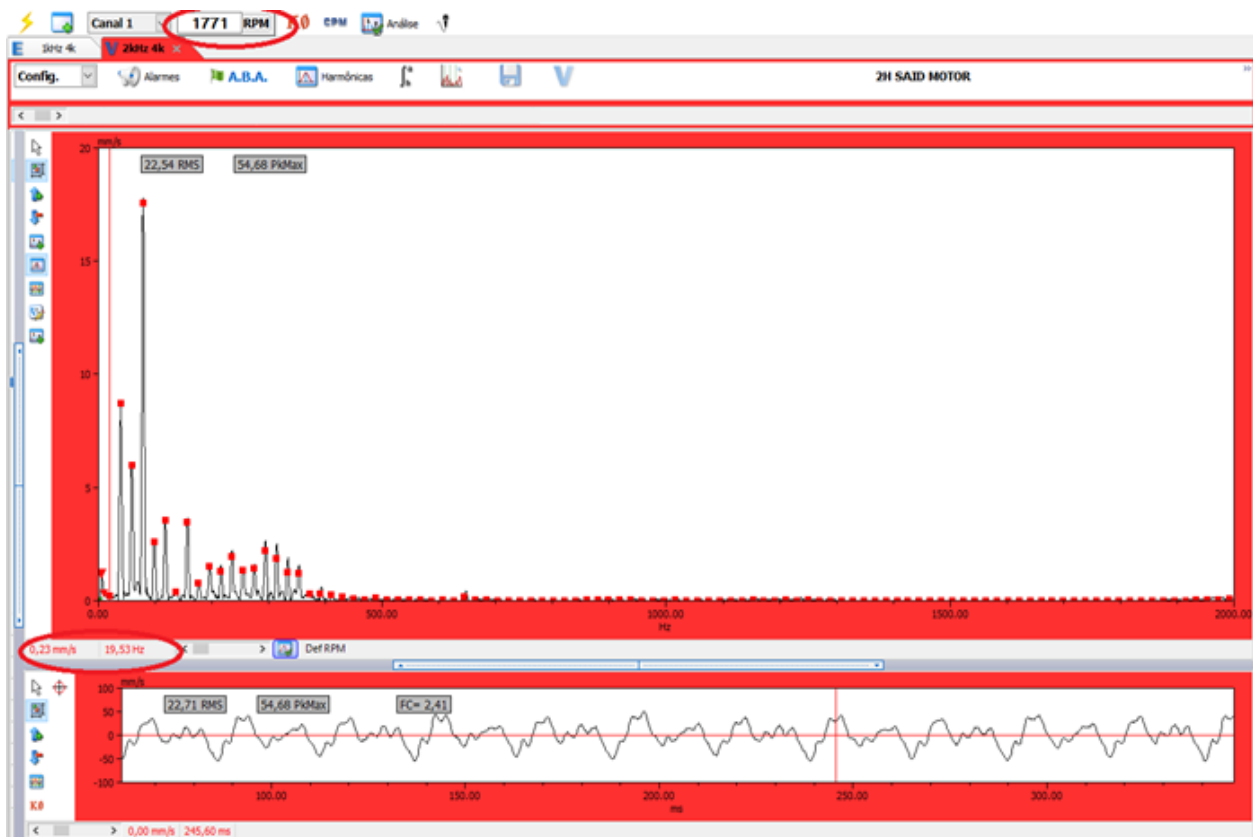
### 3.5 Análise de Resultados E Discussões

Foram coletados os dados no conjunto moto bomba no dia 18/04/2019, após a coleta foi utilizado o software SDAV para gerar os espectros e o conjunto obteve as falhas mostrados abaixo.

#### 3.5.2 Folgas Mecânicas

O espectro da Figura 9 foi coletado no ponto 2H da saída do motor com 1771 RPM e frequência 19,53 HZ. Obteve neste espectro um RMS de 22,53 e um Pkmáx de 54,68. Analisando o espectro, detectou-se a presença de folgas mecânicas no acoplamento, pois os picos estão frequentes, mas não adotam um padrão, ou seja, estão oscilando a amplitude.

**Figura 9:** Espectro de Folgas Mecânicas

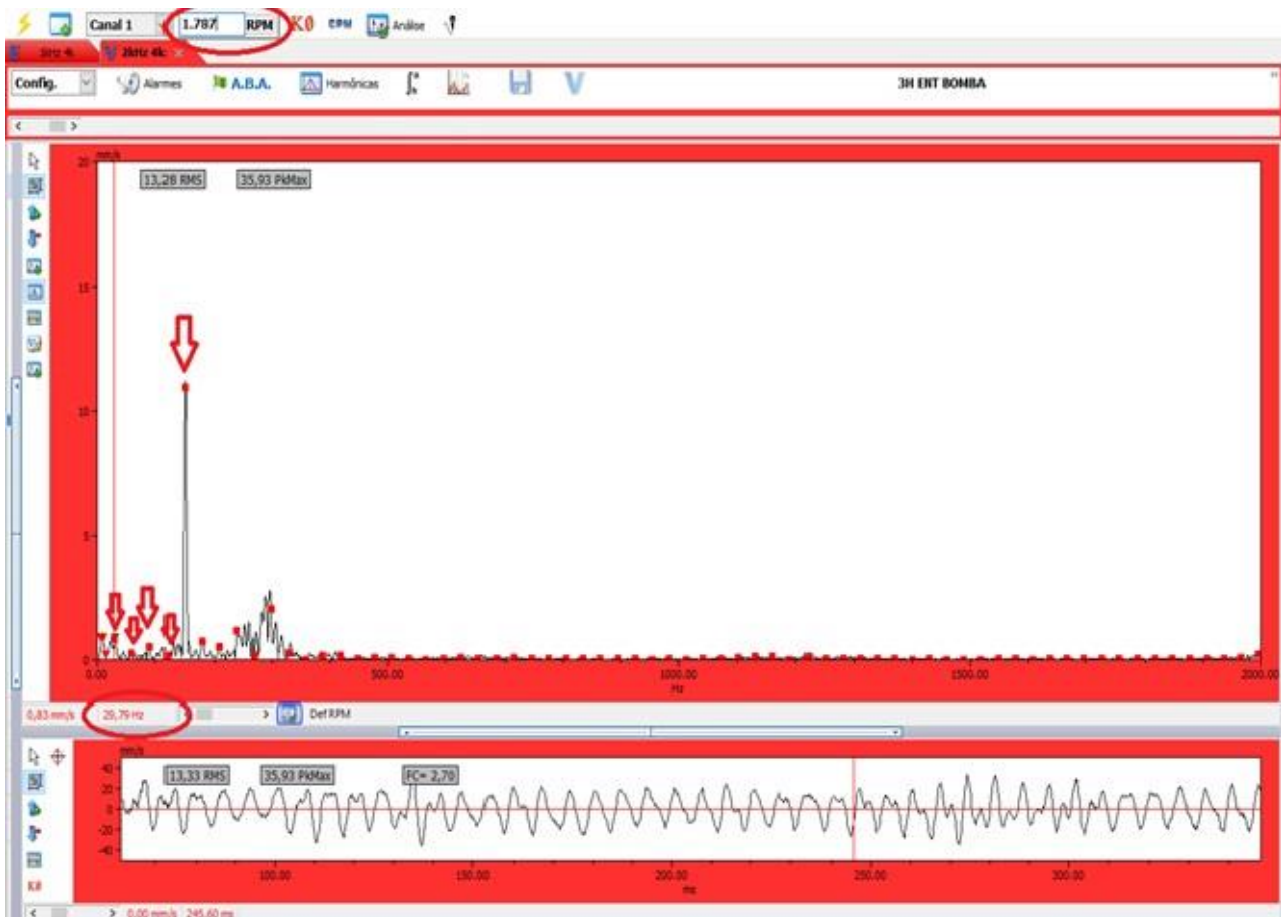


**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

### 3.5.2 Cavitação

No espectro abaixo da Figura 10 foram coletados os valores no ponto 3H do eixo de entrada da bomba com 1787 RPM e frequência de 29,79 Hz. A cavitação é de fácil identificação, pois como observamos no espectro abaixo, ele contém apenas um pico fora de seu padrão. Esse problema ocorre quando o nível do reservatório está abaixo do normal, pressão da linha de sucção e recalque se apresenta baixa e quando a bomba está trabalhando fora da curva. O rotor possui 5 aletas e a cavitação foi detectada na última.

**Figura 10:** Espectro de Cavitação



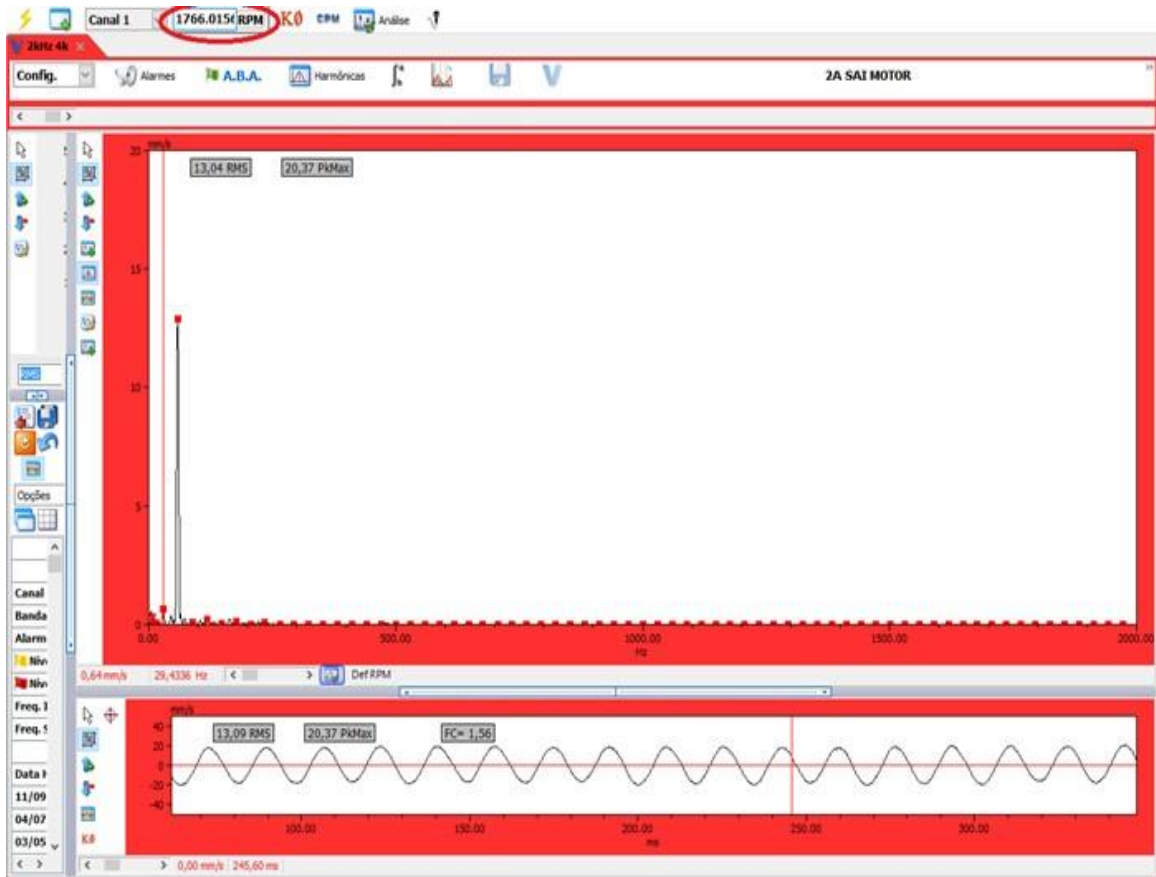
**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

### 3.5.3 Desalinhamento

O desalinhamento mostrado na Figura 11 foi coletado no ponto 2A da saída do motor com um 1766 RPM e frequência de 29,43 Hz. Analisando o espectro abaixo encontra-se o segundo pico extremamente fora de padrão, que é onde detecta-se o desalinhamento, este tipo

de falha ocorre no conjunto motobomba na região do acoplamento.

**Figura 11:** Espectro de Desalinhamento

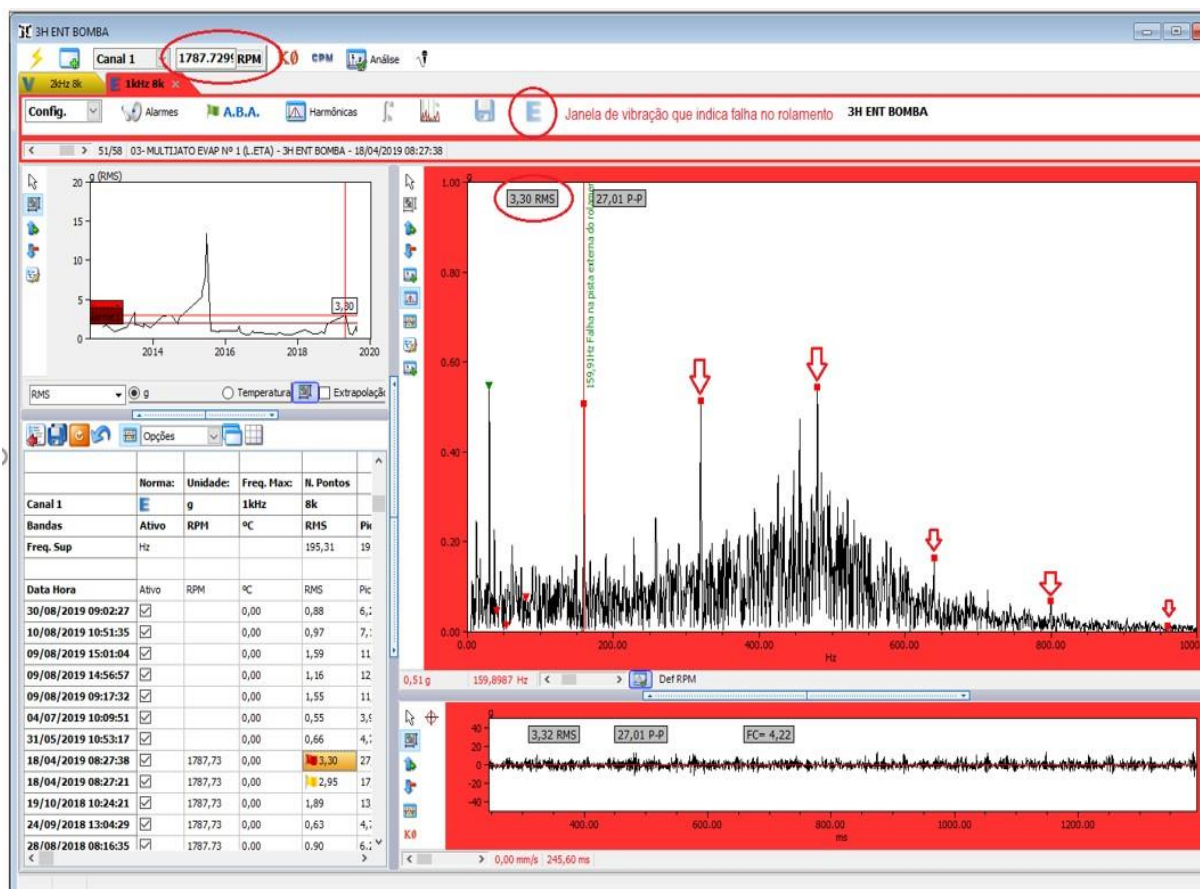


**Fonte:** Elaborados pelos Autores (2019)

### 3.5.4 Falha em Rolamento

Assim como demonstramos na Figura 12, falha em rolamentos é identificada quando detecta-se no espectro vários picos consideravelmente maiores que os demais, quando trata-se de falha em rolamentos, devemos ter um certo cuidado referente a análise, pois pode-se haver, falha na pista interna, pista externa, gaiola e elementos rolantes. Dados coletados de um motor funcionando a 1787 RPM com frequência de 3,3 RMS

**Figura 12:** Espectro de Falhas em Rolamentos



**Fontes:** Elaborado pelos Autores (2019)

### 3.6 Procedimentos Após a Detecção da Falha

Após a coleta, os dados são transferidos ao software SDAV aonde irá gerar espectros (gráficos) que indicam qual componente está ocorrendo a falha. A partir deste momento o colaborador irá analisar sua criticidade, comparando o resultado obtido com o histórico de medições anteriores. Logo em seguida é gerada uma ordem de serviço (O.S), solicitando um técnico para verificar o componente que apresente falha. Não deixando com que o equipamento venha parar o seu funcionamento de forma repentina. Se preciso o mesmo é encaminhado para reparo.

### 3.7 Histórico de Coletas

Demonstraremos a seguir todas as falhas ocorridas antes e depois de adotar a manutenção preditiva, iremos comparar também a quantidade de manutenções ocorridas



quando se realiza manutenção – corretiva e preventiva.

Lembrando que, ainda há manutenção corretiva para equipamentos que possuem baixo custo e uma menor criticidade.

### **3.7.1 Coletas Antes da Manutenção Preditiva**

**Tabela 3:** - Quantidade de OS” de reparos do motor entre 01/01/2000 até 31/12/2011

<b>Tipo Manutenção</b>	<b>Quantidade de OS”</b>
Corretiva Emergência	22

Elaborado pelos Autores (2019)

**Tabela 4:** Quantidade de OS” de reparos da bomba entre 01/01/2000 até 31/12/2011

<b>Tipo Manutenção</b>	<b>Quantidade de OS”</b>
Corretiva Emergência	20

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

### **3.7.2 Coletas Realizadas Após a Manutenção Preditiva Implantada**

Ao comparar o conjunto motobomba atual com seu histórico anterior, reparamos que quando praticava-se manutenção preventiva e corretiva havia mais ordens de serviços abertas quando relacionado com a coleta pós-preditiva. Encontra-se

**Tabela 5:** Quantidade de OS” de reparos do motor entre 01/01/2012 até 07/11/2019

<b>Tipo Manutenção</b>	<b>Quantidade de OS”</b>
Corretiva Emergência	9
Preditiva	2
Preventiva	7

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

**Tabela 6:** Quantidade de OS” de reparos da bomba entre 01/01/2012 até 07/11/2019

<b>Tipo Manutenção</b>	<b>Quantidade de OS”</b>
Corretiva Emergência	9
Preditiva	2
Preventiva	7

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

### 3.7.3. Demonstrativo de Redução De Reparos

**Tabela 7:** Redução dos números de OS” em motores

<b>MOTOR</b>			
<b>Manutenção</b>	<b>N ° OS” 2000-2011</b>	<b>N° OS” 2012-2019</b>	<b>Redução de Reparos (%)</b>
Corretiva Emergência	22	9	59%
Preventiva	0	7	Não há dados anteriores para comparar
Preditiva	0	2	Não há dados anteriores para comparar
<b>Total de OS”</b>	22	18	18%

**Fonte:** Elaborado pelo Autores (2019)

**Tabela 8:** Redução dos números de OS” em bombas

<b>BOMBA</b>			
<b>Manutenção</b>	<b>N ° OS” 2000-2011</b>	<b>N° OS” 2012-2019</b>	<b>Redução de Reparos (%)</b>
Corretiva Emergência	20	9	55%
Preventiva	0	7	Não há dados anteriores para comparar
Preditiva	0	2	Não há dados anteriores para comparar
<b>Total de OS”</b>	20	18	10%

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2019)

Percebe-se que após a implantação da manutenção preditiva no ano de 2012, tanto para o motor quanto para a bomba, reduziu-se o número de OS” de manutenção corretiva de emergência. Os componentes nos quais eram julgados como críticos, passaram a serem monitorados periodicamente, ou seja, houve um aumento na confiabilidade dos equipamentos, conseqüentemente reduzindo gastos desnecessários com reparos.

## 4 CONCLUSÃO

De acordo com o presente trabalho, fica claro a importância da utilização da manutenção preditiva em uma empresa, pois com ela pode-se prever uma falha em um devido equipamento, permitindo a programação de uma próxima manutenção, não deixando que o equipamento venha causar paradas na produção, evitando também manutenções indevidas.

Conforme a quantidade de ordens de serviços abertas, no intervalo de 2000 a 2019, encontra-se uma redução de reparos e aumento na confiabilidade dos equipamentos.

Apesar de muitas empresas não verem a manutenção preditiva como uma vantagem e sim como um gasto desnecessário, este método vem cada vez mais sendo implantado nas técnicas de manutenção.

A manutenção tem por objetivo verificar o equipamento durante toda sua vida útil, a fim de evitar possíveis problemas inesperados, tendo como necessidade de inspeção e calibrações constantes e não apenas quando o equipamento venha parar de funcionar.

Repara-se também que várias indústrias enfrentam alguns problemas relacionado a funcionários, uma vez que existem contratados de longa data. Por esse motivo não há a adequação geral a novas tecnologias por falta de experiência ou especialização, no entanto, vem sendo realizada a prática de treinamento no intuito de sanar todos esses problemas. Por conseguinte, pode-se, desse modo, padronizar a prática laboral, fazendo com que todos os planejamentos, técnicas e habilidades se adequem à demanda.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, B.A.M. **Diagnóstico de avarias em motores elétricos**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3322/2/Dissertação.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2019.
- ANDREUCCI, R. **Líquidos Penetrantes**. S.I.: S.N. 2013.
- ANTONIOLLI, E.B. **Estudo Comparativo de Técnicas de Medição e Análise de Vibração para a Manutenção Preditiva em Mancais de Rolamentos**. 1999. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81086>>. Acesso em: 15 out. 2019.
- BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 4. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2016. 462 p. (978-85-423-0189-2).
- BACCARINI, L. M. R. Detecção e Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução. 207 p. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2005.
- CAHYONO, B.; PRIYANTA, D.; RAMADHAN, F. Vibration spectrum Analysis for indicating damage on turbine and steam generator amurang unit. **International Journal of marine engineering innovation and research**, Vol 2 (1), p 51-58, 2017 ISSN: 2541-515972. DOI: 10.12962/j25481479.v2i1.2688. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322081021\\_Vibration\\_Spectrum\\_Analysis\\_for\\_Indicating\\_Damage\\_on\\_Turbine\\_and\\_Steam\\_Generator\\_Amurang\\_Unit\\_1](https://www.researchgate.net/publication/322081021_Vibration_Spectrum_Analysis_for_Indicating_Damage_on_Turbine_and_Steam_Generator_Amurang_Unit_1). Acessado em: 02 maio 2019.
- ELETROBRÁS et al. **Bombas: Guia Básico**. Brasília: Núcleo Central, 2009. 239 p. (978-85-87257-32-1).Disponívelem:<<https://bucket-gw-cni-static-cms.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Bombas.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2019
- ELSAYED, E. **System reliability engineering**. Reading, Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1996.
- FRITSCH, C.; RIBEIRO, J. ProConf: um software orientado para análises de confiabilidade. In: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998. Anais... Rio de Janeiro: 1998.
- GONÇALVES, A.C.; SILVA, J.B.C. Predictive maintenance of a reducer with contaminated oil under an excentrical load through vibration and oil analysis. **Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.1-7, mar. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-58782011000100001>. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbsmse/v33n1/01.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2018

GONGORA, W.S. **Uma Abordagem Neural no Diagnóstico de Falhas em Rolamentos de Motores de Indução Trifásicos**. 2013. 95 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/782>>. Acesso em: 02 set. 2019

HOLANDA, S. **Aplicação da Manutenção Preditiva por Análise de Vibrações em Equipamentos de Trens Urbanos com Plano de Manutenção Proposto**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016. p. 16-42

IMBIL. **Manual de instalação, operação e manutenção**. [21--]. IMBIL. Disponível em: <[http://imbil.com.br/Imbil/Portugues/Upload/Manuais/M\\_BP\\_web.pdf](http://imbil.com.br/Imbil/Portugues/Upload/Manuais/M_BP_web.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2019.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 361 p.

KOWALSKI, C. T.; ORLOWSKA-KOWALSKA, T. Neural networks application for induction motor faults diagnosis. *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 63, n. 3-5, p. 435–448, 2003.

MENGUE, D.C.; SELLITTO, M.A. Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.759-783, 9 jun. 2013. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v13i2.1341>. Disponível em: Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1341/1032>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

NEPOMUCENO, L.X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo: Blucher, 2014. 501 p

NSK. **Catálogo geral**. Disponível em <http://www.nsk.com.br/o-que-e-um-rolamento-152.htm>. Acesso em 12 set. 2018, 20:00h.

PEREIRA, M.J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011. 228 p.

**PROCONF: Um Software Orientado para Análises de Confiabilidade**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998. 8p. **ANAIS DO ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ENEGEP**, 3., 1998, Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998\\_ART234.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART234.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2019

ROCHA, D.L. **Análise de Vibrações em Equipamentos Rotativos de uma Indústria Alimentícia**. 2014. 130 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Instituto Federal, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Coytacazes, 2014.

SKF. **Catálogo geral**. Disponível em [http://www.skf.com/binary/82-121486/10000\\_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf](http://www.skf.com/binary/82-121486/10000_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf). Acesso em 12 set. 2018, 20:30h.

SILVA, J.M. da. **Elaboração e Implementação de Um Plano de Manutenção Preditiva de Compressor de Ar em uma Empresa Têxtil do Rio Grande do Norte**. 2018. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN., 2018. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/8272/1/TCC%20repositório-merged.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2019

TEKNIKAO. **Catálogo Técnico**. 2017. Teknikao. Disponível em: <<http://www.teknikao.com.br/sdav>>. Acesso em: 03 out. 2019.

WEG. **Seleção de motores elétricos**. [21--]. WEB. Disponível em: <[http://ecatalog.weg.net/TEC\\_CAT/tech\\_motor\\_dat\\_web.asp](http://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_dat_web.asp)>. Acesso em: 02 jul. 2019.

XENOS, H. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade**. 2. ed. Belo Horizonte: Falconi, 2014. 312 p.