



Daniel Henrique Belter

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM
SISTEMAS MECÂNICOS**

Horizontina-RS

2020

Daniel Henrique Belter

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM
SISTEMAS MECÂNICOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina, sob orientação do professor Paulo Marcos Flores, Me.

Horizontina-RS

2020

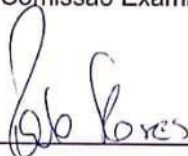
**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de
curso
DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
EM SISTEMAS MECÂNICOS**

**Elaborada por:
Daniel Henrique Belter**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 04/12/2020
Pela Comissão Examinadora

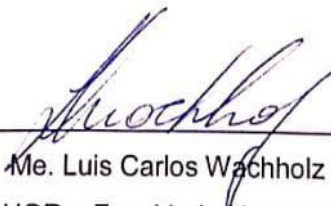


Me. Paulo Marcos Flores

Presidente da Comissão Examinadora – Orientador



Me. Francine Centenaro Gomes
FAHOR – Faculdade Horizontina



Me. Luis Carlos Wachholz
FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS

2020

Aos meus pais que me deram todo apoio e aporte necessário para a conclusão de mais esta etapa. Também a dedicação aos amigos e colegas que me apoiaram e acreditaram em mim.

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sempre me guiar para as melhores escolhas. A minha mãe Mareli, meu pai Wilson e meu irmão Arthur que sempre acreditaram em mim e sempre dando o apoio necessário e incentivando nos momentos difíceis.

A minha namorada Patricia que foi meu alicerce em todas as horas.

Ao professor Paulo Flores pela dedicação, pelas sábias palavras e o compartilhamento de conhecimento.

“Não creias impossível o que apenas improvável
pareça.” (William Shakespeare)

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma bancada didática para o processamento, de forma digital, sinais de vibração em tempo real. A bancada composta por um motor elétrico, um eixo apoiado em mancais e que contém disco metálico onde pode-se acrescentar pesos e assim forçar o desbalanceamento e oscilações do sistema mecânico. A utilização de bancadas didáticas que permitem a visualização de sistemas em condições reais de funcionamento são ferramentas importantes para aprendizado e aplicação dos conceitos que são passados em sala de aula. O sistema da bancada permite realizar simulações simples de desbalanceamento e falhas nos rolamentos para que possa simular as condições mais reais possíveis. A análise de vibração é um dos mais eficazes métodos para identificar defeitos em máquinas rotativas, realizando medições regularmente para verificação das condições do equipamento e assim pretendendo evitar paradas não programadas em equipamentos. Assim, esse trabalho sugere que, sempre que possível e o professor julgar pedagogicamente eficaz, o uso da bancada mesclando a teoria com a prática, e assim apresentando-se como uma ferramenta simples, mas eficiente para realização de ensaios e fazer a comparação com os resultados previstos pela literatura. Com o objetivo de construir uma bancada didática para análise de vibração com base em uma metodologia experimental, coletando dados e construindo hipóteses para que após os testes realizados é possível validar ou descartar as hipóteses e melhorando para que se tenha sempre os resultados mais precisos. Por final é possível concluir que os resultados obtidos são satisfatórios alcançando todos os objetivos propostos e concluindo que sim, a vibração é capaz de prejudicar o desempenho do equipamento com a possibilidade de falha em todo conjunto por excesso de vibração.

Palavras-chave: Análise de vibração, bancada, desbalanceamento.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Relação de falhas e o tempo.....	22
Figura 2 – Coletor de vibração	24
Figura 3 – Distância entre o centro de gravidade e o centro de rotação.....	26
Figura 4 – Massa deslocada com ângulos de 180°.....	26
Figura 5 – Desalinhamento de eixos em dois planos imaginários, horizontal e vertical.....	27
Figura 6 – Desalinhamentos paralelos.....	27
Figura 7 – Desalinhamentos angulares.....	28
Figura 8 – Desalinhamento misto.....	28
Figura 9 – Classes de equipamentos segundo a ISO 10816.....	29
Figura 10 – Gráfico tempo x nível de vibração.....	31
Figura 11 – Fator de crista.....	32
Figura 12 – Forma de onda senoidal no tempo.....	33
Figura 13 – Onda no tempo com diferentes leituras de amplitude.....	34
Figura 14 – Sinal de vibração por ser avistado através do domínio do tempo e da frequência.....	35
Figura 15 – Exemplo de uma forma de onda, com o sinal variando com o tempo.....	35
Figura 16 – Carga axial.....	36
Figura 17 – Carga radial.....	36
Figura 18 – Modos de lubrificação.....	38
Figura 19 – Valores para cálculo de defeitos.....	42
Figura 20 – Protótipo completo com vista isométrica.....	46
Figura 21 – Base da bancada.....	47
Figura 22 – Disco de desbalanceamento.....	48
Figura 23 – Bancada finalizada.....	48
Figura 24 – Sensor de vibração.....	49
Figura 25 – Arduíno UNO.....	50
Figura 26 – Programação para Arduíno.....	50
Figura 27 – Defeito alterando a forma de vibração do equipamento.....	52
Figura 28 – Teste inicial para frequência x tempo.....	53
Figura 29 – Sinal de vibração obtido sem nenhuma massa de desbalanceamento...	54
Figura 30 – Rolamento com desgaste sem massa de desbalanceamento.....	55
Figura 31 – Disco de desbalanceamento com uma massa.....	56

Figura 32 – Sinal de vibração obtido com uma massa de desbalanceamento.....	57
Figura 33 – Sinal de vibração com uma massa de desbalanceamento com rolamento com desgaste.....	57
Figura 34 – Disco de desbalanceamento com duas massas a 30° uma da outra.....	58
Figura 35 – Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 30°.	59
Figura 36 – Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 30° com rolamento com desgaste.....	59
Figura 37 – Disco de desbalanceamento com duas massas a 90° uma da outra.....	60
Figura 38 – Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 90°.	60
Figura 39 – Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 90° com rolamento com desgaste.....	61
Figura 40 – Vibração na bancada após algumas horas em funcionamento.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de componentes comprados para a bancada	63
Tabela 2 – Detalhamento de peças e conjuntos.....	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEMA.....	15
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.3 HIPÓTESES.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 Objetivo geral.....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 VIBRAÇÕES MECÂNICAS.....	19
2.2 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO.....	19
2.2.1 Preventiva.....	19
2.2.2 Corretiva.....	20
2.2.3 Preditiva.....	21
2.3 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO.....	23
2.4 DEFEITOS EM SISTEMAS MECÂNICOS.....	24
2.4.1 Desbalanceamento.....	24
2.4.2 Desalinhamento.....	26
2.5 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO.....	28
2.5.1 Nível global de vibrações.....	29
2.5.2 Fator de crista.....	31
2.5.3 Ondas mecânicas.....	32
2.6 ROLAMENTOS.....	35
2.6.1 Tipos de rolamentos.....	36
2.6.2 Defeito em rolamento.....	36
2.6.3 Manutenção do rolamento.....	37
2.6.4 Inspeções e ações corretivas.....	37
2.6.5 Inspeções do rolamento.....	39
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	43
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	44
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
4.1 MODELAMENTO DO PROJETO.....	45
4.1.1 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA.....	45
4.1.2 FUNCIONAMENTO DA BANCADA.....	49
4.1.3 RECURSOS NECESSÁRIOS.....	51
4.2 RESULTADO DOS TESTES.....	51
4.2.1 DESBALANCEAMENTO FORÇADO.....	52
4.3 AQUISIÇÃO DE PEÇAS.....	62
4.3.1 ITENS COMPRADOS.....	62
CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DO PROJETO.....	70

INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste em projetar e desenvolver uma bancada didática para realização de testes para um sistema mecânico que será exposto a vibrações forçadas. Segundo Silva (2009), tais vibrações podem ser especificadas como cada período de um movimento oscilatório de uma partícula qualquer, sistemas de partículas ou corpos rígidos ao redor de uma posição de equilíbrio.

Em sistemas mecânicos, o excesso de vibração pode ocasionar deterioração prematura de componentes e desestabilizar esse sistema, tornando-se necessário minimizar ou até mesmo prever qual nível de vibração é suportável (RAO, 2009).

Dentre várias tecnologias para a amostragem de problemas, a análise de vibração tem um importante papel para diagnosticar os sintomas destes problemas, que levam diretamente a falhas em equipamentos e defeitos por exemplo rolamentos, e então podemos realizar a leitura e prever uma possível falha evitando assim uma quebra no sistema por completo

Para isso, será realizado a montagem de um sistema mecânico simples, interligado diretamente a uma placa de Arduino e um sensor capaz de mensurar tal vibração e gerar gráficos da frequência apresentada pelo sistema em um determinado tempo. Com essa geração de gráficos, espera-se traçar com o decorrer do tempo um expoente para a deterioração dos componentes ligados ao sistema.

WFER (2014) cita que o movimento vibratório de um sistema é o resultado das forças dinâmicas que a excitam. Essa vibração se propaga por todo o conjunto ligado a máquina, bem como para as estruturas interligadas a ela. Geralmente uma máquina vibra em várias frequências e amplitudes correspondentes. Os efeitos vibração severa são o desgaste e a fadiga, que certamente é uma das principais causas de quebras definitivas dos equipamentos.

Tendo em vista a criação de sistema simples, mas que permita que estudantes deste assunto tem maior conhecimento da vibração, e a partir de análises gráficas perceber que esta vibração acima do normal pode gerar possíveis paradas desnecessárias em equipamentos.

A análise de vibração é uma das manutenções mais importantes dentro do setor industrial pois tem como uma das principais funções a redução do custo de manutenção por previsão de possível falha, aumento da vida útil do equipamento por

estar realizando acompanhamento, reduzir paradas de fábrica por uma falha, entre outros.

1.1 TEMA

No desenvolvimento deste trabalho o foco principal é elaborar uma bancada didática contendo diferentes elementos mecânicos, para realização de testes e coletas das análises de vibração.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Um dos problemas principais encontrados nas indústrias nos dias de hoje, é a ausência de regularidade nas medições de vibração. Essas medições são importantes em setores como o da manutenção, por detectarem possíveis falhas futuras nos equipamentos. O fato dos instrumentos de coleta serem de alto custo e os equipamentos serem muitos, faz com que essas coletas se tornem menos periódicas e conseqüentemente, por vezes, dificulte a prévia detecção do problema, e fazendo assim com que os equipamentos sofram danos maiores, e assim cause grandes prejuízos.

Uma das dificuldades que podemos identificar no presente projeto é o curto espaço de tempo que será destinado aos testes e melhorias do projeto, visto que são análises e necessitam ser realizadas com muita cautela e em diversas situações, para só então serem postas em prática.

O problema que é causado pela vibração mecânica é uma das causas para que o desempenho do equipamento seja menor, pois existem anomalias no sistema que não são normais no processo. As vibrações não tratadas corretamente podem aumentar o desgaste do equipamento e como exemplo podemos citar que um rolamento que não esteja em perfeito estado de conservação ou em bom estado pode causar avarias maiores ao equipamento e conjunto ligado a ele. Uma das conseqüências deste problema é o consumo excessivo de energia elétrica, pois a sobrecarga que o equipamento sofrerá não é normal com o trabalho que a ele é imposto e assim, pela anomalia sofrida, pode-se influenciar diretamente na qualidade e integridade do produto final.

Baseado no que foi exposto, o problema de pesquisa caracteriza-se com a seguinte pergunta: É possível desenvolver uma bancada de baixo custo para

simulação de perturbações ao conjunto mecânico e coletar dados utilizando uma placa de Arduino e um sensor capaz de mensurar as vibrações apresentadas pelo sistema?

1.3 HIPÓTESES

Hipóteses refere-se a possíveis soluções do problema apresentado, estudando os mesmos e colocando em prática para comprovar as possíveis hipóteses e verificar a melhor opção.

Focados no problema exposto anteriormente, propõe-se como hipótese para este trabalho:

a) A utilização de equipamento que proporcione a coleta frequente de dados para que se possa prever precocemente possíveis danos no equipamento estudado nesse projeto.

Essas situações forçadas são exatamente para simular uma real situação no chão de fábrica. Aumentando o tempo de trabalho ou uma maior rotação para que dê conta da demanda que lhe foi imposta.

Com esses dados coletados pode-se ter como base de que forma podemos agir diretamente nos problemas já ocorridos para que não se repitam e assim ter uma performance melhor do equipamento evitando uma nova parada emergencial e a realização uma manutenção corretiva, que é o que queremos prevenir fazendo uma análise de vibração diretamente no ponto já ocorreu uma conformidade.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma bancada para simulação de perturbações ao conjunto mecânico que compõe o sistema, por uma análise gráfica das vibrações nele apresentadas.

1.4.2 Objetivos específicos

Em específico, desenvolvendo um protótipo que consiga ser empregada para análises de desbalanceamento estático com monitoramento de eixos, análises de rolamentos, vibrações nas tampas do motor realizando o monitoramento na definição da falha e no reparo da mesma.

Tendo em vista que essa coleta de dados é muito importante para sabermos qual a integridade do equipamento ou uma previsão da vida útil do mesmo, os benefícios destas coletas de dados é termos uma visão de uma possível manutenção preditiva evitando que o equipamento quebre e tenha uma complexidade maior de manutenção.

Para alcançar o objetivo proposto ao presente trabalho, faz-se necessário estabelecer os objetivos específicos a fim de delimitar e detalhar as partes necessárias para que os resultados desejados sejam alcançados. Desta forma, propõe-se:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica;
- Desenvolver o projeto detalhado em software de CAD para a concepção do protótipo da bancada;
- Construir o protótipo da bancada;
- Testar o funcionamento da bancada;
- Analisar e validação dos resultados obtidos.

1.5 JUSTIFICATIVA

A manutenção nos equipamentos nas indústrias é um dos fatores principais para que se tenha a diminuição nos custos, pois o custo de manutenção preditiva é muito menor do que realizar uma manutenção corretiva. O retrabalho que é realizado em uma manutenção corretiva se torna mais demorado e caro, tendo em vista que a parada do equipamento tende a parar outras partes da indústria.

Os equipamentos de uma indústria são extremamente importantes para toda a produção. Realizando um acompanhamento frequente dos mesmos temos a redução de falhas e paradas no equipamento. Assim realizando os testes e as análises podemos reduzir a quebra de paradas dos equipamentos fazendo que assim a eficiência seja elevada e não tenha perdas, como de tempo, lucro, matéria prima e mão de obra.

Um dos pontos cruciais para o projeto foi uma situação real de falhas em uma bomba que é extremamente importante para produção para uma empresa que atua na área de laticínios, a mesma sempre com rolamentos em falhas, e mesmo que o *datasheet* do rolamento informa que se pode realizar um número X ciclos, o mesmo não trabalhava a metade do tempo de sua vida útil e já apresentava falha. Assim com acompanhamento do processo e detectado a existência de vibração em excesso na

tampa do motor estava danificando os rolamentos fazendo que tivesse a parada total do equipamento e todos seus dependentes.

Outro ponto que influenciou na decisão no tema do projeto foi trabalhar com fins didáticos, na Engenharia Mecânica temos matérias de vibrações fazendo que se possa ter uma realidade aumentada sobre a vibração com a utilização da bancada para melhor entendimento sobre o assunto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VIBRAÇÕES MECÂNICAS

Segundo RAO (2009), qualquer movimento que apresenta repetições em um intervalo de tempo tem por definição vibração. A teoria da vibração tem base o estudo de movimento oscilatórios de um conjunto ou um corpo e assim as forças que estão ligada a eles.

As vibrações são oscilações de um movimento em equilíbrio de equipamentos ou elementos que estão ligados a ele que por algum móvito sai da sua estabilidade dinâmica ou estática. Para termos a vibração devemos ter a chamada frequência do movimento, para chegar nessa frequência temos todo um curso para ser traçado para chegar no resultado final.

Primeiro temos um ciclo, que é um elemento está em sua posição de estabilidade, por alguma estimulação chega aos seus limites superior e inferior até retornar a sua posição neutra.

A repetição deste ciclo várias vezes, pode ser caracterizada vibração para uma unidade de tempo determinada. Assim o tempo utilizado para realizar um ciclo é determinado com período e , a fração de ciclos integrada na unidade de tempo é chamada de frequência do movimento.

2.2 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

Segundo a NBR5462 (1994), manutenção é definida como a combinação de ações técnicas e administrativas que tem como propósito manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar a função que é requerida.

2.2.1 Preventiva

Tem por finalidade eliminar ou reduzir a porcentagem das falhas em um equipamento por manutenção que são realizadas de algumas maneiras podendo ser: lubrificação, limpeza, substituição de peças, que são definidas por uma programação estabelecida.

Conforme GOMES e BARONI (1990) a manutenção preventiva teve seu início em meados do século XX, com a função de aumentar a produção e eficiência da máquina, fazendo que assim não ocorram falhas ou quebras em momentos de maior necessidade.

Normalmente essa programação é estabelecida por manuais de operação e instalação dos equipamentos que já apresentam algumas instruções já definidas pelos fabricantes.

A manutenção preventiva tendo a função reduzir os riscos de uma parada não programada em um equipamento por falhas já a dispõe como uma melhor opção do que uma manutenção corretiva em equipamentos ligados ao processo no momento da produção, ou seja, melhor temos uma parada programada do que uma parada em meio a produção.

Assim o objetivo final da manutenção preventiva é que o equipamento tenha o maior tempo possível de utilização para produção e o menor tempo de paradas não programadas para que não se tenha custos extras de manutenção corretiva.

2.2.2 Corretiva

A manutenção corretiva tem por finalidade corrigir e recuperar a funcionalidade da máquina. A manutenção corretiva é definida como uma manutenção realizada após a parada de um equipamento por quebra ou falha, ou seja, atuação se dá posteriormente o problema já ocorrido.

Segundo Mitchell (1984) a manutenção corretiva tem a função oposta da manutenção preventiva, que tem como ação a manutenção somente quando a máquina apresentar falha em uma peça ou conjunto.

Algumas empresas não priorizam a prevenção de falhas em equipamentos, tendo como única e exclusivamente a manutenção corretiva como sua principal categoria de manutenção. Esta opção geralmente pode custar caro, pois o pensando do “quebra/conserta” ocasionam paradas inesperadas nas máquinas e equipamentos, e ainda causar danos a outros equipamentos ligados a este e aumentando a indisponibilidade da máquina.

A manutenção deste tipo é mais adequada quando se contém equipamentos duplicados ou possuem peças em estoque e fácil acesso e locais que possuem

instalações de baixo custo, desde que a parada do equipamento não afete o processo industrial.

2.2.3 Preditiva

A manutenção preditiva caracteriza-se pela medição e análise das variáveis de uma máquina ou equipamento que possam ter possíveis falhas. Após o estudo no equipamento o técnico responsável pela manutenção pode definir como e quando intervir no equipamento para realização desta manutenção.

Segundo Mitchell (1984) manutenção preditiva é o controle da manutenção, efetuando medições com instrumentos próprios da empresa, assim dizendo as condições da máquina em pleno funcionamento com a finalidade de prever falhas e detectar as mudanças de comportando fazendo que assim seja necessária uma programação para manutenção.

Este modelo de manutenção tem como finalidade indicar o estado do equipamento com base em seu desgaste e assim podemos ter uma previsão do tempo da vida útil da máquina ou equipamento para realizar a programação da próxima manutenção

Um dos parâmetros mais utilizados para prever possíveis manutenções preditivas é a vibração. A medição da vibração pode variar entre uma medição de nível global, fator de crista, análise espectral e outras. Matos (1980) aponta que toda máquina tem uma vibração natural do seu funcionamento, e quanto maior a vibração maior pode ser o defeito existente na máquina.

Assim a importância de análises de vibração periódicas, registrando os valores coletados e assim acompanhando o crescimento ou constância desta vibração. Quando se avista um crescimento da vibração e os limites planejados pelo fabricante são atingidos, é realizada uma manutenção corretiva para que a vibração não tenha um aumento significativo.

Segundo Weber, et al (2009), o uso de instrumentos indicados para realização das leituras para que a manutenção preditiva seja executada são alguns dos mais importantes requisitos. A manutenção preditiva tem como principal objetivo detectar os seguintes fenômenos:

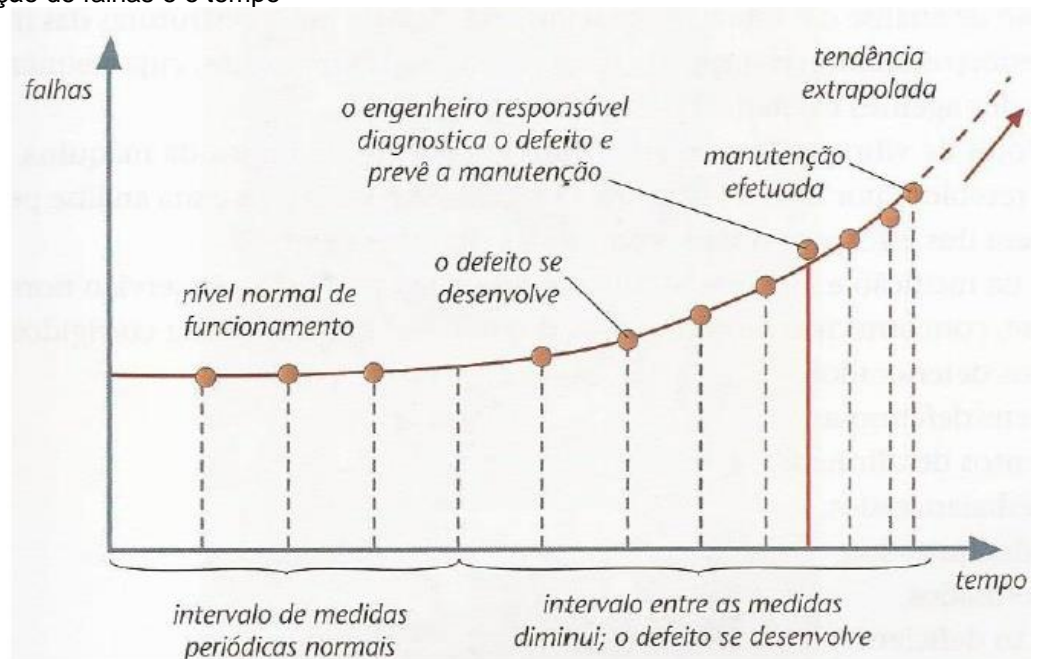
- a) Pressão;
- b) Temperatura

- c) Vibração
- d) Aceleração
- e) Desempenho

Com o conhecimento e realizando a leitura dos fenômenos é possível apontar de uma forma antecipada as possíveis falhas ou defeitos que o equipamento pode sofrer.

A relação em falhas e tempo (FIGURA 01) são extremamente ligadas, pois podemos notar que a medida em que o tempo passa é necessário reduzir o intervalo entre as medidas periódicas dos equipamentos, tendo objetivo de conseguir controlar os defeitos e com consequência conseguir minimizar as falhas.

Figura 1 - Relação de falhas e o tempo



Fonte: Weber, et al (2009)

A manutenção preditiva consiste em determinar quando existe uma modificação no desempenho da máquina com os dados coletados anteriormente. Tendo como os principais objetivos os seguintes:

- Determinar antecipadamente a necessidade de manutenção no equipamento;
- Reduzir trabalhos de emergência não programadas;

- Eliminar desmontagens desnecessárias no equipamento;
- Diminuir a frequências das falhas;
- Aumentar o tempo de funcionamento do equipamento sem manutenções;

2.3 ANALISE DE VIBRAÇÃO

Aplicada principalmente em máquinas rotativas a análise de vibração é a técnica mais eficiente para obter resultados imediatos sobre as condições atuais do equipamento. O nível de vibração que um equipamento é indicado pela amplitude do sinal analógico recebido do analisador de vibração após a realização da medição.

Todas as máquinas tendem a produzir vibração, com o tempo sofrem desgastes fazendo que assim tenha uma modificação na energia vibratória nos conjuntos completos que compõem a máquina. Realizando acompanhamento e observando as evoluções das vibrações, tem-se como obter as informações do estado de funcionamento da máquina e sobre a vida útil da mesma.

Segundo Rao (2009), para todo conjunto de máquinas em que existem vibrações que propagam-se em todo sistema, terminando por produzir um espectro de frequência próprio daquele equipamento, assim chamada de “assinatura”. A análise desta “assinatura” possibilita que possamos verificar se o equipamento está trabalhando nas condições normais ou apresenta algum defeito fazendo que assim possa evoluir para uma falha.

Conforme Weber, et al, (2009), através das análises de vibração do equipamento que se encontra operando normalmente pode-se detectar de forma antecipada a existência de alguns defeitos que devem ser trocados, sendo eles:

- Rolamentos deteriorados;
- Desalinhamento do acoplamento;
- Engrenagens com defeitos como quebra;
- Eixos com deformidade;
- Falta de lubrificação;
- Folgas excessivas;
- Cavitação;

Com um equipamento denominado analisador de vibração portátil ou como popularmente conhecido “coletor de vibração” (FIGURA 02) é possível reconhecer

alguns ou todos estes problemas. Tendo em vista que existem vários modelos de analisador de vibração, sendo eles os mais simples com o menor custo até os mais completos que tendem a ter o valor mais elevado, é de suma importância e indispensável que empresas que possuem máquinas de alto desempenho fabril tenham este equipamento em sua unidade para realização de testes.

Figura 2 - Coletor de vibração



Fonte: Fluke Corporation (2020).

2.4 DEFEITOS EM SISTEMAS MECÂNICOS

Todo sistema mecânico em estado de funcionamento pode apresentar ou desenvolver problemas como desbalanceamento, desalinhamentos entre outros. O monitoramento frequente no nível de vibração neste tipo de sistema é de suma importância, visando que as falhas citadas alterarem a vibração de forma brusca e repentina.

2.4.1 Desbalanceamento

Rao (2009) define desbalanceamento como uma massa assimétrica em relação ao eixo de rotação do motor, sendo que um componente desbalanceado é aquele que apresenta uma massa em excesso. Essa massa provoca mudanças no centro de

gravidade do eixo fazendo com que desloque-se de forma desbalanceada provocando vibrações.

A ausência de balanceamento entre partes móveis do sistema pode acarretar deformações ou desvio no eixo de rotação em relação ao eixo principal, aumentando os esforços nos componentes que, por consequência, resultam na geração de vibrações.

2.4.1.1 Causas do desbalanceamento

O desbalanceamento é ocasionado por motivos diversos, mas todos geram o mesmo tipo de problema, o desalinhamento do eixo principal de inércia ao eixo de rotação do motor. Entre os eventos que podem acarretar com o desbalanceamento das peças de um conjunto mecânico podemos citar:

- Peças assimétricas montadas no conjunto;
- Mancais e acoplamentos não concêntricos;
- Cavitação;
- Corrosão e desgaste;

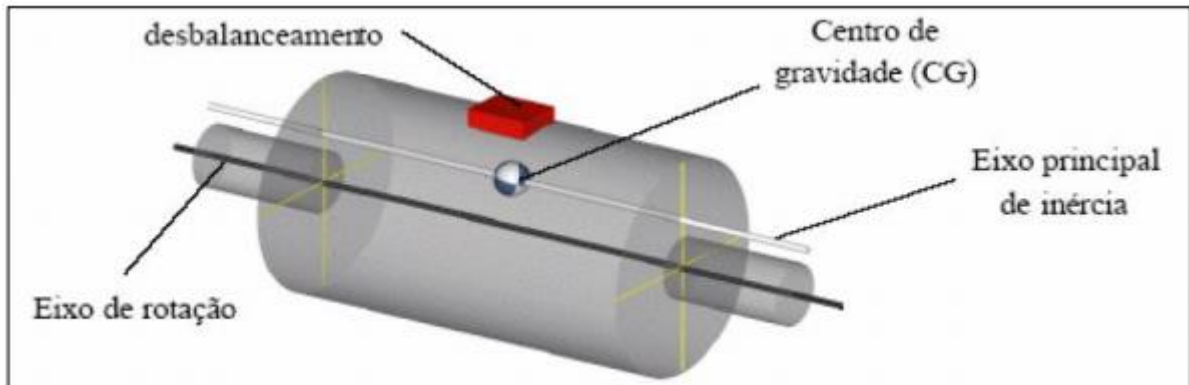
2.4.1.2 Tipos de desbalanceamentos

Em sistemas mecânicos podemos citar a existência de dois modelos de desbalanceamentos, sendo eles o estático e o dinâmico.

Segundo Mendes 2013, o desbalanceamento estático é definido também como desbalanceamento radial do eixo principal de inércia, que consiste em uma massa que está posicionada sobre seu plano médio.

A distância entre o centro de gravidade e o eixo de rotação origina a força centrífuga. A Figura 03 apresenta mostra esse tipo de desbalanceamento. Neste caso a massa de desbalanceamento se encontra no mesmo plano normal ao eixo de rotação.

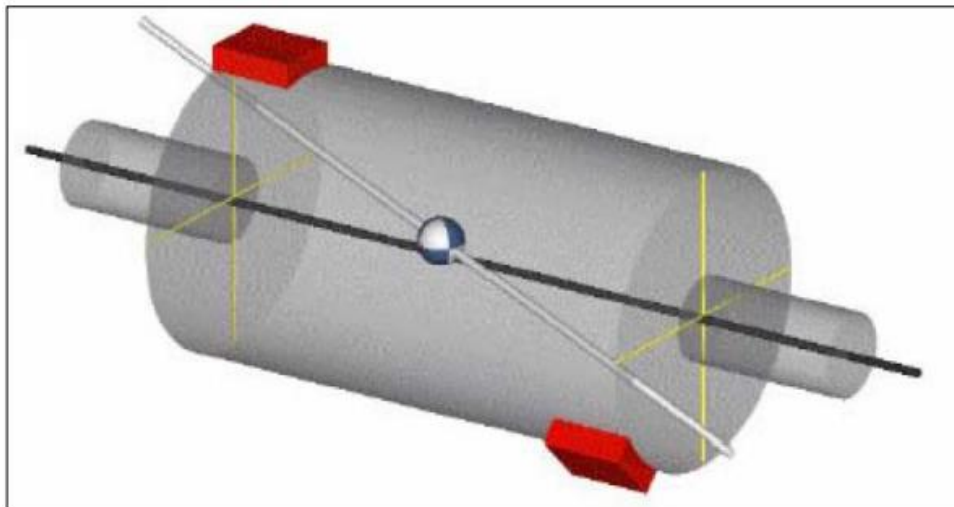
Figura 3 - Distância entre o centro de gravidade e o eixo de rotação



Fonte: Mendes (2013)

Já o desbalanceamento dinâmico (FIGURA 04) é aquele que o eixo principal de inércia apresenta uma inclinação em relação ao eixo de rotação. Este modelo de desbalanceamento é mais comum, pois as massas de desbalanceamento estão deslocadas em ângulos diferentes de 180° (MENDES, 2013).

Figura 4 - Massas deslocada com ângulos de 180°

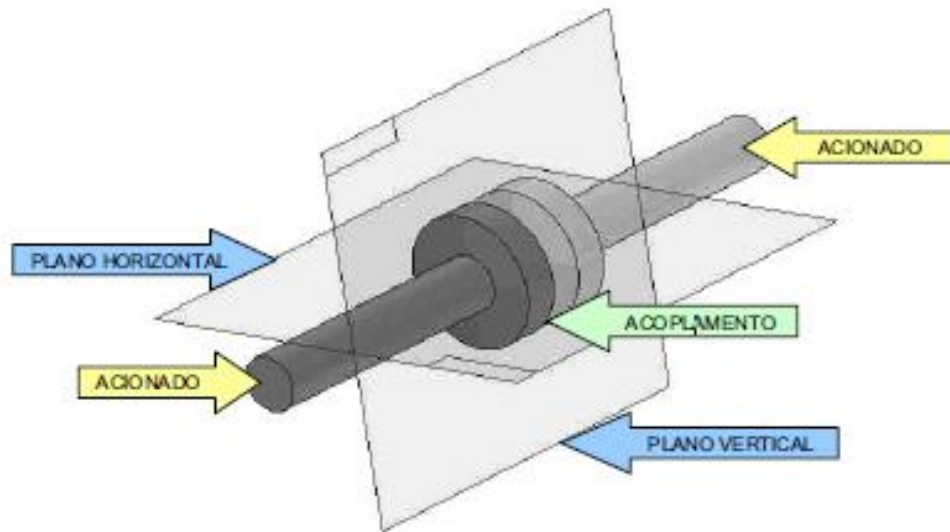


Fonte: Mendes (2013)

2.4.2 Desalinhamento

O desalinhamento de eixos é um conceito que em dois planos imaginários, horizontal e vertical (FIGURA 05), tendo dois eixos um como acionador e outro como acionado, como demonstrado na figura à baixo.

Figura 5 - Desalinhamento de eixos em dois planos imaginários, horizontal e vertical.

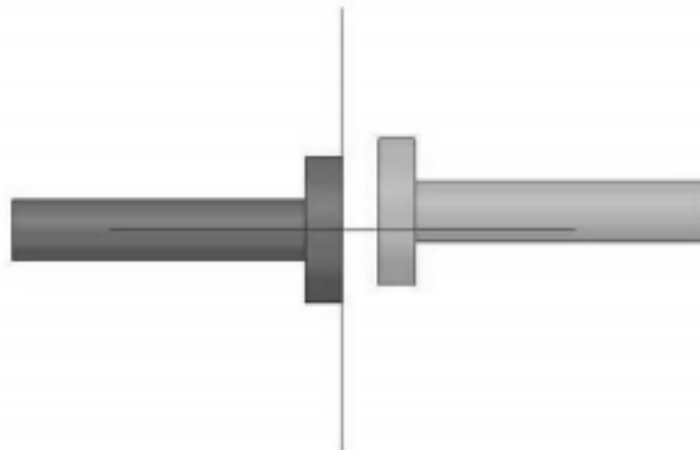


Fonte: Pacholok (2004)

Os desalinhamentos ocorrem principalmente em máquinas rotativas acopladas, tendo três classificações, sendo elas paralelos, angulares e combinado ou misto.

Os desalinhamentos paralelos (FIGURA 06) ocorrem quando as linhas do centro dos eixos estão desalinhadas e afastadas e assim não encontram um ponto de transferência de carga, como é mostrado à baixo.

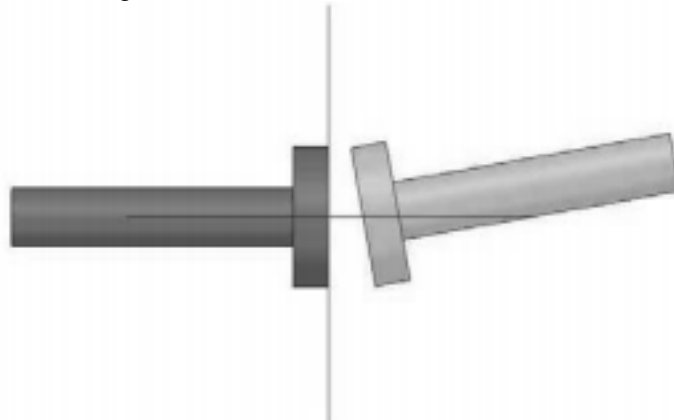
Figura 6 - Desalinhamentos paralelos



Fonte: Pacholok (2004)

Os desalinhamentos angulares (FIGURA 07) ocorrem quando a linha do centro dos eixos que estão acoplados cruza a mesma linha da transferência de carga, mas não tem um paralelismo entre si, como apresentado na figura 7.

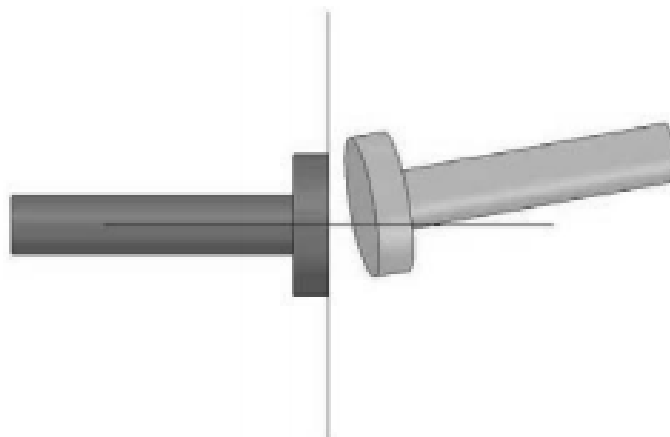
Figura 7 - Desalinhamentos angulares



Fonte: Pacholok (2004)

Já o terceiro caso que temos apresentado é o desalinhamento misto (FIGURA 08), que nada mais é do que a combinação dos dois modelos anteriores, fazendo que assim não tenha paralelismo das linhas centrais do eixo e nem o cruzamento no mesmo ponto de transferência de carga, demonstrado na figura 8.

Figura 8 - Desalinhamento misto



Fonte: Pacholok (2004)

2.5 TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

Segundo Antonioli (1999) as técnicas de medições em máquinas não apresentam resultados imediatos, sendo necessário que os dados sejam coletados,

analisados e comparados com os resultados apresentados quando o equipamento seja novo ou em boas condições de uso.

Para que seja obtido resultados significativos é necessário um bom histórico da máquina e também técnicos bem qualificados para que analisem os resultados com maior criticidade possível. Assim, para mensurarmos defeitos reais, torna-se necessário o amparo no histórico do equipamento ou em catálogos técnicos que possam servir de referência inicial do uso real de trabalho da máquina

2.5.1 Nível global de vibrações

Segundo a norma ISO 10816-3, que estabelece diretrizes gerais para medição e avaliação de vibração de máquinas por meio de medições feitas diretamente em eixos de rotação com a finalidade de determinar vibração do eixo em relação, o nível global de vibrações é uma das formas com o melhor desempenho para avaliação em equipamentos rotativos, pois consiste em realizar a medição do sinal originário de um transdutor onde qualquer defeito provoca alteração no nível da vibração natural de cada máquina com o funcionamento adequado. (ISO, 2009).

Figura 9 – Classes de equipamentos segundo a ISO 10816

Norma ISO 10816 - Classe de equipamento				
R.m.s (mm/s)	Classe I Máq. Pequena	Classe II Máq Média	Máquinas Grandes	
			Classe II fundação rígida	Classe IV fundação flexível
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Zona A Verde: valores de vibração operacionais.
 Zona B Amarelo: Operação contínua sem restrições
 Zona C Laranja: Condição é aceitável apenas por um período limitado de tempo.
 Zona D Vermelha: Valores de vibração perigosos – falha iminente.

Fonte: iso.org (2020)

A figura 9 apresentada anteriormente, podemos traçar um comparativo da alteração da intensidade da vibração, e verificar se o valor mensurado não se encontre entre as faixas de aceitação ou limites superior e inferior informados pelo fabricante e neste caso necessitam de manutenção, caso a faixa se encontre entre os limites a vibração se apresenta normal.

O nível global obtido no ponto de vibração apresenta um primeiro passo para realização de monitoramento de vibrações, pois proporciona informações básicas do funcionamento do equipamento pois são falhas simples de serem reconhecidos como por exemplo um desbalanceamento de um eixo por estar torto pois os mesmos produzem vibrações de alto nível.

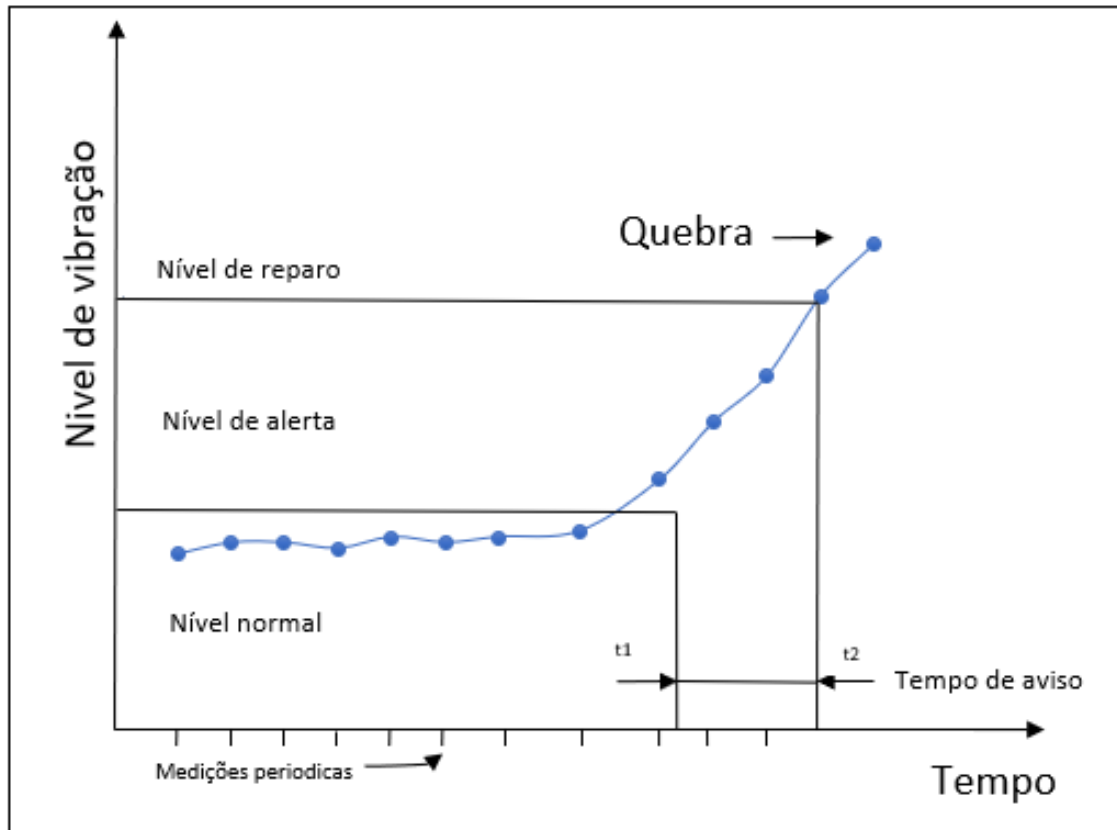
Falhas que se encontram no início, por exemplo de um rolamento são difíceis de detectar somente olhando ou realizando a escuta de ruídos pois reproduzem níveis de vibração baixos e assim sendo mascarados por níveis de vibração maiores de outros defeitos. Somente serão detectados quando os níveis de ruídos e vibração ficam maiores que os de baixa frequência já existentes na máquina.

Segundo Heidrich (1996) pelas medições periódicas das vibrações podemos traçar uma curva de tendência em que seja visualizar o nível de vibração e seu comportamento, tornando possível realizar avaliações de resultado através de três níveis, sendo eles normal, alerta e reparo.

O nível normal é onde não temos nenhum tipo de divergência com a normalidade na hora do processo. Já o nível de alerta é onde temos alguma deformidade, mas que não irá causar danos ao equipamento, mas, no nível de reparo é um ponto em que chegou que há necessidade de programar uma parada no equipamento para realizar a manutenção seja ela alinhamento, balanceamento ou troca de peças (HEIDRICH,1996).

Antoniolli (1999) cita que o nível global das vibrações tenha um procedimento simples e eficaz contra graves situações, pois com base no mesmo podemos ter diagnóstico preciso para seja possível localizar a origem do problema. Outro problema enfrentado pelo nível global é que um equipamento não possui apenas uma vibração, mas sim um conjunto que é gerado por todas as partes da máquina, fazendo que assim tenha várias frequências, cada uma gerada de componentes diferentes que integram a máquina.

Figura 10 – Gráfico tempo x nível de vibração



Fonte: Adaptado de HEIDRICH (1999)

A figura 10 apresenta um gráfico sobre medições periódicas realizadas. Tendo três níveis, sendo o nível normal que apresenta apenas a vibração normal do sistema em funcionamento, enquanto as medições se encontram dentro desta faixa é considerado normal a vibração encontrada. Se após algumas vibrações os níveis aumentam para o nível de alerta se tem um tempo de aviso que é tempo para realizar mais medições verificando se existe ou não o aumento da vibração. Caso tenha o aumento é necessário a programação de uma parada para realização da manutenção antes que ocorra a quebra do componente.

2.5.2 Fator de crista

De acordo com Mathias (2019), Fator de crista é definido como a razão entre o nível de pico e do RMS (raiz média quadrática). Este método tende a partir do princípio que quando um rolamento sofre algum tipo de dano, o valor de pico tende a crescer mais rápido que o valor de RMS. Mesmo sendo um método simples ele apresenta

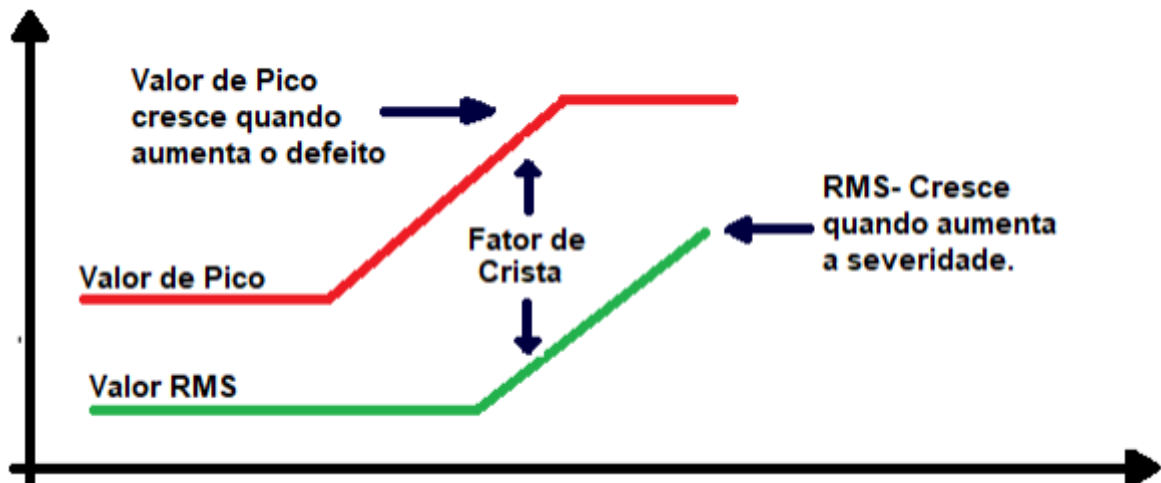
alguns problemas, pois há outros problemas em uma máquina que podem gerar picos como por exemplo: bombas com cavitações, folgas entre outras.

$$\text{Fator de crista} = \frac{\text{Valor de pico}}{\text{Valor RMS}} \quad (1)$$

O processo se inicia quando o aumento da falha tende a ficar maior neste estante o fator de crista tende a crescer devido ao aumento da falha assim logo o valor de pico tende a aumentar porém o valor do RMS praticamente se mantém inalterado, quando o defeito se estabiliza e a seriedade dos seus efeitos, o fator de crista tende a diminuir (MATHIAS, 2019).

Assim este tipo de indicador tendem a ser utilizados como monitoramento de agravamento do defeito, ou seja, se por algum motivo não se é possível realizar manutenção no equipamento, pode-se utilizar este tipo de análise para acompanhar o processo de agravamento ou constância do problema.

Figura 11 – Fator de Crista



Fonte: Mathias (2019)

2.5.3 Ondas mecânicas

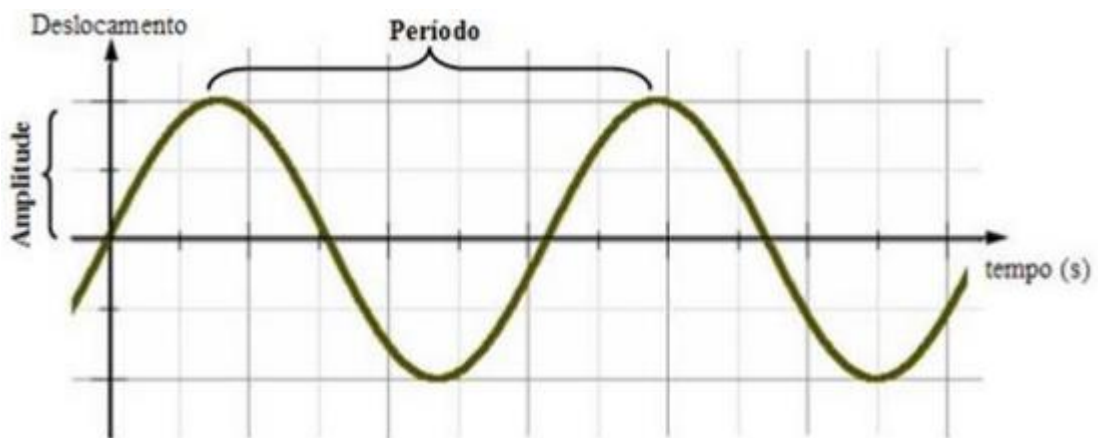
Todos os sistemas mecânicos dispõem de rigidez, amortecimento e massa e tendem a possuir uma forma semelhante do sistema massa-mola, ou seja, pode-se detectar a vibração quando a superfície do mesmo possuir uma movimentação diferente da normal (HALLIDAY, et al 2015).

2.5.3.1 Propriedades de uma onda mecânica

Para Halliday, et al (2015), “A amplitude de uma onda é o modulo de deslocamento máximo sofrido pelos elementos que se encontram em equilíbrio quando a onda passa por eles”. De outro modo a amplitude tem sua medição realizada com a oscilação negativa e positiva de uma onda de pico podendo ser medida de pico a pico ou RMS como já comentado

A amplitude de vibração é o que descreve a severidade, criticidade e destrutividade dos eventos ocorridos. As vibrações por muitas vezes são periódicas, isto é, tendem a se repetir em um intervalo de tempo que se é chamado período de vibração, em outras palavras o período é o tempo que um ciclo tende a se completar (HALLIDAY, et al, 2015).

Figura 12 - forma de onda senoidal no tempo

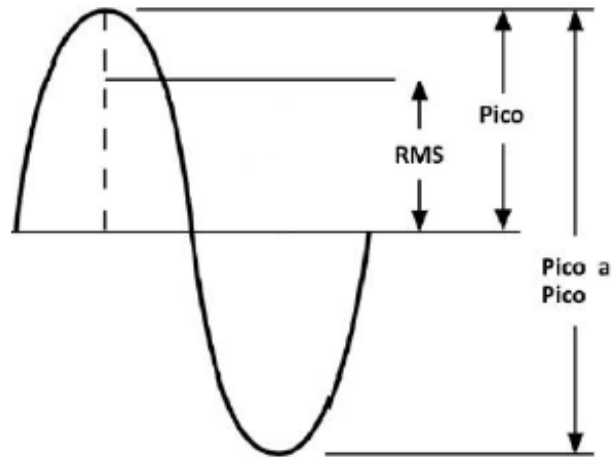


Fonte: Rocha (2014)

Segundo Rocha (2014), o valor de pico-a-pico é utilizado quando o deslocamento vibratório do equipamento é a parte crítica. O valor de pico é utilizado para demonstrar falhas em elementos como por exemplo rolamentos ou engrenagens que possuem alta frequência. O valor de RMS é um média global da vibração que representa a quantidade de energia que existe em uma vibração. A seguir na figura 13 é possível observar gráfico que representa a medição de diferentes formas da amplitude de um sinal.

Sendo um valor de pico que representa o valor mais alto de vibração encontrada no sistema, valor de pico a pico sendo o valor total desta frequência do menor valor até o maior sendo possível também analisar o valor em RMS do sistema.

Figura 13 - Onda no tempo com diferentes leituras de amplitude



Fonte: Rocha (2014)

2.5.3.2 Transformada rápida de Fourier (FFT)

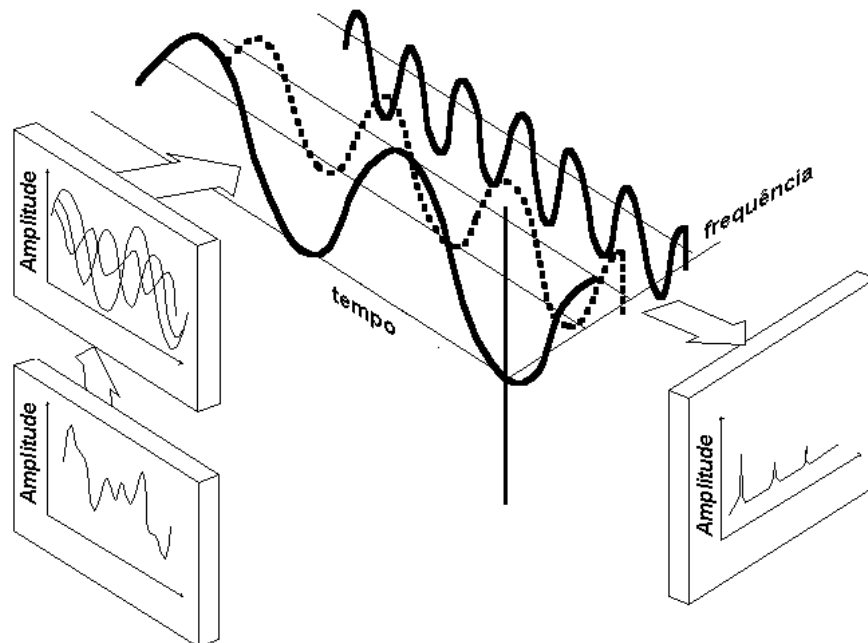
Para realização de um gráfico de onda no tempo em um espectro de frequência o equipamento responsável por coletar as vibrações de um determinado local usa a técnica conhecida como transformada rápida de Fourier para realizar a leitura do mesmo.

Fourier foi um matemático francês que mostrou que é possível tornar um sinal em função do tempo para uma representação em um domínio da frequência e vice-versa e assim identificar as frequências e por uma série de cálculos de senos e cossenos. Essa transformada tem a capacidade de demonstrar individualmente os componentes de vibração e separá-las pela sua frequência. O FFT tem a capacidade de identificar as ondas complexas dos senos e separá-las em ondas individualmente.

Segundo Gonçalves (2014) FFT é uma ferramenta importante para matemática que se é utilizada para as análises de vibração. Ela é a responsável pela mudança de um sinal no domínio do tempo para o domínio da frequência.

A forma de onda é a representação de um sinal no domínio do tempo, ela tem a função de apresentar o que acontece a cada instante. Uma da sua principal aplicação é identificar eventos de curta duração como por exemplos impactos ou taxa de repetições.

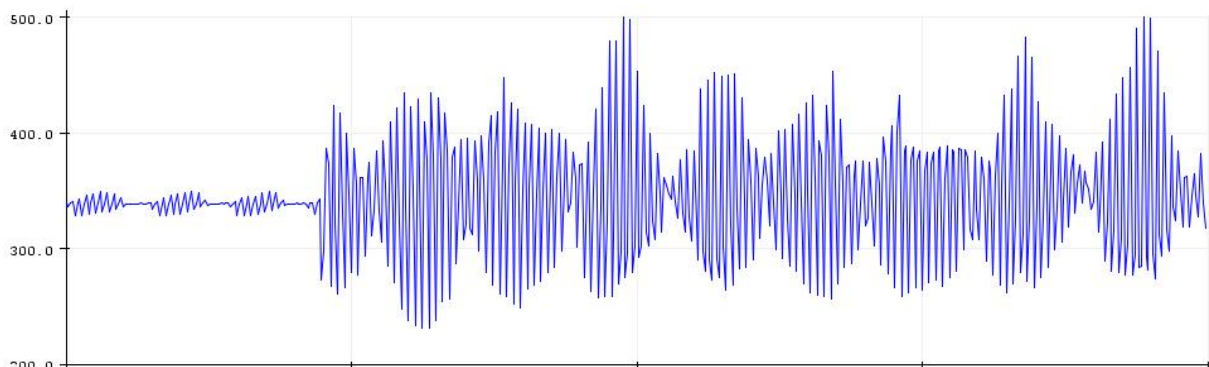
Figura 14 - Sinal de vibração por ser avistado através do domínio do tempo e da frequência.



Fonte: Rocha (2014)

Tendo em vista que o presente trabalho irá trabalhar com formas de onda com o sinal variando em relação ao tempo podemos observar na figura 15 um exemplo de forma de onda que mostra um sinal de frequência em relação ao tempo.

Figura 15 - Exemplo de uma forma de onda, com o sinal variando com o tempo



Fonte: Autor (2020)

2.6 ROLAMENTOS

Rolamento é um material extremamente importante no mundo da manutenção, pois tem uma definição de que são dispositivos designados a suportar as cargas dinâmicas e realizar a transmissão do movimento de rotação.

Santos (2007), escreve que rolamentos industriais são constituídos por anéis internos e externos, rolos ou esferas com distribuição equivalentes entre os anéis e se mantem separados pela gaiola.

2.6.1 Tipos de rolamentos

Existem diversos modelos de rolamentos tendo uma divisão em dois grupos mais importantes. A divisão é deferida pela direção da carga que irá apoiar. Os dois tipos são os modelos de rolamentos axiais e rolamentos do tipo radial. A carga axial tem por definição atuar na direção longitudinal do eixo, já o modelo radial tem por definição a atuação de uma força na direção transversal do eixo, como se pode observar nas figuras 16 e 17 (MOBIUS, 2017).

Figura 16 – Carga Axial

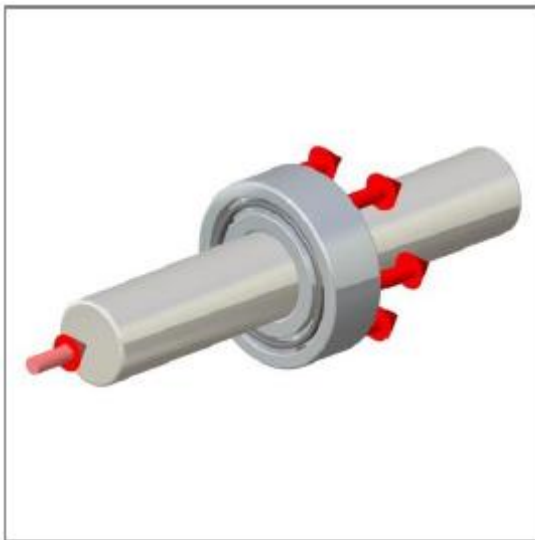
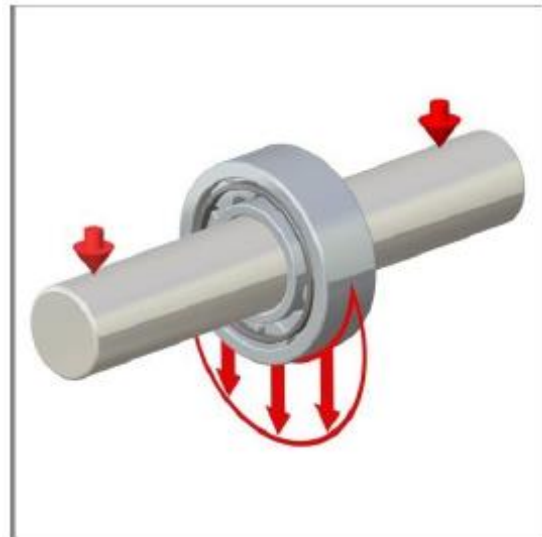


Figura 17 – Carga Radial



Fonte: NKS Brasil (2020).

As figuras 16 e 17 foram retiradas do catálogo de rolamentos da empresa NKS Brasil que ilustram com detalhes os tipos de rolamentos e as suas formas de aplicação das forças sendo axial ou radial.

2.6.2 Defeito em rolamento

O rolamento passa a ser inutilizável quando sofre falhas antes do tempo previsto e essa prematuridade tende a ser por falhas de manutenção podendo ser elas

a falta de análise de ruído ou de vibração, altas temperaturas de trabalho e lubrificação.

Quando um rolamento tende a falhar seja ela travar ou ter um funcionamento ruim pode trazer malefícios para a máquina, nessas horas é muito importante ter a habilidade de saber identificar a causa raiz do problema e a partir dali serem tomadas atitudes de manutenção preventiva. Por indicação de fabricantes a manutenção preventiva deve ser adotada desde o primeiro momento em que o rolamento começa a trabalhar para evitar falhas e paradas inesperadas (WEBER, 2009).

Algumas das causas mais frequentes que são atribuídas a falhas são a falta de lubrificação ou má lubrificação do rolamento e conjunto, descuido na hora do alojamento do rolamento no eixo e até mesmo o manuseio de forma incorreta pode ser uma das causas raiz da falha. A causa pode ser identificada de forma simples sem realizar testes, uma das maneiras é verificar o estado de lubrificação e modo de instalação (SANTOS, 2007)

2.6.3 Manutenção do rolamento

Segundo Weber (2009), na manutenção de rolamentos tende a ter duas principais linhas para análises sendo elas, inspeção das condições de trabalho e inspeção do rolamento. A inspeção da condição de trabalho é realizada para determinar o período de intervalo entre as lubrificações, analisar a vibração que o rolamento está sofrendo por base de uma análise de vibração, ruídos que o rolamento pode apresentar, e a temperatura de trabalho.

A inspeção do rolamento pode ser feita durante o período de inspeção da máquina, fazendo uma breve inspeção que podem ser simples como verificar se existem danos físicos no rolamento pode ser definido se o rolamento pode continuar trabalhando ou é necessário a troca para que evite paradas futuras por falha no rolamento.

2.6.4 Inspeções e ações corretivas.

2.6.4.1 Vibração no rolamento

As vibrações e irregularidade no rolamento podem ser definidas através de teste com a máquina em funcionamento normal, utilizando um espectro de frequência se obtém a magnitude da vibração juntamente com sua distribuição de frequência. Os

valores encontrados com esta medição variam de acordo com o processo, com as condições de trabalho do rolamento e o local onde essa vibração está sendo medida. O método utilizado para realizar as medições variam para cada máquina (SANTOS, 2007).

2.6.4.2 Lubrificação

O objetivo da lubrificação em rolamentos é basicamente a redução do desgaste interno e do atrito que o rolamento causa quando está trabalhando com uma má lubrificação, fazendo que assim com uma boa lubrificação evitar a falha prematura do mesmo (ROCHA, 2014).

Rocha (2014), ainda diz que a lubrificação tem alguns modos para ser realizadas, sendo elas lubrificação com graxa e lubrificação com óleo. Cada método tem suas vantagens e desvantagens e também com condições específicas para serem feitas, pois os tipos de lubrificação têm um propósito para atingir o melhor desempenho do rolamento.

Na figura 18 tem-se uma comparação entre os dois modos de lubrificação, mostrando os principais itens que se necessita ter cuidado ao realizar a instalação de um rolamento.

Figura 18 - Modos de lubrificação

Item	Lubrificação a graxa	Lubrificação a óleo
Configuração de alojamento e sistema de vedação	Simplificada.	Torna-se um pouco complexa e necessita de cuidados na manutenção.
Velocidade de rotação	O limite permissível é de 65~80% da lubrificação a óleo.	Aplicável também em altas rotações.
Trabalho de resfriamento Efeito de resfriamento	Não tem	Permite retirar o calor com eficiência (como no método de circulação do óleo)
Fluidez	Inferior	Muito bom.
Substituição do lubrificante	Um pouco complexa	Relativamente fácil.
Filtragem de impurezas	Difícil.	Fácil.
Sujeira por vazamento	Reduzido.	Inadequado para locais em que a sujeira é desagradável.

Fonte: NSK Brasil (2014)

Uma boa lubrificação tende a aumentar a vida útil do rolamento fazendo que assim os desgastes internos que ocorrem com rolamento sejam prolongados. A forma correta da lubrificação fornece alguns benefícios positivos aumentando a vida de trabalho do mesmo.

Santos (2007), cita um dos benefícios que se tem é a redução do atrito interno que se tem por conta da constância e repetição do trabalho que o mesmo exerce, pois o contato dos anéis de metal as esferas rolantes ou rolos dependendo do seu tipo de rolamento e gaiola são reduzidos por uma película de óleo que protege do atrito evitando o desgaste.

Outro problema enfrentado pelo uso de rolamentos é a temperatura que se elevam com o passar do tempo de trabalho e também influenciada por fatores externos, a temperatura do rolamento depende da carga, e a rotação de trabalho. Uma das principais vantagens de se manter a lubrificação em dia é que a circulação de óleo não deixa temperatura do rolamento aumente fazendo que se dissipe no óleo.

A troca do lubrificante depende muito de qual método se está a utilizar e a forma de trabalho. A reposição da graxa no sistema depende do tempo de uso do equipamento, velocidade de rotação, e qual o tipo de rolamento está sendo utilizado, pois a graxa com o tempo de uso se deteriora e a ação lubrificante se torna menos eficaz.

Já a troca do lubrificante, do tipo óleo, dependem diretamente de que modo está sendo utilizado e a quantidade de óleo utilizado no sistema. Tendo em vista que temperaturas de trabalho menor que 50°C são respectivamente baixos e assim a maioria dos fabricantes dizem que podem ser realizadas a troca do óleo anualmente. Já se a temperatura de trabalho do óleo for igual ou maior que 100°C a troca deve ser efetuada trimestralmente. Claro que com as inspeções periódicas do equipamento se observa a baixa do nível do óleo antes da data determinada para a manutenção de lubrificação se pode adicionar uma quantidade de óleo para que o equipamento tem sua lubrificação correta evitando a quebra (ROCHA, 2014).

2.6.5 Inspeções do rolamento

A inspeção de rolamentos deve ser efetuada quando há uma parada no equipamento e se não existe a necessidade da troca do mesmo, alguns passos devem ser seguidos até a inspeção final para verificar a possibilidade da reutilização do rolamento. (WEBER, 2009)

A primeira deve ser a retirada de uma amostra do lubrificante utilizado para que se tenha uma análise para verificação da qualidade do lubrificante e assim aprovando ou reprovando a continuação do mesmo. Após esta etapa concluída pode ser realizado a próxima que é a limpeza interna e externa do rolamento, normalmente utilizado querosene para realização da limpeza. Esta limpeza contém duas fases, sendo elas a preliminar e final.

A limpeza preliminar tende a ser realizada em um tanque com uma tela para que se tenha apoio e assim realizar de forma adequada a limpeza. Nesta etapa a graxa utilizada ou óleo deve ser removidas com o auxílio de um pincel ou equivalentes para a melhor limpeza seja feita.

A limpeza final deve tem que ser realizada de forma cuidadosa e segura girando o rolamento imerso em fluido de limpeza, é importante salientar que o fluido deve estar sempre limpo evitando que corpos estranhos entrem no rolamento podendo causa problemas futuros.

Após toda a limpeza realizada se faz a inspeção de alguns itens de um *checklist* para verificar a possibilidade de reutilização. A inspeção normalmente é padrão para todos os tipos de rolamentos exceto para os rolamentos separáveis. Para os rolamentos não separáveis verifica-se a existência ou não de corpos estranhos no rolamento, folgas internas, desgaste. Os rolamentos não separáveis de menor porte pode realizar a verificação de suavidade, ou seja, apoiar o rolamento entre os dedos e realizar o movimento de giro para verificar se o rolamento ainda se encontra em um estado aceitável de utilização. (SANTOS, 2007)

Ainda Santos (2007) diz que os rolamentos separáveis ou de rolos cônicos permite que se possa realizar a verificação de corpos estranhos internamente e dos corpos rolantes individualmente. Já os rolamentos de grande porte que não apresentam a possibilidade do giro manual devem ser realizados a inspeção mais cuidadosamente da área interna e dos componentes individuais para que se possa dar a melhor avaliação possível.

Segundo a NSK Brasil (2014), se alguns defeitos por exemplo trincas ou lascados no anel interno, se houver escapamento dos corpos rolantes, oxidações na pista ou nos corpos rolantes ou houver mudança significativa devido ao calor a reutilização do rolamento é condenada pois o mesmo compromete a integridade e confiabilidade do rolamento podendo causar quebra na máquina.

Como descrito anteriormente tendo modelos não separáveis como no caso da bancada proposta, a pista interna gira junto com o eixo de rotação, e a pista externa é fixa. Com isso pode se gerar frequências de falhas que são geradas através de carregamentos em excesso que poderão causar falhas.

As frequências de falhas são definidas em quatro diferentes frequências. Sendo elas:

Defeito na pista interna:

$$F_i = \frac{n}{2} \cdot Fr \cdot \left[1 + \frac{D}{dm} \cdot \cos \beta \right] \quad (2)$$

Defeito na pista externa

$$F_e = \frac{n}{2} \cdot Fr \cdot \left[1 - \frac{D}{dm} \cdot \cos \beta \right] \quad (3)$$

Defeito nos elementos rolantes

$$F_b = \frac{dm}{D} \cdot Fr \cdot \left[1 - \left(\frac{D}{dm} \cdot \cos \beta \right)^2 \right] \quad (4)$$

Defeito na gaiola

$$F_g = \frac{1}{2} \cdot Fr \cdot \left[1 - \frac{D}{dm} \cos \beta \right] \quad (5)$$

Onde

n = Número de elementos rolantes;

D = Diâmetro das esferas (elementos rolantes);

dm = Diâmetro primitivo;

Fr = Frequência da rotação;

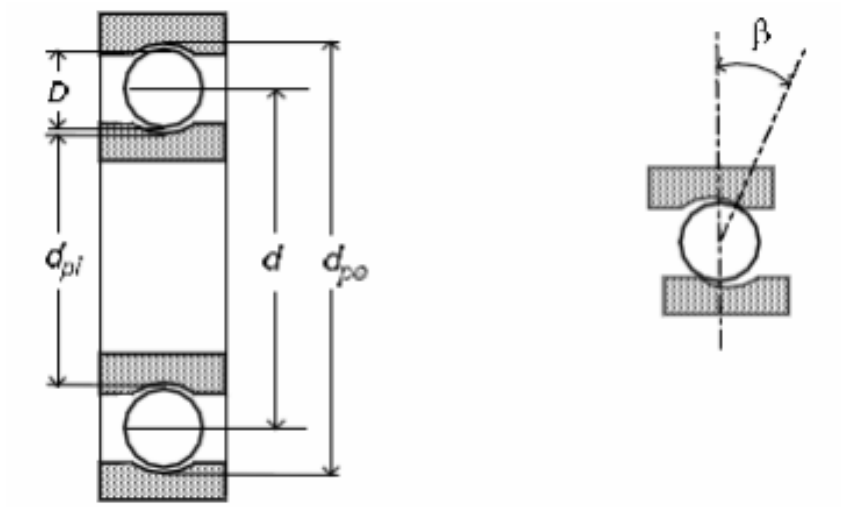
β = Ângulo de contato;

dpi = Diâmetro da pista interna;

dpo = Diâmetro da pista externa;

Na figura à baixo podemos observar um esquema que demonstra de onde são retirados os valores para realização dos cálculos.

Figura 19 – Valores para cálculo de defeitos



Fonte: Bastos (2011)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os métodos e técnicas empregados para a construção de uma bancada didática para análise de vibração para realizar experimentos para a comprovação da teoria. Segundo GIL (2008), a pesquisa experimental reside na determinação de um objeto de estudo, selecionando variáveis que podem influenciá-lo.

GIL (2008) cita que, um trabalho experimental consiste na determinação de um objeto de estudo, selecionando as variáveis que pode influenciar e definir padrões de observação dos efeitos que as variáveis produzem sobre o projeto. Neste projeto temos definido o estudo e influências das vibrações sobre uma bancada e realizando teste com diferentes variáveis para análise dos resultados gerados.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Os métodos e os materiais a serem utilizados são propostos em três passos, isto é, a primeira representa o projeto e funcionamento de uma bancada de análise de vibração, desenvolvido no laboratório da Faculdade Horizontina (FAHOR), a segunda tem por finalidade apresentar os materiais que são necessários para o desenvolvimento do dispositivo para teste e análise de resultados, e enfim a terceira etapa descreve os resultados finais obtidos com uma série de testes realizados forçando eles diversas variáveis que podem ser submetidas.

Com o intuito de desenvolver uma bancada didática simples para analisar as vibrações em sistema mecânico e analisar seus efeitos procura-se uma saída economicamente acessível para aplicar testes para que se pode aplicar medidas de manutenção para proteger o equipamento. Para o processo de análise de vibração foi projetado uma bancada com um eixo ligado a um motor e a um mancal juntamente com um disco de desbalanceamento facilmente manipulado para realização dos testes.

Por fim após a montagem por completa da bancada e sua aferição foi realizado teste prático, para a verificação que se o mesmo atingiu seus objetivos. A realização deste teste foi feita com finalidade de identificar possíveis problemas reais e de que forma podemos agir com mais facilidade na causa raiz do problema.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento do projeto e da bancada de simulações de análise de vibração utiliza-se os recursos a seguir:

- Dimensionamento e ajustes dos elementos que compõem em SolidWorks, e software do Arduino para realizar programação, com sua versão 1.8.7 através de um notebook.
- Para a fabricação dos elementos do projeto são utilizados equipamentos e máquinas como, torno, esmerilhadeira, máquina de solda, fresa, furadeira, corte a laser.
- Como fonte de movimento para o sistema, um motor elétrico.
- Como fonte de coleta de dados é utilizado sensores de vibração e Arduino.
- Itens de consumo podem ser destacados, parafusos, porcas, arruelas, cabos para ligação elétrica, jumpers para ligação da placa de Arduino, rolamentos, eixo, disco de desbalanceamento, mancais.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir do presente capítulo será apresentado os resultados obtidos a partir da metodologia desenvolvida para o projeto. Com isso será apresentado as partes do projeto e dados obtidos com os testes até resultado final com seus devidos resultados.

4.1 MODELAMENTO DO PROJETO

A modelagem do projeto foi aplicada para coleta de dados e análise, através de literaturas já existentes, verificando produtos semelhantes no mercado e verificando a necessidade de melhorias e adequá-las para um bom funcionamento e melhor desempenho que se é esperado.

4.1.1 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

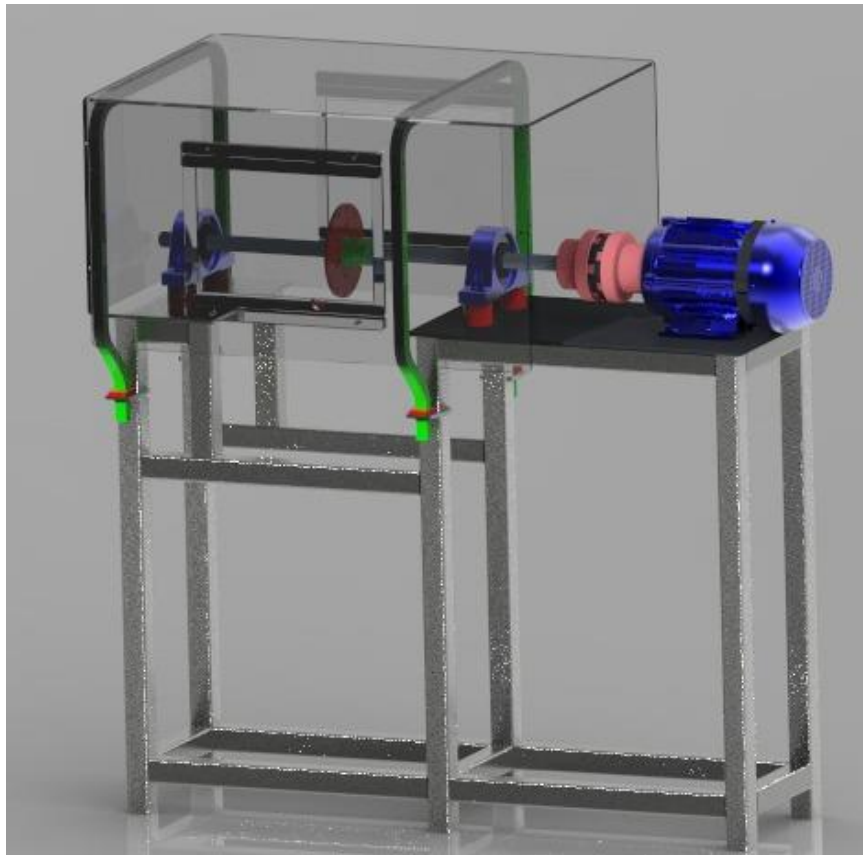
A partir da definição do projeto da bancada para análise de vibração que tem por finalidade apresentar os principais componentes que integram o conjunto, sucedeu a construção da bancada com base em já existente.

Inicialmente foi realizada a construção do projeto via SolidWorks analisando os a melhor forma de como construir, fazendo teste virtuais pelo mesmo software e melhorias e ajustes que poderiam ser feitos projeto físico. Após toda parte de construção do projeto foi realizada a junção de todos os itens que se necessita para se montado na bancada.

Após o desenho das peças individuais foi realizado a montagem do projeto em SolidWorks para verificar se as medidas ficaram dentro do padrão e realizar alinhamentos para que se tenha a melhor performance nos testes ainda em Software.

Na figura 20 é demonstrado a bancada pronta em software para o embasamento e que seja reproduzido da melhor maneira e leal.

Figura 20 - Protótipo completo com vista isométrica.



Fonte: Autor (2020)

Após ter todas as peças reunidas foi realizado uma breve inspeção do motor elétrico de 1CV e com uma rotação máxima de 1740 RPM utilizado na bancada, como se trata de um motor que já teve um tempo de uso, foi aberto, limpo e feito as devidas manutenções para que o mesmo funcione perfeitamente em todo o tempo de testes da bancada e que se encontre dentro das normas para o funcionamento.

As demais partes que compõem a bancada não necessitaram de manutenção pois os mesmos foram comprados ou fabricados novos, ou seja, rolamentos comprados novos, mancais novos, eixo central fabricado novo sem reutilização, acoplamentos novos. Um dos motivos de ter considerado a compra de novos é para que não se tenha nem um contra tempo que possa atrasar os testes da bancada.

Com a continuidade no processo de construção da bancada, foi realizado a solda e todas as partes, a base da bancada foi construída a partir de tubos galvanizados de 40x40mm e a base para a fixação do motor e dos mancais foram colocadas chapas galvanizadas de 3mm de espessura para que se tenha uma boa fixação e evitar que tenha vibrações externas na bancada.

Também realizado a modelagem de duas armações que serão fixadas sobre a bancada para que se possa colocar uma proteção para que momento em que a bancada estiver em funcionamento não ocorra acidentes.

Figura 21 – Base da bancada

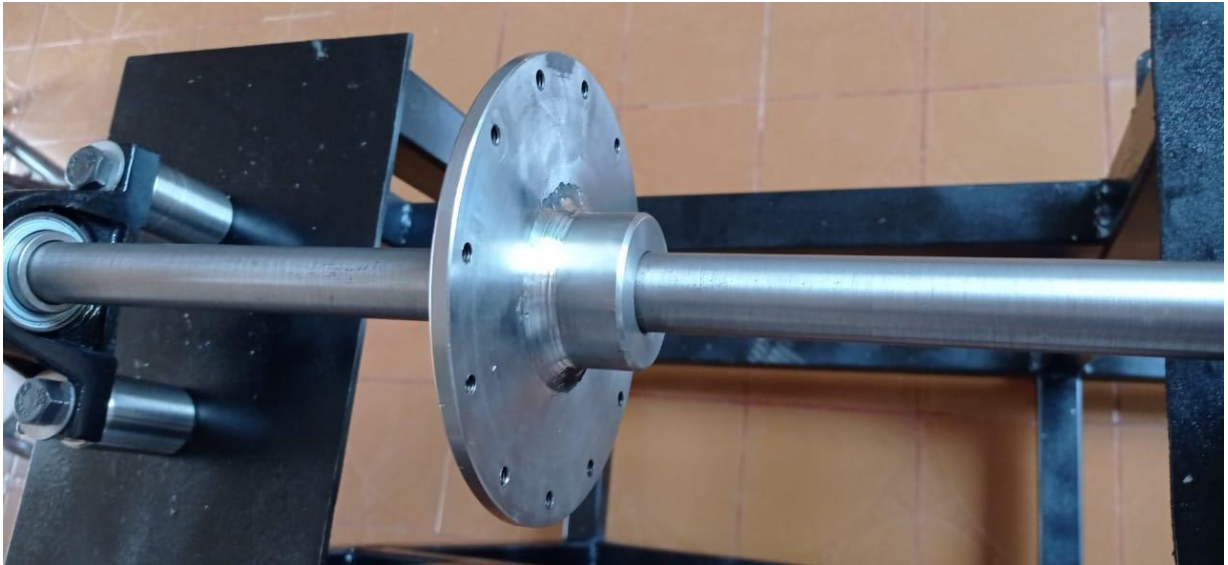


Fonte: Autor (2020)

Tendo a base completa da bancada se iniciou o processo de fixação dos componentes que compõem a parte que será realizado os testes. Para que se possa realizar a ligação do eixo no acoplamento e nos rolamentos fixados em mancais foi necessário a confecção de quatro buchas de elevação para os mancais, para que o centro do rolamento alinhado com o eixo de rotação do motor.

Também ligado ao eixo no tamanho de 750mm e diâmetro de 25mm em aço 1045 trefilado temos nosso disco de desbalanceamento que está ligado a ele por uma bucha centralizadora. Este disco tem a finalidade de que maneiras diferentes pode-se fixar parafusos do tamanho M6x20mm e assim possamos forçar vibrações e estudar o comportamento do rolamento e do conjunto em um todo.

Figura 22 – Disco de desbalanceamento



Fonte: Autor (2020)

Os mancais utilizados são mancais do modelo UCP.205. Nele utilizaremos o rolamento UC205 que contém o diâmetro interno de 25mm. Mancais de fixação contém um parafuso de fixação de pressão para que o a rolamento esteja preso ao eixo. Com o auxílio de um torquímtero foi realizado o ajuste de aperto para aproximadamente 5,5Nm que é o torque recomendado para o mesmo realize o trabalho da melhor forma possível, pois segundo a norma ISO 6789-1 cada parafuso e ou aplicação se encontra o aperto correto.

Figura 23 – Bancada finalizada



Fonte: Autor (2020)

4.1.2 FUNCIONAMENTO DA BANCADA

O sistema mecânico tem por acionamento por um motor elétrico, para que a bancada fique em funcionamento apenas no período de testes para que seja evitado algum desgaste desnecessário dos componentes e principalmente que seja evitado qualquer acidente para terceiros que possam estar realizando alguma atividade.

Para realizar a captação dos sinais de vibração é utilizado um sensor de vibração 2578AY-RG. Como o nome mesmo diz o objetivo é detectar a vibração no local em que se é instalado. O mesmo trabalha em conjunto com uma placa de Arduino UNO que realiza a leitura dos dados aferido por ele. Após os dados coletados utilizamos um recurso do Arduino em um notebook chamado Serial Plotter que nos apresenta uma forma de onda da saída do nosso sensor.

O sensor utilizado é de simples entendimento e instalação pois conta apenas com três pinos (VCC, GND, SINAL). Tendo uma alimentação simples de 5V que é obtido a partir do cabo USB ligado a um Notebook, GND é o pino terra do sensor e por fim o SINAL que recebe os dados para serem enviado ao Arduino com a programação para a realização da leitura dos dados por meio de um gráfico.

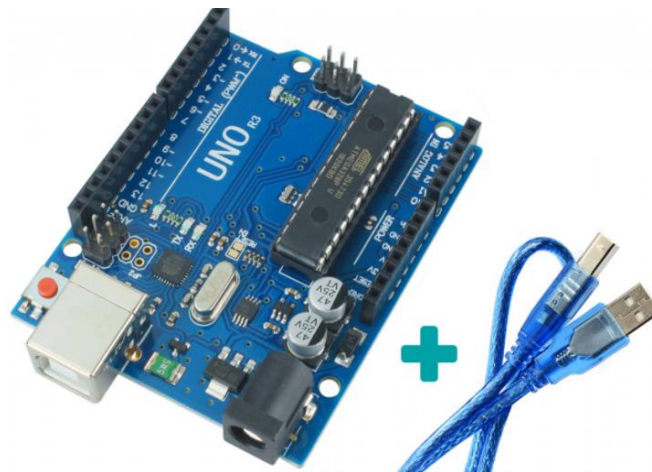
Figura 24 – Sensor de vibração



Fonte: UsinalInfo, (2020)

Segundo Banzi (2011), arduino é uma plataforma para realização de prototipos com base em *Software* e *Hardware* com utilização simples e fácil compreensão. Ainda Banzi diz que arduino foi criado para iniciantes sem experiência com desenvolvimento de software ou programação em eletrônica.

Figura 25 – Arduino UNO



Fonte: UsinalInfo, (2020)

Com um sistema forçado para realizar vibrações, o sistema tende a vibrar quando realizamos o desbalanceamento proposital por meio do disco de desbalanceamento. Assim pode-se realizar a coleta dos sinais de vibração são processados e analisados via Software. Após a coleta de dados é necessário a realização de uma análise comparativa entre os resultados obtidos inicialmente com o sistema em equilíbrio e os resultados com o sistema em falha.

Para realização da coleta de dados via Arduino é necessário que se tenha uma programação que seja carregada no Arduino para que o sensor realize a leitura do programa e seja realizado a transmissão via serial ploter dos resultados nas formas de onda. Esta programação está citada na figura 26.

Figura 26 – Programação para Arduino

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  pinMode (13, OUTPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  Serial.println(analogRead(A0));

  if(analogRead(A0) > 1500)digitalWrite(13, HIGH);

  else digitalWrite(13, LOW);

  delay(55);
}
```

Fonte: Autor (2020)

Na figura 26 se tem a apresentação da programação utilizada no programa Arduino 1.8.7 em um notebook para transmissão dos dados na forma de onda da vibração. Inicialmente temos a entrada padrão para toda programação em Arduino, o *put your setup code here*. Após, temos o *Serial.begin (115200)* que é a definição da velocidade em que a forma de onda irá se deslocar.

O *Serial.println* corresponde a entrada A0, que é entrada analógica do Arduino. Assim, temos que se nossa entrada analógica A0 for maior que 1500 o LED irá acender. E por final apresentamos o *delay* em micro segundos que nada mais é o tempo de resposta em sistema irá apresentar os resultados.

4.1.3 RECURSOS NECESSÁRIOS

Para o presente trabalho utilizou-se os recursos listados a seguir:

- a) SolidWorks;
- b) Arduino IDE 1.8.7;
- c) Placa de Arduino UNO e sua programação;
- d) Motor, eixo, mancais, rolamentos, sensor de vibração, buchas de elevação;
- e) Computador para recebimento dos dados e análise dos mesmos;
- f) Chapas, parafusos, porcas, arruelas, tubos de 20x20mm, tubos de 40x40mm;

4.2 RESULTADO DOS TESTES

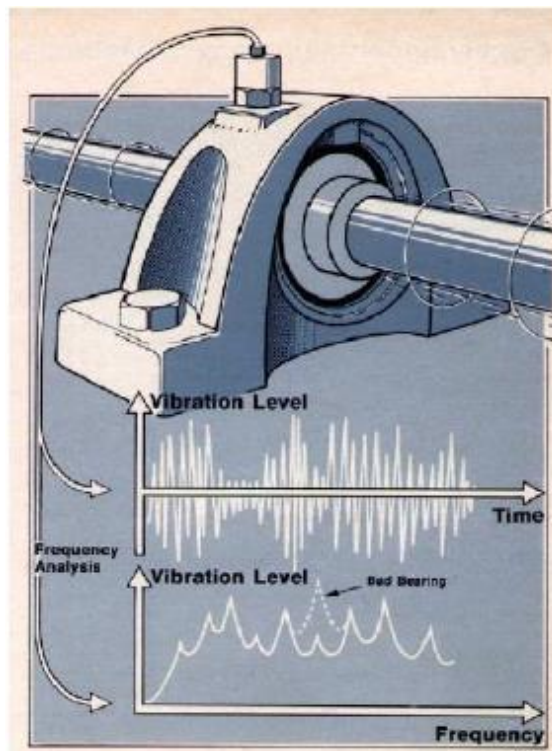
Realizando os testes nos mancais dos rolamentos foi possível obter dados para a análise de vibração nos locais indicados. A vibração em excesso é um dos principais motivos de levar a falha em equipamento e assim resultando na parada do mesmo. Uma das maneiras mais eficazes de realizar a leitura desta vibração é por uma análise de vibração que demonstra a frequência em relação ao tempo.

Os testes podem ser realizados através do uso de um sensor conectado a uma placa de interface capaz de realizar a medição por meio da execução de um programa escrito para realizar a leitura analógica destes dados e transformando em forma de onda por transformada de Fourier.

Realizar a leitura da vibração nos mancais dos rolamentos é uma das formas mais eficazes para verificar em qual estado de qualidade se encontra o rolamento. Um dos principais motivos das falhas em mancais de rolamentos é a sobrecarga aplicada no rolamento, montagem de forma incorreta, falta de lubrificação, falha da vedação do rolamento e acúmulo de resíduos externos, entre outros SALOMÃO (2013).

Ainda Salomão (2013), diz que qualquer defeito altera a vibração da máquina e por isso a coleta dos dados da vibração é uma ótima ferramenta para realização das manutenções preditivas e como consequência a gestão de ativo.

Figura 27 – Defeito alterando a forma de vibração do equipamento



Fonte: Salomão (2013).

4.2.1 DESBALANCEAMENTO FORÇADO.

Para realizar o desbalanceamento forçado na bancada de testes, foi utilizado um processo para o desestabilizar o conjunto que compõe a bancada conforme a Figura 20. Nas situações de simulação, inicialmente optou-se pelo emprego de rotação sem nenhuma massa de desbalanceamento, visando verificar se o sistema se encontravam em equilíbrio. Na sequência, foram realizados testes utilizando rolamentos nos mancais cujas condições não eram satisfatórias para o uso em

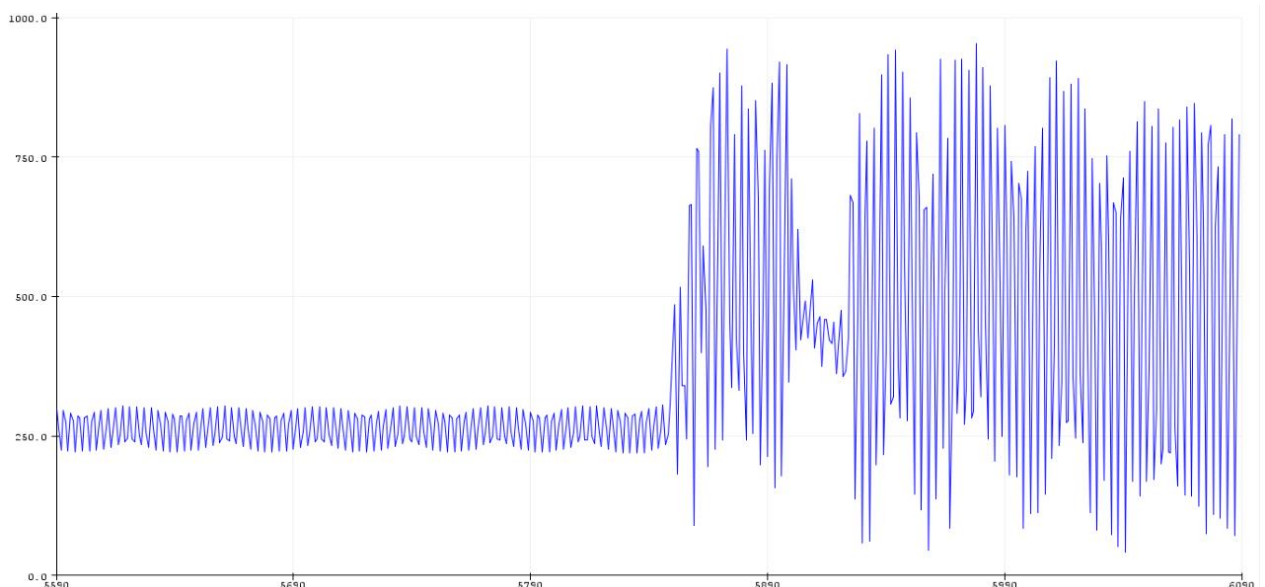
situações normais, ou seja, já estavam com avançado sinal de desgaste ou deterioração.

Como mostrado figura 26, no início dos testes na bancada foi fixado o sensor diretamente no mancal com o rolamento em ótimas condições, sendo possível verificar que a frequência oscilava entre 230Hz até 270Hz causada por uma interferência que temos na rede elétrica que é influenciada pelo motor ligado a energia elétrica, e o notebook em que o sistema está ligado, assim é um sistema que já encontrar uma interferência interna pelo motivo de que se encontra ligada a energia elétrica que por si só já apresenta uma interferência.

Lembrando que nosso sensor que analisa a vibração do conjunto tem uma taxa de vibração de 0 a 1000Hz de frequência, e tal fato deve-se ao não uso de filtros para essas frequências.

Após, deixado um tempo o sensor realizando a leitura desta frequência foi ligada a bancada e assim é possível ver nitidamente a variação da vibração que está sendo exercida pelo mancal. Na figura 28 é possível observar o resultado apresentado nesse teste, sendo que o gráfico que realiza a leitura da vibração é de frequência X tempo, assim pode-se observar a relação do tempo a variação desta vibração.

Figura 28 – Teste inicial para frequência x tempo



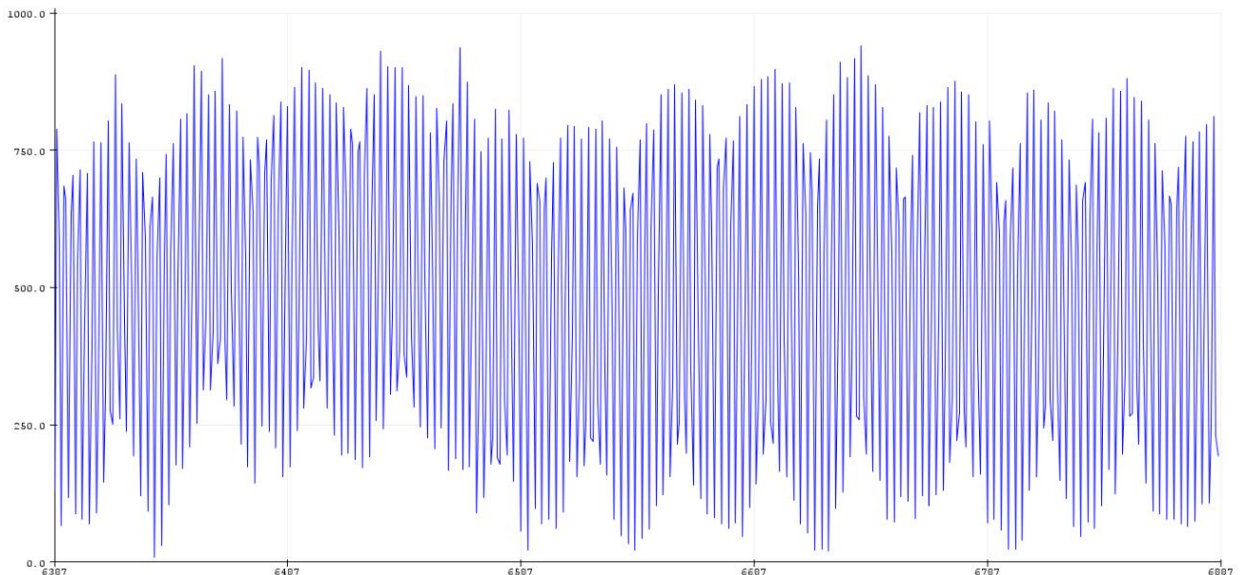
Fonte: Autor (2020)

Após um tempo da bancada de testes ligada, foi possível observar que a frequência de vibração teve suas ondas de vibração constantes, ou seja, a vibração

que se encontrava no mancal era a mesma por não sofrer nenhum tipo de manipulação externa capaz de forçar a vibração do rolamento.

Neste teste é possível ver na prática, a leitura dos testes do pico-a-pico na frequência da vibração. Foi possível perceber um padrão na vibração, pois como não se contra auxílios externos, ou seja, a massa de desbalanceamento que faz que se tenha uma vibração à mais no sistema ainda não foi aplicada. Também é perceber como deveria ser a forma de onda de um equipamento em operação normal de uso, e assim traçar um histórico para fazer a comparação com os testes futuros da variação da frequência e assim conseguindo de uma forma mais rápida ver que o rolamento se encontra com problema.

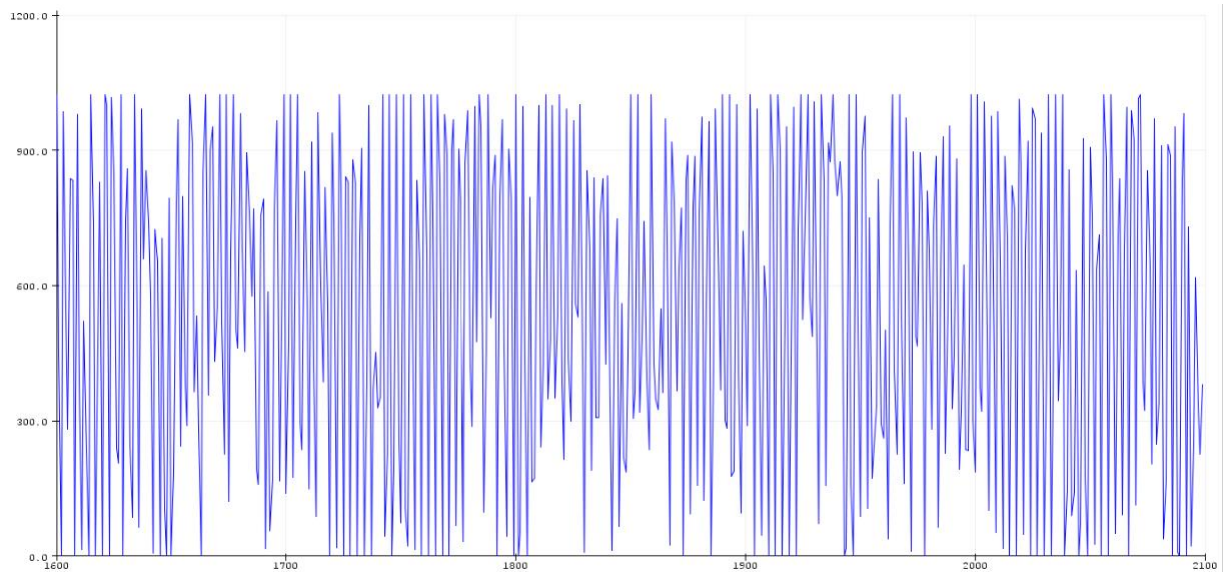
Figura 29 - Sinal de vibração obtido sem nenhuma massa de desbalanceamento



Fonte: Autor (2020)

Para que se tenha noção de diferença na vibração, foi utilizado um rolamento com desgaste, com muitas horas de uso e sem nenhum tipo de lubrificante para ver a diferença de vibração no rolamento. É possível verificar diretamente no gráfico uma diferença no valor de pico a pico pois o rolamento novo tem uma vibração que não chega ao pico máximo do sensor que é de 1000hz, já o rolamento com problemas tem a variação completa de 0 a 1000hz e com uma diferença notável como visto na figura 29.

Figura 30 - Rolamento com desgaste sem massa de desbalanceamento



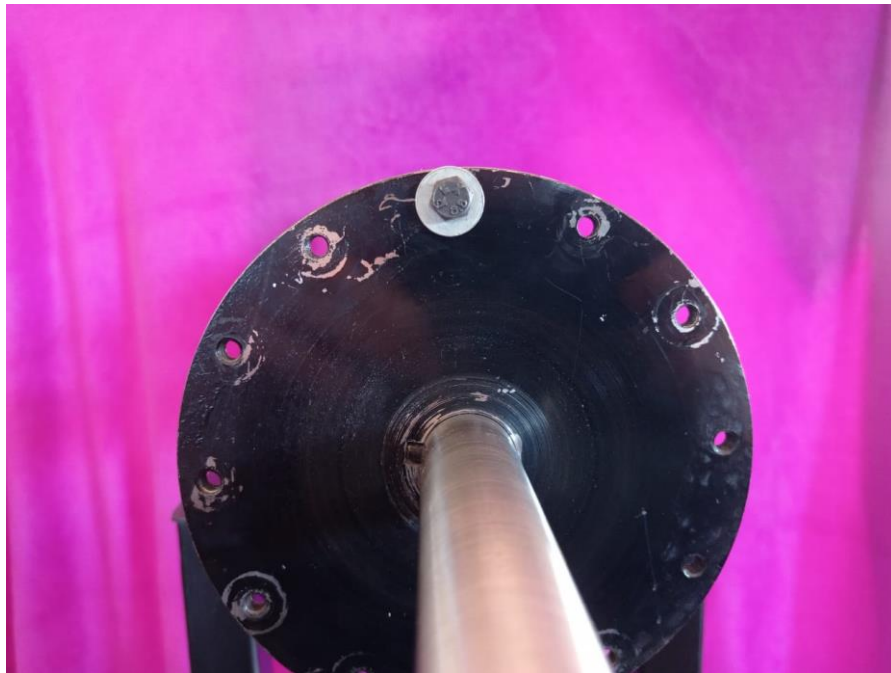
Fonte: Autor (2020)

Com o teste base já realizado é possível realizar os testes com vibração forçada para que se possa ser visto a diferença na vibração e simulando as vibrações de várias formas. Após uma análise no gráfico apresentado, foi possível verificar na prática que ao realizar testes de vibração, mesmo que com sistema rudimentar, a frequência desta vibração apresenta um padrão, e que se fosse uma aplicação em um sistema industrial normal, pode-se aplicar de forma correta a manutenção preditiva.

Realizando o primeiro teste com massa de desbalanceamento pode-se ver que a diferença da frequência já é notável. Tendo em vista que massa de desbalanceamento é composto por 1 parafuso M6x20mm com complemento de uma porca e uma arruela que juntas pensam aproximadamente 20g com variação de $\pm 1g$. Com a adição da massa visualmente o desempenho do conjunto não se alterou, mas realizando a leitura da vibração é possível notar a diferença.

Com o objetivo de analisar as excitações provocadas pelo deslocamento do centro de massa forçando a vibração no rolamento, foi adicionado ao conjunto uma massa para o desbalanceamento (parafuso, porca e arruela) com peso aproximado de 20g cada conforme mostrado na figura 31. Essas massas foram colocadas a 30° uma da outra para que assim tivéssemos uma vibração com uma frequência diferente e conseguindo estudar os efeitos da vibração

Figura 31 – Disco de desbalanceamento com uma massa



Fonte: Autor (2020)

Na figura 32, é possível observar o sinal obtido pelo sensor de vibração durante a medição, verificando que sem nenhuma massa adicionada ao conjunto, a frequência tem uma variância maior, e que na vibração temos uma onda de pico a pico menor e com um padrão na vibração.

Já com a adição de massa, foi possível a variação maior no padrão de vibração e o pico-a-pico da vibração se encontra uma variação de maior quantidade. Com base nos conceitos apresentados no referencial, pode-se notar que a existência de um desbalanceamento em um sistema rotativo provoca o aumento na amplitude da vibração, e isso conseguimos notar a diferença já nos dois primeiros testes realizados.

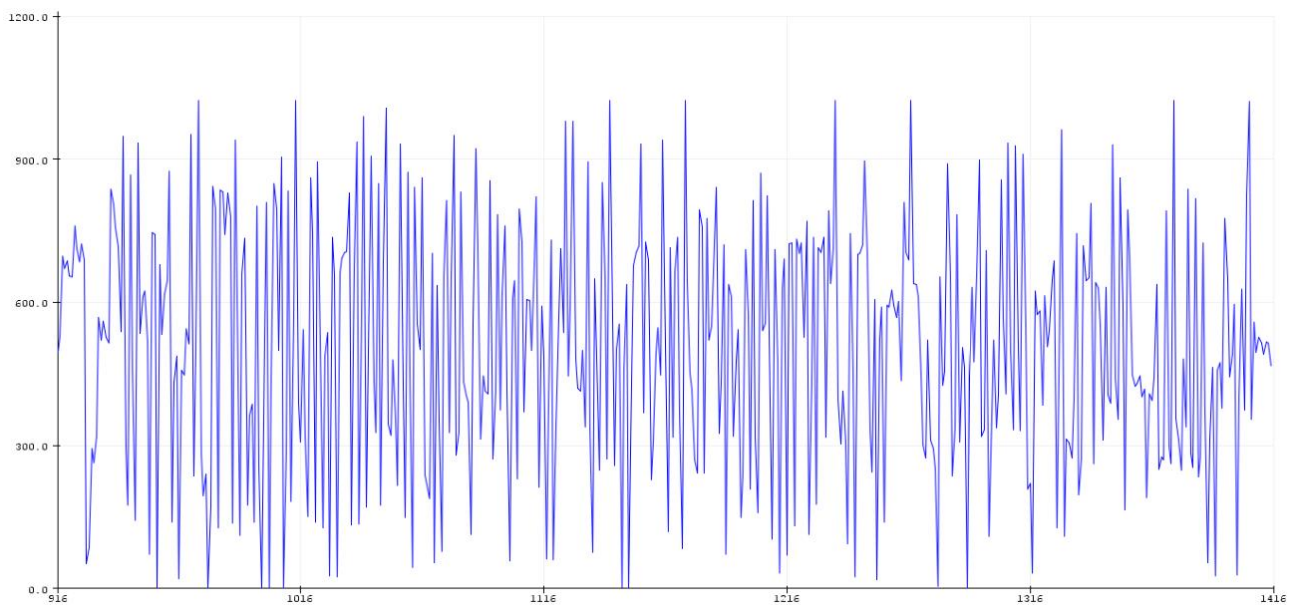
Logo após os testes com o rolamento bom, figura 32, foram realizados os testes com uma massa de desbalanceamento no disco e com o rolamento em condições ruins, figura 33. Pode-se notar que se o sistema trabalha com um rolamento com problemas se tem muito mais vibração e como consequência a vibração afeta todo o sistema, sendo ele se o mesmo contém em ligação mais rolamentos, o próprio motor e nele podemos ter problemas na tampa que pode ocorrer desgastes e assim no futuro afetar o funcionamento. E se isto acontecem irá gerar uma vibração em conjunto fazendo que o sistema possa entrar em colapso por excesso de vibração

Figura 32 - Sinal de vibração obtido com uma massa de desbalanceamento



Fonte: Autor (2020)

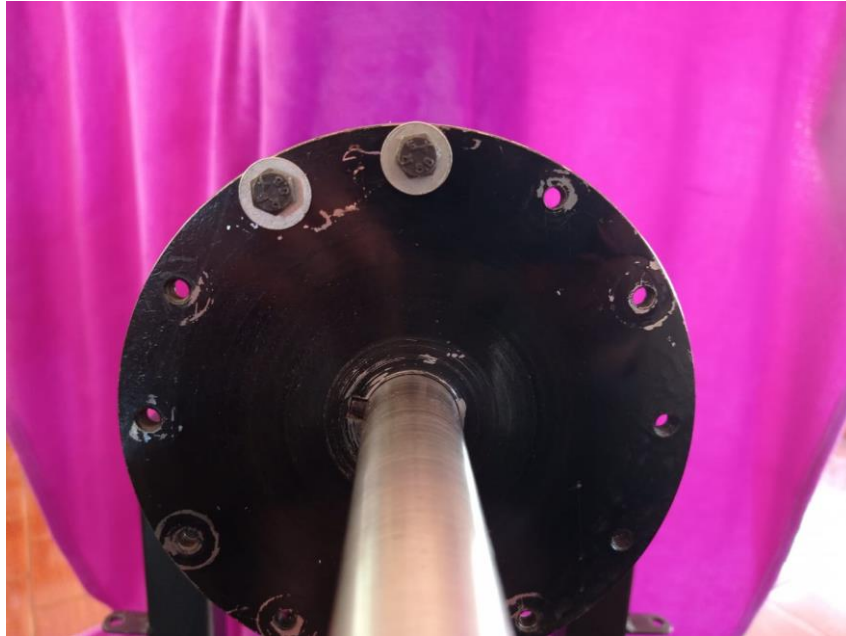
Figura 33 - Sinal de vibração com uma massa de desbalanceamento com rolamento com desgaste.



Fonte: Autor (2020)

Realizando-se os testes com uma massa de desbalanceamento e assim conseguimos ver a diferença na frequência de vibração. Com a vibração forçada por meio da massa de desbalanceamento como no primeiro caso a vibração vai de 0 a 1000hz que mostra que a vibração é muito mais acentuada neste tipo de situação.

Figura 34 - Disco de desbalanceamento com duas massas a 30° uma da outra



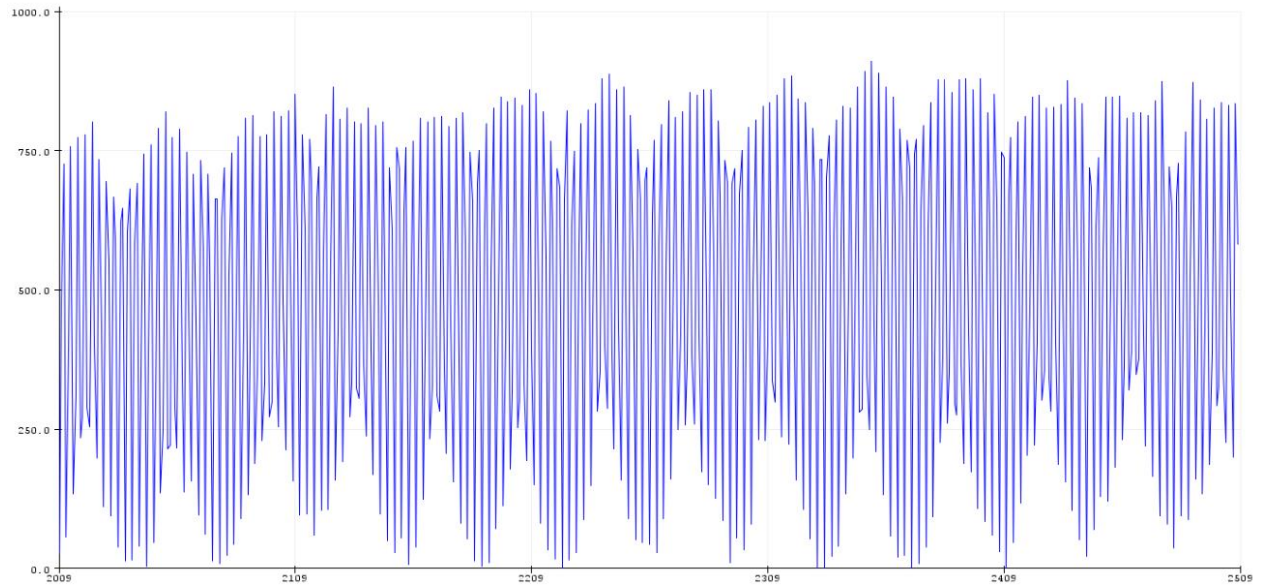
Fonte: Autor (2020)

É importante salientar que o motivo destes testes é mostrar o que pode acontecer na prática com rolamentos em equipamentos industriais. Essas vibrações são forçadas para mostrar os possíveis estágios que o rolamento pode encontrar-se. Com uma vibração somente influenciada pelo funcionamento da máquina, e as vibrações que podem ser causadas pelo tempo de uso do rolamento com falha, seja por falta de lubrificação ou influenciadores externos por exemplo.

Com o teste realizado pode-se ver que com a adição de apenas uma massa de desbalanceamento a frequência de vibração tem uma variação maior, ou seja, ela tem um pico de vibração que chega aproximadamente 800hz e vai descendo gradualmente até chegar no valo mínimo da vibração naquele momento.

Já com com duas massas de desbalanceamento conseguimos notar que a frequência alterase de maneira diferente, e o valor máximo encontra-se próximo em todos os picos, porém o menor valor reage de forma inversa do que acontece com apenas uma massa, chegando no valor minimo de, aproximadamente, 0hz e vai tendo a variação até chegar no seu valor máximo.

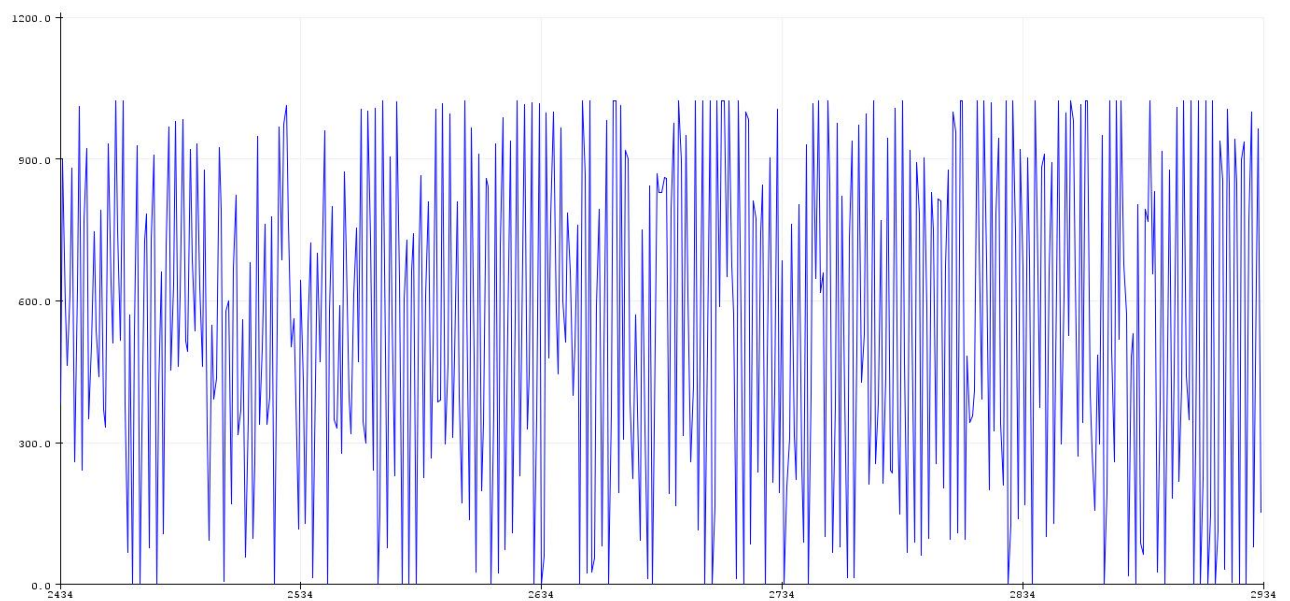
Figura 35 - Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 30°



Fonte: Autor (2020)

Ainda, com o intuito de ver o que podemos encontrar sobre uma vibração forçada, como nos testes anteriores foi realizado a substituição do mancal com rolamento, para um que tenha problemas já com o tempo de uso elevado e sem lubrificação. Assim, a figura 36 apresenta a seguinte frequência de vibração encontrada.

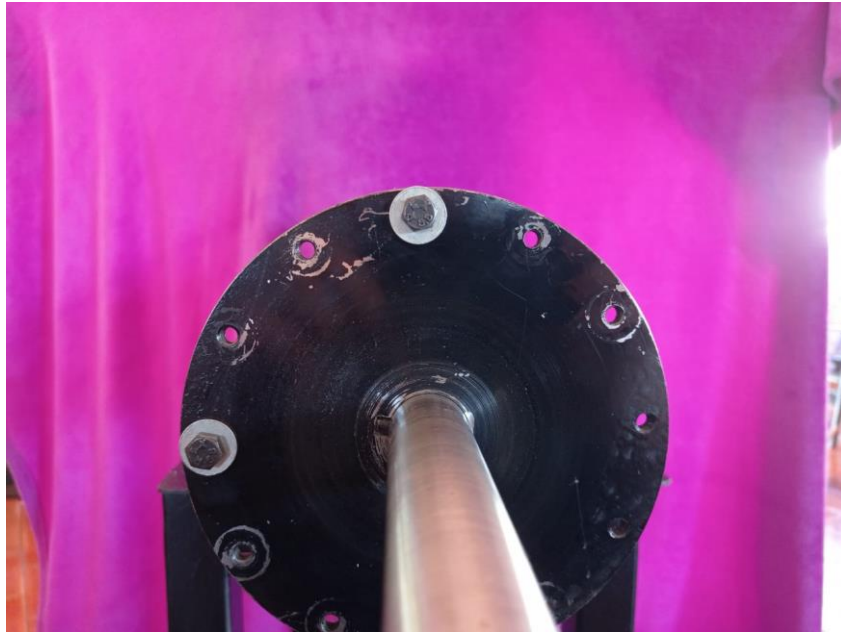
Figura 36 - Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 30° com rolamento com desgaste.



Fonte: Autor (2020)

Com o objetivo ainda de ver os efeitos da vibração sobre um conjunto, foi adicionado duas massa de desbalanceamento, porém as mesmas ficam a 90° uma da outra.

Figura 37 - Disco de desbalanceamento com duas massas a 90° uma da outra



Fonte: Autor (2020)

O motivo destes destes é demonstrar o aumento de energia ou pico de frequência, com a adição das massas de desbalanceamento juntamente com o rolamento com problemas forçados o aumento da energia nesta região de atuação quando comparada ao sinal de frequência obtido no inicio com a bancada balanceada.

Figura 38 - Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 90° .



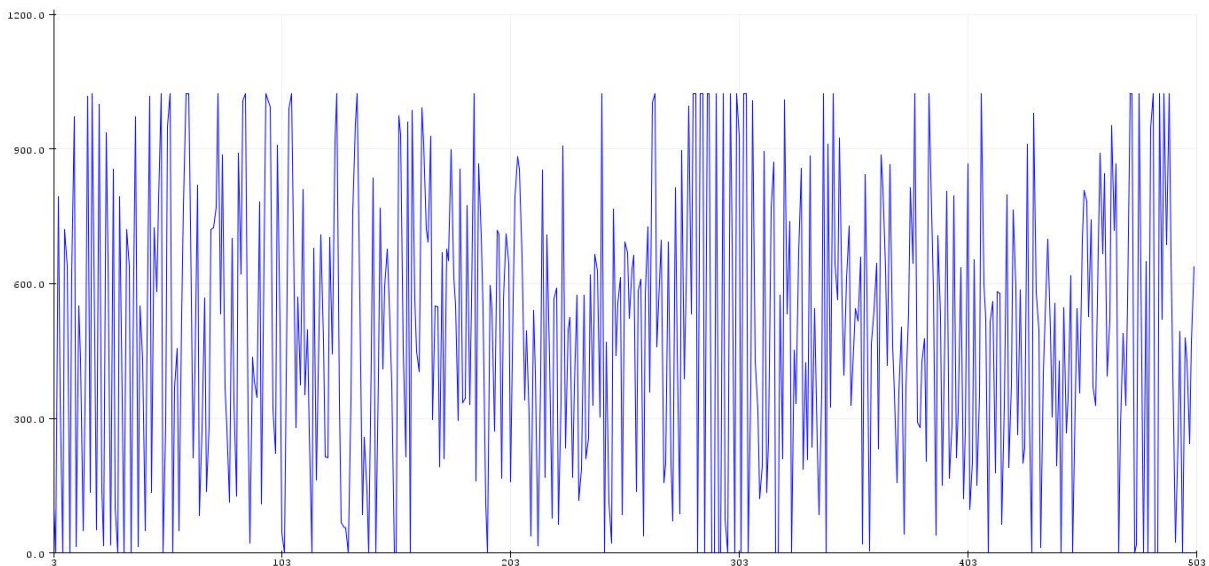
Fonte: Autor (2020)

Com o sinal da frequência com as massas a 90° uma da outra, os dados são com um sinal maior, com valores aproximados de 1000hz, pois a energia que dispersada sobre o rolamento é maior.

Após os testes finalizados na bancada com os rolamentos em boas condições foi realizado o teste com o rolamento com condições ruins e com as massas de desbalanceamento a 90° uma da outra.

Com os testes realizado é possível ver na (FIGURA 39) a diferença de frequência recebida pelo mancal com a vibração do conjunto. Como se era esperado a vibração teve a variação máxima de 0 a 1000hz e com ondas em espalhadas uma da outra com por não ter um padrão a seguir como é possível observar na bancada em balanceamento funcionando apenas com o sistema sem nem uma interferencia nos resultados obtidos.

Figura 39 - Sinal de vibração obtido com duas massas de desbalanceamento a 90° com rolamento com desgaste.

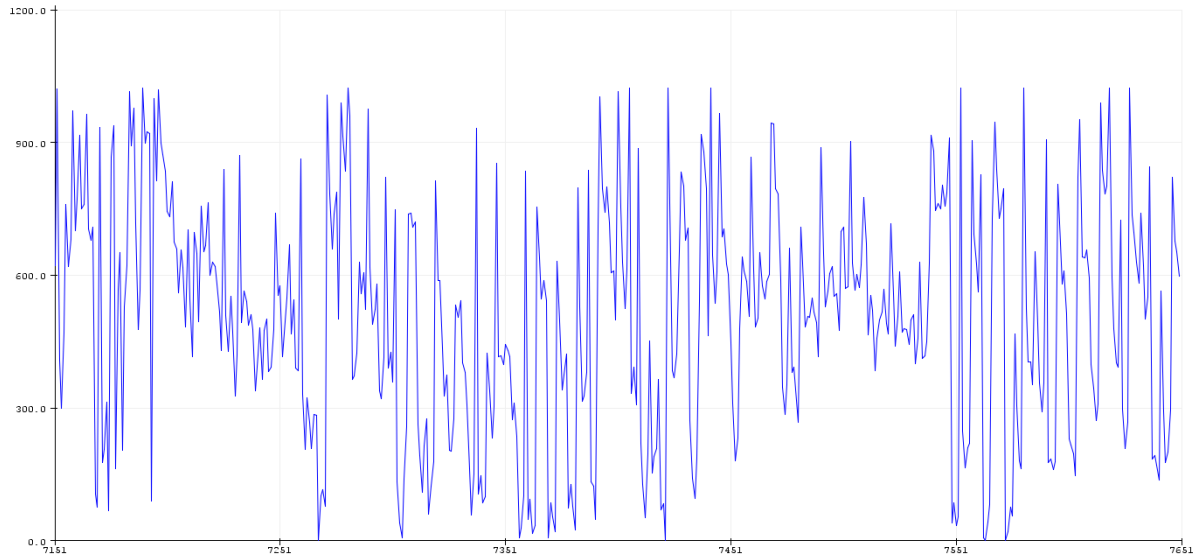


Fonte: Autor (2020)

Com o objetivo de ver como seria a vibração em um rolamento em um sistema real semelhante aos equipamentos encontrados empresas, foi realizado um ultimo teste. Neste teste a bancada com os rolamentos ruins sem nenhuma massa de desbalanceamento ficou em funcionamento por aproximadamente 4 horas. Após as 4 horas ligado direto foi possível ver apenas com a inspeção visual que a vibração já estava maior e que a bancada se comportava de uma forma diferente. Assim, foi feito

o acoplamento do sensor de vibração ao mancal e obteve-se o seguinte sinal de frequência.

Figura 40 - Vibração na bancada após algumas horas em funcionamento.



Fonte: Autor (2020)

No momento em que houve a coleta desta amostra, foi possível ver que não tem-se mais um padrão de vibração, observando-se que os sinais variam de 0 a 1000hz, podendo ver que a vibração está alta, oscilando muito.

4.3 AQUISIÇÃO DE PEÇAS

Depois da modelagem do projeto e realizado a escolha dos componentes que seriam utilizados na bancada foi realizado o levantamento dos materiais que seriam necessários a compra.

Com o levantamento de custos foi possível identificar os custos de um projeto deste modelo e também para ter um planejamento durante o desenvolvimento do presente projeto.

4.3.1 ITENS COMPRADOS

Para que os itens fossem comprados no comércio local foi realizada uma pesquisa, e algumas das peças compradas prontas sem necessidade de fabricação,

e outros componentes do projeto foram fabricadas especialmente para aplicação na bancada

Tabela 1 mostra os componentes que foram necessários a compra e fabricação para a montagem.

Tabela 1 - Lista de componentes comprados para a bancada

Descrição	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Barra quadrada 6m 20x20mm esp. 1,2mm	1	R\$ 48,00	R\$ 48,00
Barra quadrada 6m 40x40mm esp. 1,2mm	2	R\$ 63,00	R\$ 126,00
Parafuso sextavado M6x20mm	12	R\$ 0,39	R\$ 4,68
Porca sextavada M6	12	R\$ 0,15	R\$ 1,80
Arruela M6	12	R\$ 0,15	R\$ 1,80
Parafuso sextavado M8x25mm	8	R\$ 0,55	R\$ 4,40
Arruela M8	8	R\$ 0,30	R\$ 2,40
Parafuso sextavado M12X60	4	R\$ 2,40	R\$ 9,60
Porca sextavada M12	4	R\$ 1,80	R\$ 7,20
Arruela M12	4	R\$ 0,90	R\$ 3,60
Eletrodo para solda	1	R\$ 25,90	R\$ 25,90
Motor elétrico monofásico 1cv	1	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção motor elétrico	1	R\$ 190,00	R\$ 190,00
Mancal P205	4	R\$ 65,00	R\$ 260,00
Rolamento UC 205	2	R\$ 35,00	R\$ 70,00
Rolamento UC 205 estourado	2	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Eixo 750mm Ø25mm	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
Chapas 3mm para base	2	R\$ 21,90	R\$ 43,80
Acoplamento CG-067	1	R\$ 69,90	R\$ 69,90
Buchas de elevação dos mancais	4	R\$ 20,00	R\$ 80,00
Usinagem acoplamento	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
Usinagem rasgo de chaveta eixo	1	R\$ 35,00	R\$ 35,00
Corte a Laser disco de desbalanceamento	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Acrílico para conjunto de proteção	3	R\$ 140,00	R\$ 420,00
Tinta spray para pintura	3	R\$ 42,90	R\$ 128,70
TOTAL	95		R\$ 1.697,78

Fonte: Autor (2020)

Como se pode observar na tabela 1 o motor que foi utilizado na banca não teve custo pois o mesmo não foi necessário à compra. O rolamento UC205 com problemas para simulações foi doado por uma empresa de manutenções, assim nem um dos componentes teve custo adicional para o projeto necessitando a aquisição.

CONCLUSÃO

O tema abordado consiste em um assunto de grande relevância para a formação do futuro engenheiro e é a partir desta ideia que essa bancada foi projetada. Assim este trabalho visa oferecer uma alternativa de baixo custo para ser utilizado no estudo das vibrações mecânicas. A utilização de uma bancada que possibilite aos estudantes visualizar o comportamento de um sistema mecânico quando exposto a vibrações pode ser um facilitador no instante da formulação de conceitos teórico/prático.

O desenvolvimento deste trabalho tem por finalidade demonstrar como a vibração mecânica pode influenciar diretamente com o desempenho de uma máquina, afetando a vida útil dos componentes ou de um sistema ligado diretamente a ela. Um dos componentes mais presentes no trabalho são os rolamentos, cuja aplicação dá-se em grande parte dos equipamentos em que haja sistemas rotativos, tendo como finalidade minimizar o atrito entre peças moveis. Assim, faz-se necessária a aplicação da análise de vibração periódica, para que seja possível detectar defeitos ocultos que podem estar presentes nos rolamentos.

Com base nos resultados das experiências realizadas para construção deste trabalho, dentro das diferentes abordagens cabe destacar que a partir da análise de vibração realizada na bancada, é possível verificar o potencial de reprodução de sinais de vibração encontradas nas máquinas em indústrias, o que demonstra que esta análise poderia apresentar bons resultados quando aplicados em grande escala.

Por fim podemos concluir que os objetivos propostos foram alcançados, tendo todas as etapas concluídas e como as principais sendo construir um protótipo didático para melhor entendimento da vibração tridimensional realizando testes. Com os testes prontos foi possível validar os resultados obtidos com análises gráficas que demonstram nitidamente as vibrações. Com a pesquisa bibliográfica realizada conseguimos entender melhor como analisar estes gráficos concluindo a presença das vibrações.

Para trabalhos futuros é indicado realizar a mudança do motor monofásico por um motor trifásico e com ele um conjunto de inversor de frequência para que a frequência da rotação possa ser controlada. Para realização de um complemento maior é possível a instalação de um analisador de vibração não comercial, compondo

um kit de análise de vibração completo para que se tenha os melhores resultados possível.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Maurício Jose, **Desenvolvimento de bancada didático experimental de baixo custo para aplicações em controle ativo de vibrações**, Universidade Estadual de Campinas, SP, Dissertação de Mestrado, 2016
- ANTONIOLLI, Edilar Bento, **Estudo comparativo de técnicas de medição e análise de vibrações para manutenção preditiva em mancais de rolamentos**, Universidade federal de Santa Catarina, 1999.
- BANZI, M. **Primeiros passos com o Arduino**. Novatec, São Paulo, SP, 2011.
- BASTOS, Rodrigo José, **Previsão de falhas em rolamentos utilizando a demodulação de sinais de vibração**, Faculdade Anhanguera de Matão, 2011.
- CAMPOS, Rafael Nóbrega, **Análise experimental de balanceamento de rotores pelo método de otimização “four run method accelerated”**, Universidade de Brasília, DF, 2017.
- GARCIA, Maurício Sanches, **Análise de defeitos em sistemas mecânicos rotativos a partir da monitoração de vibrações**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, SP. 2008.
- GOMES, G.F.e Baroni, T. D’Aquino, **Manutenção preditiva por ferrologia**. Mundo mecânico, 1990.
- HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER J. **Fundamentos da física: gravação, ondas e termodinamica**, volume 2. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- HEIDRICH, Roberto M., **Controle de vibrações**, departamento de engenharia mecânica, Unidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- ISO 10816-3:2009. **Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/50528.html>>, Acesso em 04 Outubro 2020.
- ISO 6789-1: 2017. **Assembly tools for screws and nuts — hand torque tools — part 1: requirements and methods for design conformance testing and quality conformance testing: minimum requirements for declaration of conformance**.

Disponível em <<https://www.iso.org/standard/62549.html>>, acesso em 05 Outubro 2020

LIMA, Israel Antônio Macedo da, **Proposição de uma bancada didática pra análise de vibração em manutenção preditiva**. Monografia, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, 2014.

MENDES, André de Souza, **Desenvolvimento de software em labview para balanceamento dinâmico de rotores**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2013.

MATHIAS, **Ferramentas de diagnóstico de máquinas**, Universidade Estadual Paulista, 2018.

MATOS, Wiriton Silva de, **Redução de custos em manutenção de equipamentos mecânicos**. 1980.

MITCHELL, Jhon S. **Introducion to machinery analysis and monitoring**. 2 ed. Oklahoma. 1990.

MOBIUS, Institute. **Treinamento de vibração nível I**. Apostila de curso de Análise de vibrações Category I, 2017.

NBR5462, **Confiabilidade e manutenibilidade**, ABNT, RJ, 1994.

NSK,Brasil.Disponível:<[http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. acesso em: 23 setembro de 2020

PACHOLOK, Mariano, **Uso da termografia para avaliação do desalinhamento de eixos de máquinas rotativas uma ferramenta auxiliar à análise de vibrações**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PR, 2004.

RAO, Singiresu S. **Vibrações Mecânicas**, Pearson Prentice Hall, 4 ED., 2009

RICARDO, Casto de, **Vibrações Mecânicas**, PUC- Rio, RJ, 2018.

ROCHA, Diego Lilargem. **Análise de vibrações em equipamentos rotativos de uma indústria alimentícia**. IFF, 2014. Disponível em: <<http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/1530/4/Documento.pdf>>. Acesso em 05 Outubro 2020.

SALOMÃO, Luiz Felipe. **Manutenção por análise de vibrações: Uma valiosa ferramenta para gestão de ativos**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, RJ, 2013.

SANTOS, Valdir Aparecidos dos, **Manual prático de manutenção industrial**, São Paulo, SP, 2007.

SILVA, Samuel da, **Vibrações Mecânicas**, Universidade Estadual do Oeste do paraná, UNIOESTE, PR, 2009.

WEBER, Abilio José; et al. **Curso profissionalizante de mecânica: manuten o**, Funda o Roberto Marinho, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

APÊNDICE A – DESENHOS DETALHADOS DO PROJETO

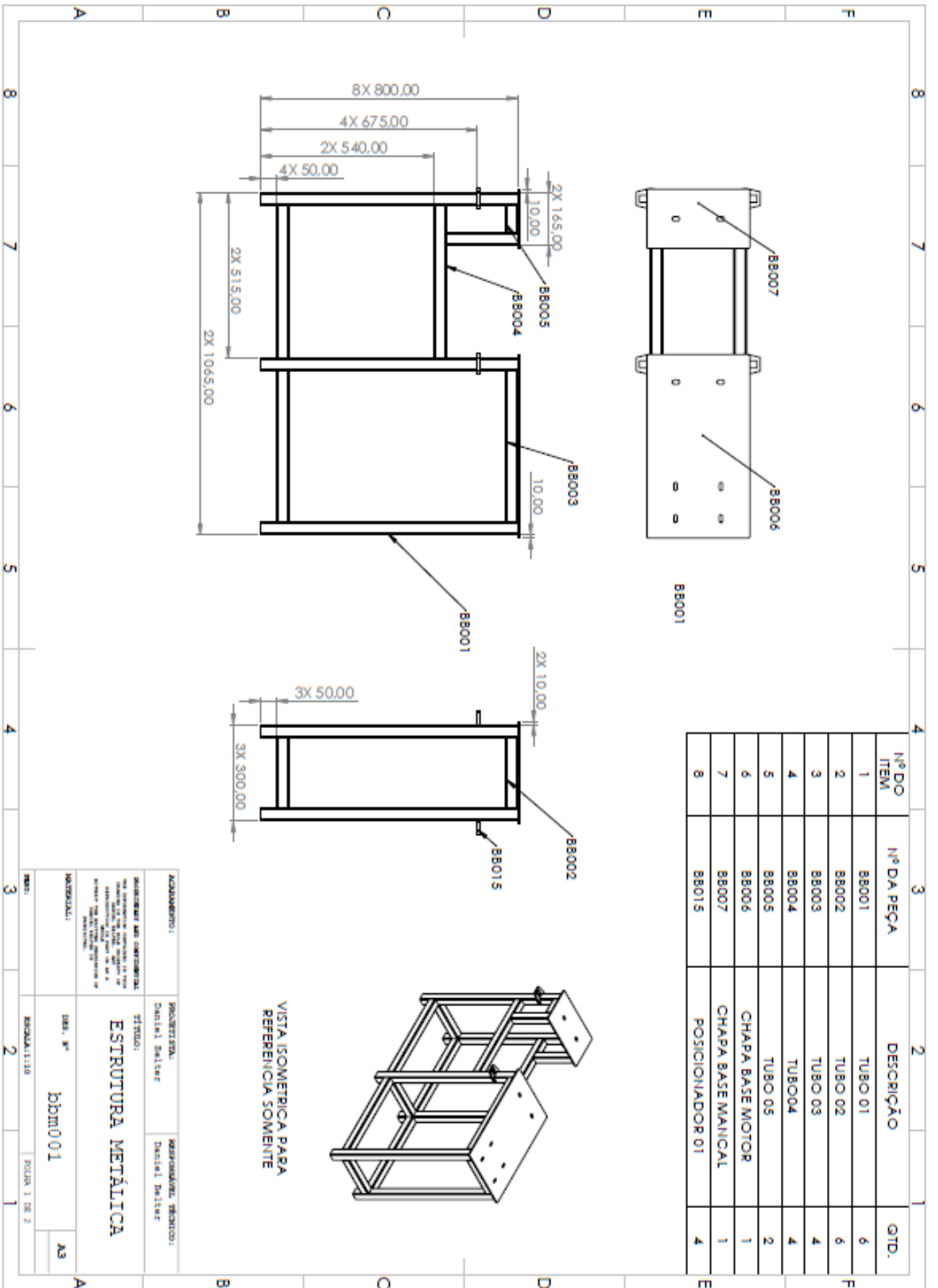
Neste presente apêndice se é apresentado as principais peças e conjunto do projeto, conforme ordem listada á baixo.

Importante ressaltar que apenas os principais componentes foram listados a seguir, porém todos os componentes ficam a disposição com o autor para avaliação ou verificação.

Tabela 2 : Detalhado de peças e conjuntos

Nome do Conjunto	Descrição
bbm001	Estrutura metálica
bbm002	Conjunto disco balanceador
bbm003	Conjunto de proteção
Mancal	Mancal P205
Motor	Motor elétrico 1CV
Acoplamento	Acoplamento CG-067

Fonte: Autor (2020)



Nº DO ITEM	Nº DA PEÇA	DESCRIÇÃO	QTD.
1	BB001	TUBO 01	6
2	BB002	TUBO 02	6
3	BB003	TUBO 03	4
4	BB004	TUBO 04	4
5	BB005	TUBO 05	2
6	BB006	CHAPA BASE MOTOR	1
7	BB007	CHAPA BASE MANICAL	1
8	BB015	POSICIONADOR 01	4

<p>ACABAMENTO: GALVANIZADO A QUENTE E PINTADO EM POLÍMERO EPÓXI PRETO R-100</p>	<p>PROJETISTA: Daniel Dalbez</p>	<p>RESPONSÁVEL TÉCNICO: Daniel Dalbez</p>
<p>OBJETO: ESTRUTURA METÁLICA</p>		
<p>MATERIAL: Aço SAE 1020</p>	<p>DESL. Nº: 10dm001</p>	<p>PROJ. Nº: 10dm001</p>
<p>PROJ. Nº: 10dm001</p>		<p>PÁGINA 1 DE 2</p>

