CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

GUILHERME JUPI QUEIROZ SANTOS

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA NOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE UM MOTOR ROTATIVO DEVIDO AO USO DE ISOLADORES

CASCAVEL
2019

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

GUILHERME JUPI QUEIROZ SANTOS

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA NOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE UM MOTOR ROTATIVO DEVIDO AO USO DE ISOLADORES

Trabalho apresentado à disciplina TCC – Projeto como requisito parcial para obtenção da aprovação semestral no Curso de Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário Assis Gurgacz.

Professor (a) Orientador (a): Me. Eng. Mec. Sergio Henrique R. Mota

CASCAVEL
2019

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

GUILHERME JUPI QUEIROZ SANTOS

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA NOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO DE UM SISTEMA DEVIDO AO USO DE SUPORTES

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para obtenção de aprovação semestral no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Assis Gurgacz

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Professor MSC. MBA Sergio Henrique R. Mota
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Professor Me. Eliseu Avelino Zanella Junior.
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Professor Esp. Rogério Luiz Ludegero
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos minha filha e minha esposa,
pelo amor infinito e compreensão, fontes de minha extrema motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família por todo o esforço e energia gasta para que eu pudesse estar aqui hoje.

A minha esposa por entender minha ausência diária durante esta longa caminhada e minha filha por me dar forças todos os dias e a coragem para não desistir

RESUMO

Este trabalho mostrou uma análise de vibrações mecânicas de um sistema mecânico, usando um equipamento capaz de medir os níveis de oscilação gerada (IFM) pelo funcionamento do sistema escolhido, e qual foi a interferência nesses níveis com a adição de métodos que isolem as vibrações, também fazendo um comparativo de antes e depois. Com o objetivo de analisar com o fim de comparação os níveis de vibração de um motor rotativo com o uso de métodos que isolem as vibrações e sem o uso desses métodos. O projeto começou com pesquisas bibliográficas sobre o assunto/tema para uma melhor explicação dele, as pesquisas foram focadas na área de vibrações, visando sempre a sua interferência em mecanismos devidamente preparados ou não. A parte prática desse projeto será realizada no laboratório de vibrações da FAG, que fornece todo o kit de vibrações, sendo necessário apenas o uso de um computador para a obtenção de dados, esse kit dispõe de sensores que detectam vibrações, um motor WEG, bancada de fixação e uma central para leitura e análise dos dados coletados. Os testes foram realizados com frequências que foram pré-determinadas no decorrer deste trabalho e também feitas remoções dos suportes ou peças que tem como função reduzir os níveis de vibração do sistema, com o objetivo de comparar o nível de efetividade dos mesmos no grau de vibrações do motor.

Palavras-chave: vibração, análise oscilatória, isolando vibrações.

ABSTRACT

This work showed a mechanical vibration analysis of a mechanical system, using an equipment capable of measuring the generated oscillation (IFM) levels by the operation of the chosen system, and what was the interference at these levels with the addition of methods that isolate the vibrations, also doing a comparative of before and after. In order to analyze for comparison the vibration levels of a rotary motor with the use of methods that isolate the vibrations and without the use of these methods. The project began with bibliographic research on the subject for a better explanation of it, the researches were focused on the area of vibrations, always aiming for their interference in mechanisms properly prepared or not. The practical part of this project will be carried out in the vibration laboratory of FAG, which provides the entire vibration kit, requiring only the use of a computer to obtain data, this kit has sensors that detect vibrations, a WEG motor, and a central one for reading and analyzing the data collected. The tests were performed with frequencies that were predetermined during this work and also made removal of the supports or parts that has the function of reducing the vibration levels of the system, in order to compare the level of their effectiveness in the degree of vibrations of the engine.

Key words: vibration, oscillatory analysis, isolating vibrations.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CENTRAL DE DADOS 20
FIGURA 2 – SENSORES 21
FIGURA 3 - INFORMAÇÕES DO EQUIPAMENTO 22
FIGURA 4 - BASE DE MADEIRA 26
FIGURA 5 - PÉ DE BORRACHA 28
FIGURA 6 - PARAFUSOS DE FIXAÇÃO 28
FIGURA 7 - PARAFUSOS DE FIXAÇÃO 29
FIGURA 8 - PROTEÇÃO DE ACRÍLICO 29
FIGURA 9 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR 1 NA FREQUÊNCIA DE 10 HERTZ 32
FIGURA 10 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR UM EM 10 HERTZ 33
FIGURA 11 - GRÁFICO DE BARRAS DO SENSOR DOIS EM 10 HERTZ 33
FIGURA 12 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR DOIS EM 10 HERTZ 34
FIGURA 13 - GRÁFICO DE BARRAS DO SENSOR DOIS EM 10 HERTZ 35
FIGURA 14 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR TRÊS EM 10 HERTZ 35
FIGURA 15 - GRÁFICO DE BARRAS DO SENSOR QUATRO EM 10 HERTZ 36
FIGURA 16 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR QUATRO EM 10 HERTZ 37
FIGURA 17 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR UM EM 20 HERTZ ... 38
FIGURA 18 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR UM EM 20 HERTZ 38
FIGURA 19 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR DOIS EM 20 HERTZ 39
FIGURA 20 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR DOIS EM 20 HERTZ 40
FIGURA 21 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR TRÊS EM 20 HERTZ 40
FIGURA 22 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR TRÊS EM 20 HERTZ 41
FIGURA 23 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO QUATRO EM 20 HERTZ 42
FIGURA 24 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR QUATRO EM 20 HERTZ 42
FIGURA 25 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO UM EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES) 43
FIGURA 26 - ESPECTRO DE VIBRAÇÕES SENSOR UM EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES) 44
FIGURA 27 - GRÁFICO DE BARRAS PARA O SENSOR DOIS EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES) 44

FIGURA 28 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR DOIS EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....45
FIGURA 29 - GRÁFICO DE BARRAS DO SENSOR TRÊS EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....46
FIGURA 30 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR TRÊS EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....46
FIGURA 31 - GRÁFICO DE BARRAS DO SENSOR QUATRO EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....47
FIGURA 32 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR QUATRO EM 10 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....48
FIGURA 33 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR UM EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....49
FIGURA 34 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR UM EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....49
FIGURA 35 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR UM EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....50
FIGURA 36 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR DOIS EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....51
FIGURA 37 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR TRÊS EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....51
FIGURA 38 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR TRÊS EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....52
FIGURA 39 - GRÁFICO DE BARRAS GERADO PELO SENSOR QUATRO EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....53
FIGURA 40 - ESPECTRO DE VIBRAÇÃO DO SENSOR QUATRO EM 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES)....53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas 1 do procedimento laboratorial: 24
Tabela 2 - Etapa 2 do procedimento laboratorial: 25

LISTA DE SIGLAS

FAG: Fundação Assis Gurgacz 30
IFM: Empresa IFM Electronics 30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 ASSUNTO / TEMA 13
1.2 JUSTIFICATIVA 13
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA 14
1.4 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES 14
1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA 15
1.5.1 Objetivo Geral 15
1.5.2 Objetivos Específicos 15
2. REFERENCIAL TEÓRICO 16
2.1 Vibrações Mecânicas 16
2.2 Análise oscilatória 17
2.3 Isolamento de Vibrações. 18
3. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO 20
3.1 CENTRAL DE DADOS 20
3.2 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO POR CORREIA. 20
3.3 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO 22
3.4 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS 22
3.5 EXPLICITAÇÃO ACERCA DA PROPRIEDADE DAS INFORMAÇÕES GERADAS PELA PESQUISA. 30
3.6 CRITÉRIOS PARA SUSPENDER OU ENCERRAR A PESQUISA. 30
3.7 LOCAL DE REALIZAÇÃO DAS VÁRIAS ETAPAS (DESCRIÇÃO DOS LOCAIS E INSTALAÇÕES). 30
3.8 DESCRIÇÃO DA INFRAESTRUTURA NECESSÁRIA, INFORMANDO QUE O LOCAL ONDE SE REALIZARÁ A PESQUISA A POSSUI E INCLUIR A CONCORDÂNCIA DOCUMENTADA DA INSTITUIÇÃO. 30
3.9 EXPLICITAÇÃO DAS RESPONSABILIDADES DE CADA UM DOS ENVOLVIDOS NA PESQUISA. 30
3.10 DECLARAÇÃO SOBRE O USO E DESTINO DAS INFORMAÇÕES/DADOS COLETADOS. 30
3.11 LOCAL E TEMPO DE ARMAZENAMENTO (DAS INFORMAÇÕES/DADOS COLHIDOS E/OUTROS MATERIAIS). 31
4. RESULTADOS 32

4.1 SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORREIA 32

4.1.1 TESTE E COLETA DE DADOS REALIZADOS NA FREQUÊNCIA DE 10 HERTZ (MOTOR COM TODOS OS SUPORTES) 32

4.1.1.1 Sensor 1 32

4.1.1.2 Sensor 2 33

4.1.1.3 Sensor 3 34

4.1.1.4 Sensor 4 36

4.1.2 TESTE E COLETA DE DADOS REALIZADOS NA FREQUÊNCIA DE 20 HERTZ (MOTOR COM TODOS OS SUPORTES) 37

4.1.2.1 Sensor 1 37

4.1.2.2 Sensor 2 39

4.1.2.3 Sensor 3 40

4.1.2.4 Sensor 4 41

4.1.3 TESTE E COLETA DE DADOS REALIZADOS NA FREQUÊNCIA DE 10 HZ (SEM OS SUPORTES) 43

4.1.3.1 Sensor 1 43

4.1.3.2 Sensor 2 44

4.1.3.3 Sensor 3 45

4.1.3.4 Sensor 4 47

4.1.4 TESTE E COLETA DE DADOS REALIZADOS NA FREQUÊNCIA DE 20 HERTZ (SEM OS SUPORTES) 48

4.1.4.1 Sensor 1 48

4.1.4.2 Sensor 2 50

4.1.4.3 Sensor 3 51

4.1.4.4 Sensor 4 52

5. CONCLUSÃO 54

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 56

BIBLIOGRAFIA 57

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho de conclusão de curso tem como foco a análise de vibrações mecânicas, observando como um motor rotativo se comporta de acordo com os níveis de vibração que ele mesmo emite em diferentes frequências. Primeiramente foi explorado o tema escolhido e seus objetivos, embasando-os teoricamente através de diversas bibliografias, e após essa exploração foi explicados através da metodologia como a pesquisa foi feita, como e quais resultados foram obtidos, com o fim de se fazer o comparativo dos níveis de vibração do sistema de acordo com os objetivos específicos e as condições determinadas pelo acadêmico, e por fim concluir a viabilidade técnica do uso dos suportes analisados no decorrer do trabalho.

1.1 ASSUNTO / TEMA

O assunto do trabalho são as vibrações mecânicas, um fator que está presente na grande maioria dos maquinários da indústria em geral, seja ela de pequeno, médio ou grande porte.
E o tema abordado será a análise da interferência nos níveis de vibração de um sistema devido ao uso de métodos que isolem as vibrações, tendo em vista que a busca por isolar e reduzir o máximo possível o nível de vibração de mecanismos está em uma crescente por ser de grande valia para o aumento da vida útil dos componentes de sistemas que geram vibrações, o auxílio em sua manutenção, a diminuição de tempo de parada, a predição de falhas e a maior eficiência da máquina sem que haja um efeito prejudicial, seja para o sistema ou para quem o opera.

1.2 JUSTIFICATIVA

A vibração é algo constante no dia a dia de grandes e pequenas empresas que atuam no ramo da engenharia, uma grande quantidade de sistemas usados nessa indústria acaba gerando diversos tipos e níveis de vibração e isso vai desde grandes maquinários até pequenos motores, e dentro desses sistemas existem níveis aceitáveis de oscilação nas vibrações para que não ocorra nenhum tipo de dano a estrutura em si ou problemas externos relacionados ao ambiente em que a vibração se expõe (como ruídos, dificuldade no manuseio e etc.). Então se fez necessário o estudo desse tipo de interferência, já que é de crucial importância para a indústria que seus equipamentos tenham melhor rendimento, uma maior vida útil, gerando economia e que seja menos prejudicial possível para o operário, então esse campo da engenharia começou

a ser explorado com a criação de bancos de dados, tipos de manutenção para cada caso, análises de risco, desenvolvimento de projetos de combate dessas vibrações ou itens que contenham total ou parcialmente essas oscilações.

Segundo Singiresu S. Rao (2009), a maior parte das atividades desempenhadas por pessoas envolve algum tipo de vibração, o autor usa o exemplo de que as pessoas escutam porque seus tímpanos vibram e enxergam porque as ondas de luz vibram, sendo assim os primeiros as estudar esse ramo se focaram em entendê-lo nos fenômenos naturais e desenvolvimentos de teorias, hoje em dia esses estudos são motivados pelas aplicações que o ramo envolve, principalmente dentro da engenharia, como projetos de máquinas, estruturas, motores entre outros. Um exemplo simples dentro dessa área que foi citado pelo autor foram os motores utilizados em carros, que tem problemas relacionados com vibração por causa do desbalanceamento que o próprio sistema gera (devidos a combustão ou a alta rotação que eles atingem), essas vibrações podem acarretar problemas maiores se existir alguma falha de projeto ou manutenção errada, e isso pode gerar falhas na estrutura que sofre as vibrações devido a fadiga.

Tendo em vista esses pontos e vários outros durante o curso esse tema foi escolhido devido à grande importância do mesmo no ramo da engenharia e o objetivo do trabalho para contribuições futuras é aumentar o banco de dados sobre o assunto, fornecendo mais conhecimento, diferentes pontos de vista, base para futuras pesquisas e provas de que é viável aprofundar os estudos nessa área.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O problema proposto nesse trabalho é saber qual o grau de mudança nos níveis de vibração do sistema rotativo (Motor de indução WEG W22 Plus – Potência de 3 KW) a partir do uso de métodos que isolem as vibrações, ou seja, pés de borracha da bancada, parafusos de fixação na bancada e película de proteção do motor.

1.4 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES

H0 – Serão encontrados níveis consideráveis (valores suficientes para alterar o gráfico com a escala de vibração do local) de redução de vibração sistema devido ao uso de métodos que isolem as vibrações.

H1 – Notar que foram encontradas vibrações indesejadas (nível crítico no software, ruído elevado ou mal funcionamento do motor) no sistema devido a adição dos isolantes ou até mesmo não reduzir os níveis de vibração do mesmo

1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.5.1 Objetivo Geral

Analisar os níveis de vibração de um sistema (Motor de Indução WEG W22 Plus) com o uso de métodos que isolem as vibrações (parafusos de fixação, suportes de borracha e caixa de proteção de plástico) e analisar os níveis de vibração sem esses métodos para fazer o comparativo e analisar se existe uma diferença no uso dos isoladores.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Utilizar de sensores de medição de vibrações para fazer o comparativo entre os níveis de vibração dos estados propostos (com e sem os suportes que diminuem a vibração do sistema).
- Investigar em quais quesitos as vibrações interferem no sistema (desalinhamento, desbalanceamento, folgas e vibração geral do sistema)
- Fazer uma análise dos dados obtidos com a pesquisa afim de compará-los
- Verificar se existe viabilidade técnica no uso desses suportes para a diminuição da vibração de acordo com os gráficos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Vibrações Mecânicas

Segundo INMAN (2018), vibração é o estudo do movimento cíclico dos corpos em relação a um ponto de referência imóvel (posição de equilíbrio). A vibração está em todos os lugares e, influencia imensamente as características de projetos de engenharia. As características vibratórias de dispositivos de engenharia são, em grande parte fatores que limitam seu desempenho. O conhecimento sobre vibração, a maneira de analisar, medir e controlar, se torna um benefício. Exemplos característicos de vibração, comum para a maioria, incluem o movimento de uma corda de guitarra, o movimento vertical de um automóvel ou motocicleta, o movimento das asas de um avião e o balançar de um edifício devido ao vento.

Vibração como um substantivo feminino, ato ou efeito de vibrar. Na Física: Movimento oscilatório e rápido de um corpo sólido, em relação ao seu ponto de equilíbrio. Movimento vibratório; trepidação. Etimologia: latim *vibratĭo, -onis.* (MICHAELIS, 2018.)

Para KURKA (2015), a matéria de vibrações continua com sua importância fundamental para a formação do engenheiro. Isso vem da grande quantidade de aplicações da disciplina nas diversas áreas da engenharia, partindo da sua origem natural, a engenharia mecânica, e estendendo-se para as engenharias aeronáutica e aeroespacial, civil e de estruturas, naval e oceânicas, e chegando até as novas engenharias que vem aparecendo recentemente, como engenharia mecatrônica, a engenharia de sistemas embarcados, e assim por diante.

Para a LLK (2008), o estudo das vibrações tem uma importância enorme para a engenharia atual. A análise de vibrações em máquinas e equipamentos nos permite conhecê-los, melhorá-los e ganharmos muito em quantidade, produtividade e desenvolvimento. O investimento em manutenção preditiva tem um retorno muito grande para as empresas, porque a partir da implantação de sistemas preditivos não só se reduz os custos de manutenção, mas também faz com que técnicos e engenheiros melhorem seus conhecimentos e, consequentemente passem a definir quais melhorias devem ser introduzidas nas máquinas de maneira que estas se tornem de alta confiabilidade e robustez ao desgaste. Com o surgimento dos analisadores de dados digitais apoiados por softwares de gerenciamento, o poder de uma equipe de manutenção aumentou, não só em volume de equipamentos auxiliados como também na qualidade dos diagnósticos de falhas.

Segundo VITTORINO (s, d.), na manutenção preditiva a área de análise de vibração, procura através de instrumentos obter informações contidas nas condições de funcionamento de um equipamento, expor um diagnóstico e fazer intervenções antes que as falhas aconteçam, ou até mesmo monitorar o início de falhas e interferir no momento adequado. Mas isso tudo só pode ser possível com a participação de todos que estão envolvidos na equipe de manutenção mecânica, já que além do conhecimento, a informação sobre o equipamento, o que foi feito nele, o seu comportamento é de fundamental importância para a análise de vibração

2.2 Análise oscilatória

DA SILVA (2009), diz que a mediação de vibrações tem um lugar de destaque em diversas ramos e aplicações. Então, o uso de técnicas adequadas para garantir uma correta análise é de extrema importância. Existem duas formas de se medir sinais de vibrações:

• Medidas de resposta em máquinas operando nas condições de trabalho, onde não se conhece exatamente os sinais de entrada que excitam esse maquinário.

• Medidas feitas em laboratório, onde o sinal de agitação é simulado a partir de um excitador.

O primeiro tipo é mais comum em aplicações de manutenção preditiva por análise de vibrações ou análise modal. E o segundo tipo é usado frequentemente em análise modal experimental, análise dinâmica com o objetivo de modificar a estrutura, testes de produtos e protótipos etc.

Para a LLK-Engenharia (2008), existem instrumentos usados na medição das vibrações, alguns deles são:

- Sensores de vibração (transdutores): é o aparelho responsável por converter o movimento mecânico em um pulso elétrico que possa ser mostrado e analisado.
- Sensores de deslocamento: Operam como uma corrente parasita que serve para proteção e monitoramento das condições máquinas dentro da indústria.
- Sensores de velocidade: Dentro do corpo do sensor, uma bobina envolve um imã suspenso por uma mola, que é projetada para uma frequência natural muito baixa. Quando o sensor é conectado a algo em vibração, o movimento entre o imã faz as linhas de fluxo magnético do imã ¨cortem¨ a bobina, induzindo uma voltagem semelhante a velocidade de vibração.

- Acelerômetro: é um sensor eletromecânico que gera em seus terminais de saída uma voltagem que é semelhante à aceleração que é submetido. Eles exibem características melhores que qualquer outro tipo de sensor de vibração.

De acordo com SINGIRESU S. RAO (2008), os sistemas atuais que possuem vibrações são bastante complexos, o que os faz impossíveis de serem analisados (matematicamente) completamente em todos os seus aspectos, então as análises se limitam aos quesitos mais importantes que podem ser previstos com as condições de trabalho especificadas, e em muitas ocasiões o comportamento do sistema é determinado por um modelo matemático simples, esses modelos são constituídos por 4 etapas. A primeira é a modelagem matemática que tem como objetivo obter o número máximo de aspectos do sistema, para criar equações matemáticas que regem os comportamentos do mesmo. A segunda etapa é a derivação de equações que usa as equações criadas para criar diagramas de corpo livre que apresentam a vibração do sistema. A terceira etapa é a solução de equações que é responsável por resolver as equações e mostrar o retorno do sistema que está vibrando. E por fim a quarta etapa que é a interpretação dos resultados, onde se é obtido os dados que regem o sistema, como, deslocamentos, velocidades, acelerações etc. E com esses dados é feita a devida interpretação de suas influências e aplicações no projeto em estudo.

Segundo a empresa LLK-Engenharia, em seu manual de treinamento (2008, p.43), transdutores são como janelas através das quais porções do espectro de frequências podem ser observadas. O tipo de máquina, ponde de medição e características a serem avaliadas, bem como as características, vantagens e limitações dos transdutores devem ser bem entendidos para que os dados básicos representem a condição real. A adição de equipamento analítico sofisticado pode diminuir o tempo de análise e aumentar a precisão, mas não pode melhoras as limitações inerentes a coleta de dados.

2.3 Isolamento de Vibrações.

Para DA SILVA (2009) também diz que uma máquina mesmo sendo montada em cima de uma base rígida construída para apresentar níveis aceitáveis de vibrações, a força transmitida da máquina para a base ou vice-versa pode ser elevada e isto pode ocasionar problemas. Nestes casos é necessário isolar o sistema. Isolar é encaixar entre um sistema (máquina) e sua base, elementos que tenha características bem definidas para que as forças transmitidas sejam as menores possíveis. O isolamento pode ser feito de duas maneiras, primeiro isolar a base das

forças de vibração geradas pela máquina. Em segundo, isolar a máquina da vibração que vem da base.

Segundo KUHNERT (2016), o isolamento de vibração é a técnica mais empregada nos atualmente para a proteção de mecanismos e estruturas que suportam excitação, seja por choque/impacto ou harmônica. Adicionar ao isolador de vibração comum, composto por molas e amortecedores, um elemento conhecido como interter, que ultimamente tem chamado bastante a atenção do meio científico e, separadamente, adiciona amortecedores não lineares, com o fim de medir a influência destes elementos no isolamento. As curvas de transmissibilidade alcançadas, que mostram o desempenho do isolamento à excitação harmônica, para os isoladores são comparadas à de um isolador comum composto apenas por uma mola. Os resultados adquiridos para os isoladores com amortecedores não lineares mostraram que determinados sistemas também têm chance de melhorar ou piorar o isolamento em certas faixas de frequência quando comparados à um isolador com amortecimento linear.

3. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

3.1 Central de dados

Foram utilizados quatro leitores piezoeléctricos (da marca IFM, modelo VSA001) e um leitor óptico também da IFM®. Os sensores coletam os dados que são enviados a uma ponte de amplificação (IFM®, modelo VSE002) que transmitiu os dados para o computador que por meio do software Efector Octavis (também da marca IFM®) que fez a análise dos dados, gerando gráficos.

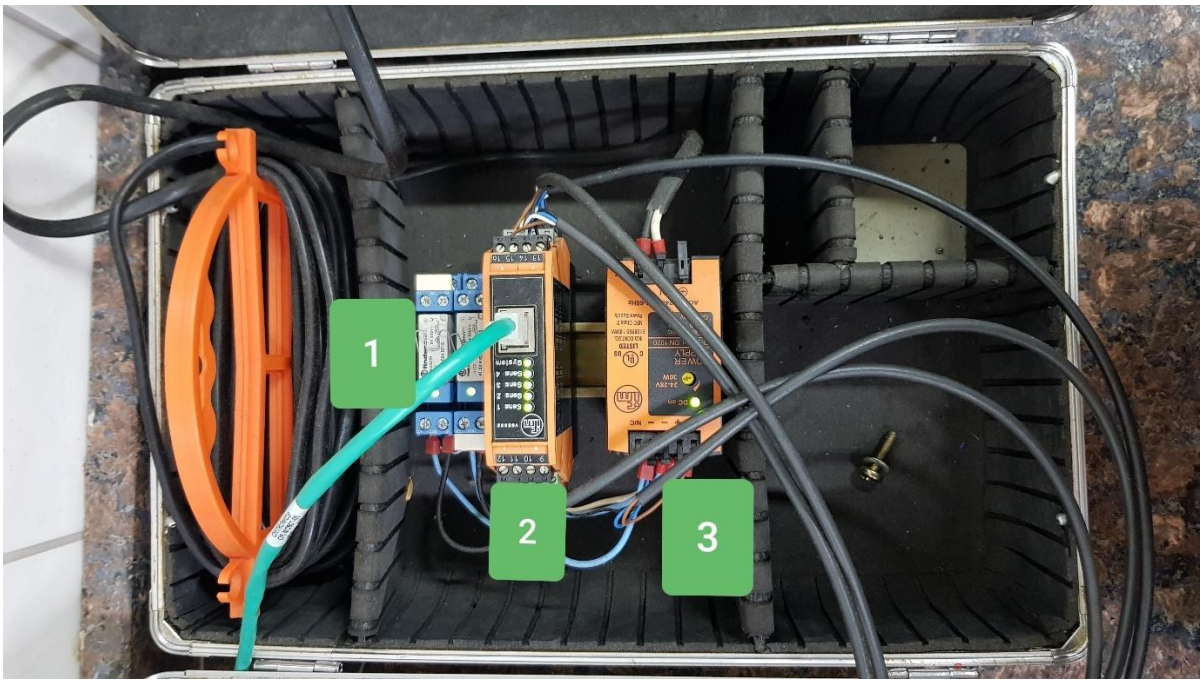


Figura 1 - Central de dados

(Fonte: Próprio autor).

Itens da figura 1:

- Marcação 01: relé de contato
- Marcação 02: ponte de amplificação
- Marcação 03: fonte alimentadora 24 V

3.2 Sistemas de transmissão por correia.

As polias são peças cilíndricas, movimentadas pela rotação do eixo do motor e pelas correias.

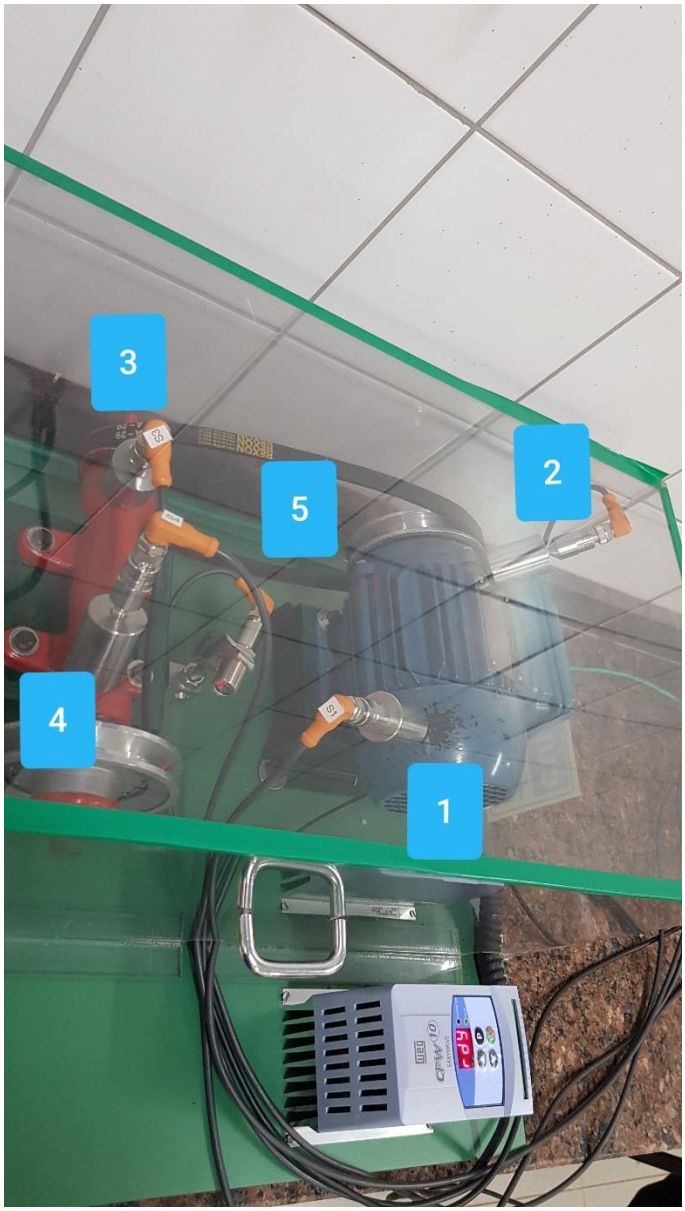


Figura 2 – Sensores

(Fonte: Próprio autor).

Itens da figura 2:

- Sensor 01: tampa traseira do motor
- Sensor 02: tampa dianteira do motor
- Sensor 03: mancal da correia do sistema
- Sensor 04: mancal do sistema
- Sensor 05: sensor de ótico para medição de velocidade

O equipamento utilizado para os testes foi um motor elétrico WEG de 3 Quilowatts.

Figura 3 - Informações do equipamento

(Fonte: Próprio autor).

3.3 Instrumentos de Medição

Os principais fatores a ser considerado na escolha do instrumento de medição é a faixa de frequência e amplitude.

Em baixas frequências a amplitude de deslocamento é alta, que faz com que o vibrometro seja o instrumento adequado para medir as vibrações. Com alta frequência a amplitude de deslocamento normalmente e baixa, neste caso os instrumentos utilizados são os acelerômetros que apresentam maior sensibilidade na medição. Os medidores de velocidade têm funcionamentos razoável tanto em baixas quanto altas frequência.

3.4 Descrição dos procedimentos

O projeto foi executado com o auxílio do professor orientador, o aluno usará de um equipamento capaz de medir os níveis de oscilação gerada (da marca IFM, modelo VSA001) este é disponibilizado pela própria instituição no laboratório de vibrações mecânicas (Bloco 3 – FAG) que utiliza de sensores que estão colocados em locais pré-definidos do sistema rotativo (regiões específicas devido as informações contidas no software) que tendem a gerar mais vibração, esses sensores estão ligados a uma central que transmite os dados para um software

instalado em um computador, esse software é programado corretamente para definir níveis de vibração e dizer qual o estado de cada sensor dividindo as vibrações em categorias e intensidade, essas categorias são:

- Desbalanceamento;
- Desalinhamento;
- Folgas;
- Rotações por minuto.

Tabela 1 - Etapas do procedimento laboratorial:

	Descrição da análise	Tempo de duração	Frequência de rotação	Instrumentos de medição	Método de coleta de dados
Fase 1	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	10 Hertz	Sensor 1	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 2	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	10 Hertz	Sensor 2	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 3	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	10 Hertz	Sensor 3	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 4	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	10 Hertz	Sensor 4	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 5	Retirada dos seguintes suportes: pés de borracha e película de proteção. Ferramentas utilizadas: alicate e chave de fenda.	10 minutos	**X**	**X**	**X**
Fase 6	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	10 Hertz	Sensor 1	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 7	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	10 Hertz	Sensor 2	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 8	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	10 Hertz	Sensor 3	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 9	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	10 Hertz	Sensor 4	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 10	Colocar os suportes corretamente no motor para finalização da coleta.	10 minutos	**X**	**X**	**X**

Tabela 2 - Etapa 2 do procedimento laboratorial:

	Descrição da análise	Tempo de duração	Frequência de rotação	Instrumentos de medição	Método de coleta de dados
Fase 1	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	20 Hertz	Sensor 1	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 2	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	20 Hertz	Sensor 2	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 3	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	20 Hertz	Sensor 3	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 4	Motor rodando com todos os suportes	2 minutos	20 Hertz	Sensor 4	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 5	Retirada dos seguintes suportes: pés de borracha e película de proteção. Ferramentas utilizadas: alicate e chave de fenda.	10 minutos	**X**	**X**	**X**
Fase 6	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	20 Hertz	Sensor 1	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 7	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	20 Hertz	Sensor 2	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 8	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	20 Hertz	Sensor 3	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 9	Motor rodando com os suportes retirados	2 minutos	20 Hertz	Sensor 4	Imagens dos gráficos do software (printscreen).
Fase 10	Colocar os suportes corretamente no motor para finalização da coleta.	10 minutos	**X**	**X**	**X**

O procedimento prático foi iniciado com a solicitação de um agendamento para o uso do laboratório em questão, serão realizadas práticas no laboratório até que os resultados obtidos sejam satisfatórios para a pesquisa, isto é, até que alguma das hipóteses se confirme. Como ponto de partida após o agendamento, o acadêmico deverá checar junto ao monitor do laboratório o perfeito funcionamento do sistema de vibrações que será utilizado, primeiro foi realizado o teste do motor rotativo em diversas rotações se o motor funcionar corretamente o próximo passo foi checar a bancada e os fixadores desse motor, em seguida foi testada a central que recebe os dados, ligando ela e conectando a um computador, se a central se conectar corretamente com o computador o software instalado irá mostrar os dados em gráficos desse motor funcionando, caso os dados estejam sendo transmitidos a próxima etapa foi conferir se todos os sensores estão transmitindo os dados necessários olhando os gráficos de cada um pelo software, com todos os passos realizados e corretamente funcionando serão realizados os testes.

Com a retirada dos pés de borracha a base ficaria diretamente em contato com a bancada de mármore, mas a cabeça dos parafusos que fixam o motor na bancada estão na parte de baixo da bancada, no caso os parafusos ficariam diretamente em contato com bancada de mármore, que tornaria a pesquisa inviável, então foram adicionados duas bases de madeira (iguais, com as dimensões de 58,5 x 31,5 x 1cm) em baixo da bancada para que os parafusos não tivessem contato com o mármore, essas bases foram utilizadas apenas para tornar a pesquisa viável.

Figura 4 - Base de madeira

(Fonte: Próprio autor).

Os dados foram demonstrados na tela do computador e assim gerados gráficos que serviram de base para o comparativo, esse gráficos estão divididos nos quesito citados anteriormente e cada quesito recebe um valor a partir de zero até o valor que o software considera crítico para aquele sensor e sua característica (desbalanceamento, desalinhamento, folgas e vibração geral do sistema) essa nota de intensidade tem uma margem de aceitabilidade definida pelo software assim como nível crítico do sistema, ou seja, conforme maior a nota recebida no quesito, mais perto da zona crítica está o local medido pelo sensor. Os testes serão feitos com as frequências de 10 e 20 Hertz (frequências que foram escolhidas aleatoriamente, apenas para fins comparativos) que podem ser definidas no painel de rotação do próprio motor rotativo, a comparação foi feita com o motor rotativo livre, isto é, sem isoladores de vibração (pés de borracha, caixa de proteção (acrílico), parafusos de fixação) e com o uso desses isoladores corretamente instalados. Primeiro o motor foi colocado na frequência de 10 hertz e serão coletados os dados dos 4 sensores pelos gráficos, esse primeiro teste o motor estará com todos os seus componentes fixados corretamente. O segundo teste foi realizado na mesma frequência, mas alguns componentes do kit foram retirados (pés de borracha, proteção de acrílico), e os parafusos de fixação serão levemente afrouxados (já que se retirados os testes seriam inviáveis devido a total falta de estabilidade do sistema). Os testes foram refeitos uma segunda vez com a frequência de 20 hertz para analisar o comportamento dos gráficos em um ponto mais crítico do sistema. Após realizados os testes foi feito um comparativo nos níveis demonstrados pelo software, esse comparativo foi feito pelo acadêmico com o auxílio do orientador, o conhecimento usado nesse comparativo foi obtido através das aulas e o acadêmico teve auxilio de seu próprio material das aulas de vibrações mecânicas, qualquer dúvida foi esclarecida com o orientador e também com o uso de livros indicados pelo mesmo. Os dados foram coletados como gráficos e para efeito comparativo eles foram dispostos nesse trabalho na mesma sequência das tabelas acima assim facilitando a visualização na diferença dos níveis de vibração. O comparativo virá primeiramente através de gráficos de barras, cada sensor tem seus níveis críticos definidos pelo software, isto é, os lugares em que os sensores se localizam tem sua própria escala de vibração e essas informações já estão contidas no programa, esses gráficos deixam facilmente visíveis as alterações causadas por vibrações, a segunda forma de visualizarmos essas vibrações de forma mais precisa são os espectros de frequência, que são gráficos que usam fórmulas matemáticas em várias frequências, exibindo os componentes dessa frequência e as suas amplitudes. Esses espectros também possuem informações contidas no próprio software que servem de base para descobrirmos falhas (desalinhamento

desbalanceamento, folgas e outros). Após feito o comparativo será verificado se os métodos para conter a vibração são mesmo eficazes e quais os benefícios deles para o todo.

A seguir seguem imagens dos suportes que sofreram mudanças nas etapas descritas anteriormente:

Figura 5 - Pé de borracha

(Fonte: Próprio autor).

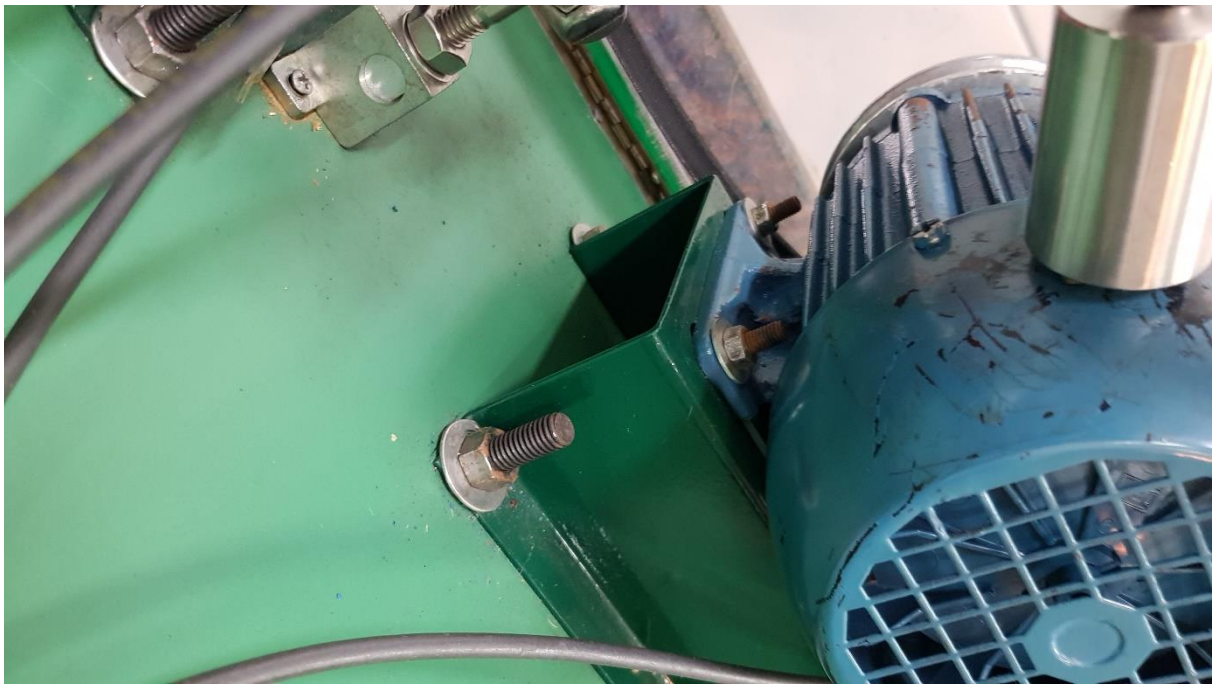


Figura 6 - Parafusos de fixação

(Fonte: Próprio autor).

Figura 7 - Parafusos de fixação

(Fonte: Próprio autor).

Figura 8 - Proteção de acrílico

(Fonte: Próprio autor).

3.5 Explicitação acerca da propriedade das informações geradas pela pesquisa.

As informações geradas na pesquisa são de propriedade da própria instituição de ensino, os equipamentos e conhecimentos utilizados na pesquisa serão todos coletados na mesma, assim como o laboratório.

3.6 Critérios para suspender ou encerrar a pesquisa.

A pesquisa só será suspensa se o equipamento (IFM Electronic®) ou o motor rotativo demonstrar mal funcionamento, e será encerrada quando todos os dados necessários forem obtidos

3.7 Local de realização das várias etapas (descrição dos locais e instalações).

Todas as etapas serão realizadas no laboratório de vibrações da FAG, o laboratório possui quase todo o equipamento necessário para a realização da pesquisa (motor rotativo, bancada, sensores de medição).

3.8 Descrição da infraestrutura necessária, informando que o local onde se realizará a pesquisa a possui e incluir a concordância documentada da instituição.

O laboratório de vibrações da FAG é capacitado com bancadas para disposição dos equipamentos, sensores de medição de vibração, motor rotativo pequeno, capa de vidro protetora, banca de fixação do motor, e o software que demonstra as vibrações em gráficos.

3.9 Explicitação das responsabilidades de cada um dos envolvidos na pesquisa.

A responsabilidade do projeto é unicamente do aluno tendo auxílio apenas do seu orientador.

3.10 Declaração sobre o uso e destino das informações/dados coletados.

As informações serão utilizadas para essa pesquisa e também serão destinadas a futuros projetos de outros acadêmicos da instituição.

3.11 Local e tempo de armazenamento (das informações/dados colhidos e/outros materiais).

As informações obtidas serão armazenadas no notebook do próprio acadêmico para fim de comparativos da pesquisa.

4. RESULTADOS

4.1 SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CORREIA

4.1.1 Teste e coleta de dados realizados na frequência de 10 Hertz (motor com todos os suportes)

Para início do teste, ajustamos a frequência do motor para 10 Hertz, podendo então iniciar a análise de vibrações.

4.1.1.1 Sensor 1

Fazendo a análise do gráfico de barras da Figura 9, podemos observar que o sensor identifica que não há vibração geral significativa do sistema (RMS, também, não tendo identificação de desbalanceamento folgas ou problemas em rolamento (gráfico identificado por 6201)).

Figura 9 - Gráfico de barras gerado pelo sensor 1 na frequência de 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

O espectro apresentado na Figura 10 nos indica um alto ruído de fundo (o ruído de fundo é a média dos níveis de ruído mínimos no local, no tempo pré-determinado) e vibração de bancada.

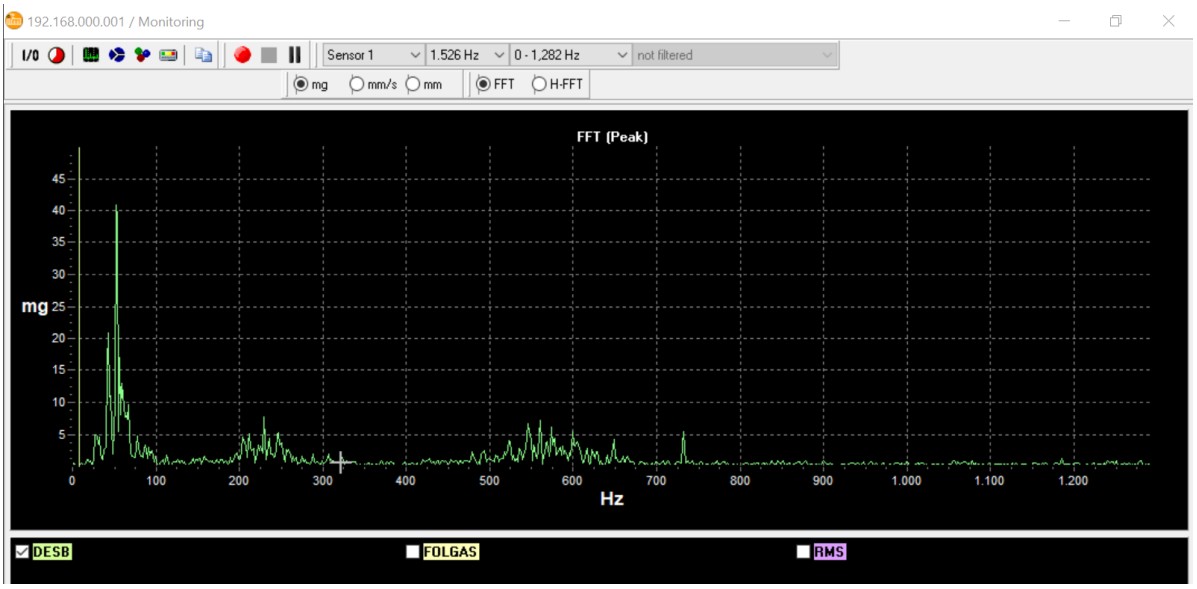


Figura 10 - Espectro de Vibração do sensor um em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.1.2 Sensor 2

O sensor 2 fica localizado na base de um engastamento da placa onde o motor elétrico foi instalado, pelo gráfico de barras foi detectado uma pequena vibração geral do equipamento e não foi detectado falhas de rolamentos folgas ou desbalanceamento.

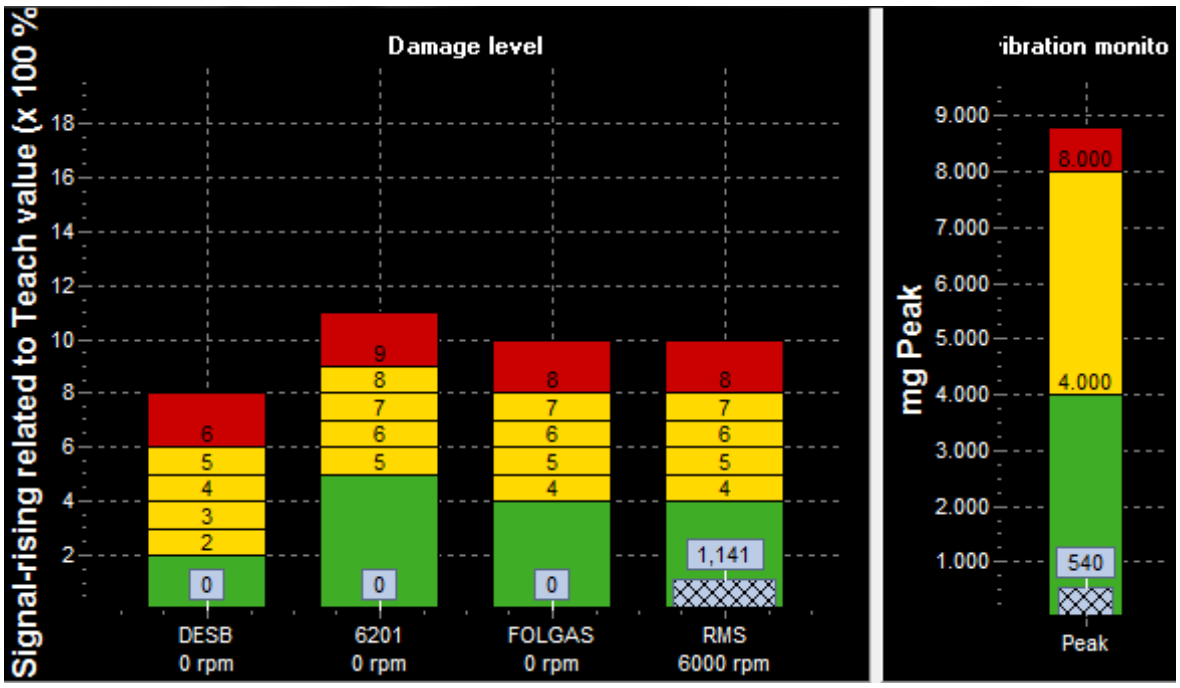


Figura 11 - Gráfico de barras do sensor dois em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

Fazendo um comparativo entre o espectro do sensor um e do sensor dois, observando na Figura 12, ele também apresenta ruído de fundo, mas numa escala bem maior e podemos atribuir os altos picos mostrados no espectro devido à vibração da base de onde o motor estava fixado.

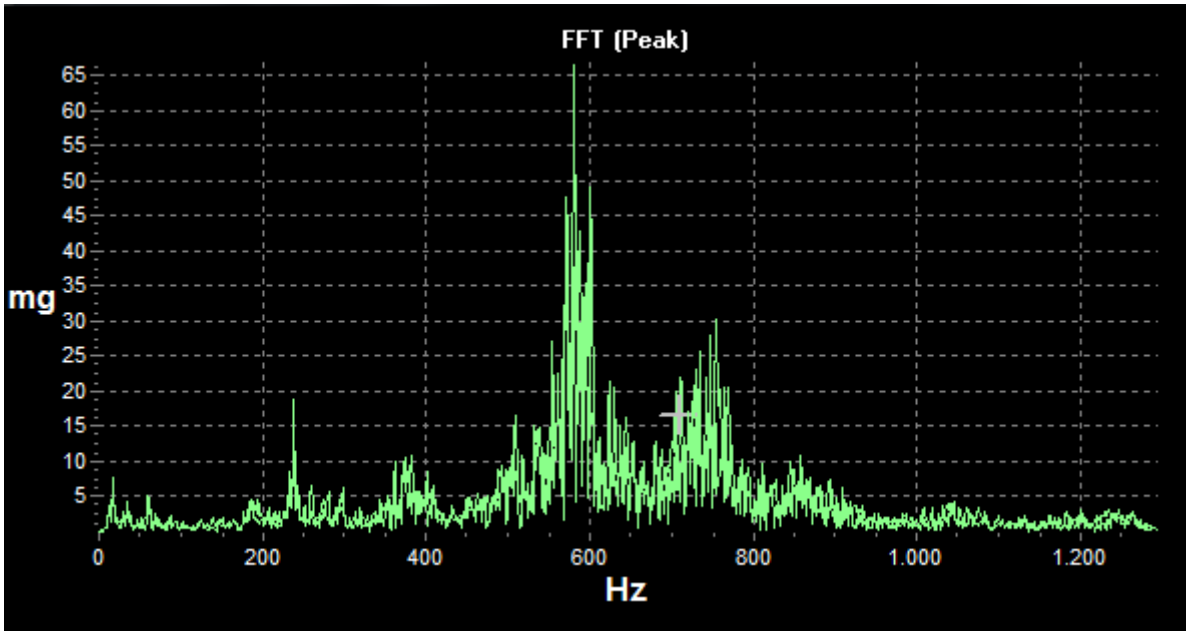


Figura 12 - Espectro de Vibração do sensor dois em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.1.3 Sensor 3

Este sensor estava localizado próximo ao ponto de fixação de uma das pontas da árvore que movimentava a polia. Podemos ver o gráfico de barras da Figura 13 que mostra poucas vibrações gerais na máquina, e não apresenta desbalanceamento, desalinhamento, falha de rolamentos ou folgas.

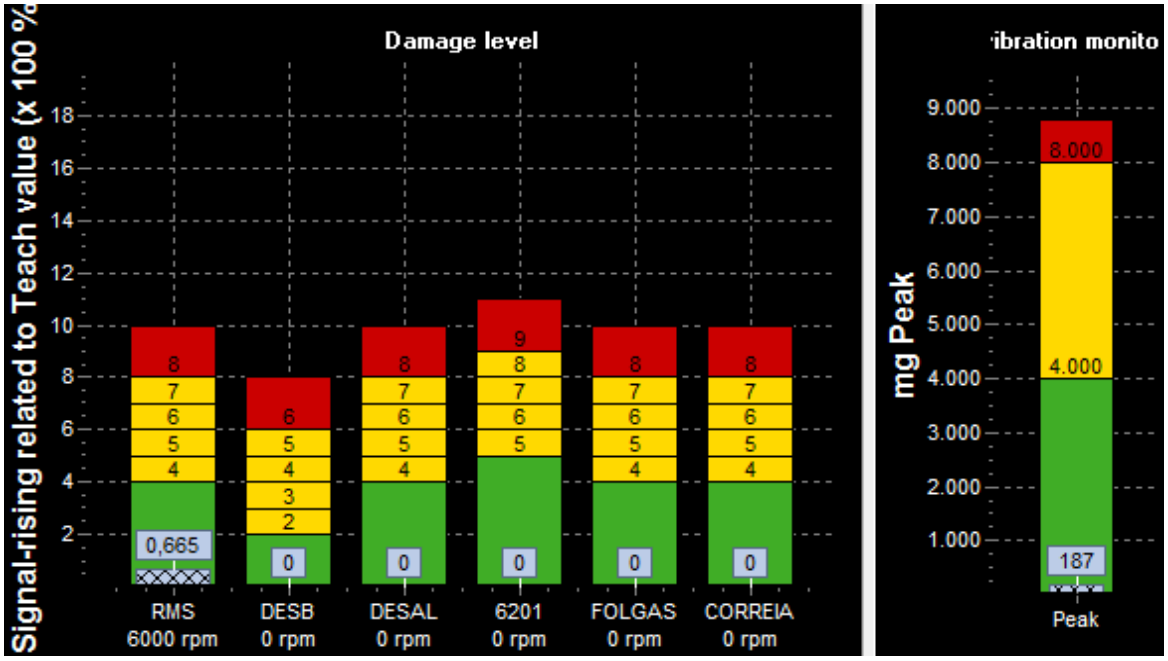


Figura 13 - Gráfico de barras do sensor dois em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

Fazendo um comparativo entre o espectro do sensor um e do sensor três, observando na Figura 14, ele também apresenta ruído de fundo e podemos atribuir os pequenos picos mostrados no espectro devido à vibração da base de onde o motor estava fixado que na localização deste sensor é pequena.

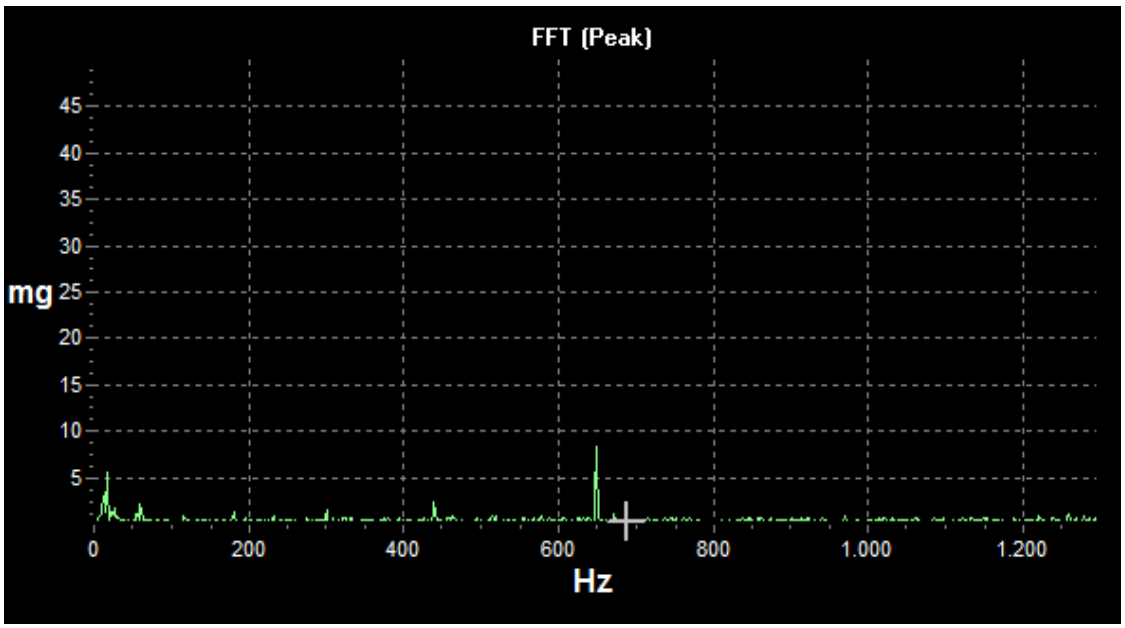


Figura 14 - Espectro de Vibração do sensor três em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.1.4 Sensor 4

Observando o gráfico de barras gerado pelo sensor quatro, vemos na Figura 15 que ele apresenta apenas uma vibração RMS (Root Mean Square ou Amplitude Média Quadrática) normal que seria a vibração geral da máquina, não apresentando outras falhas, como desalinhamento, desbalanceamento, rolamentos ou folgas.

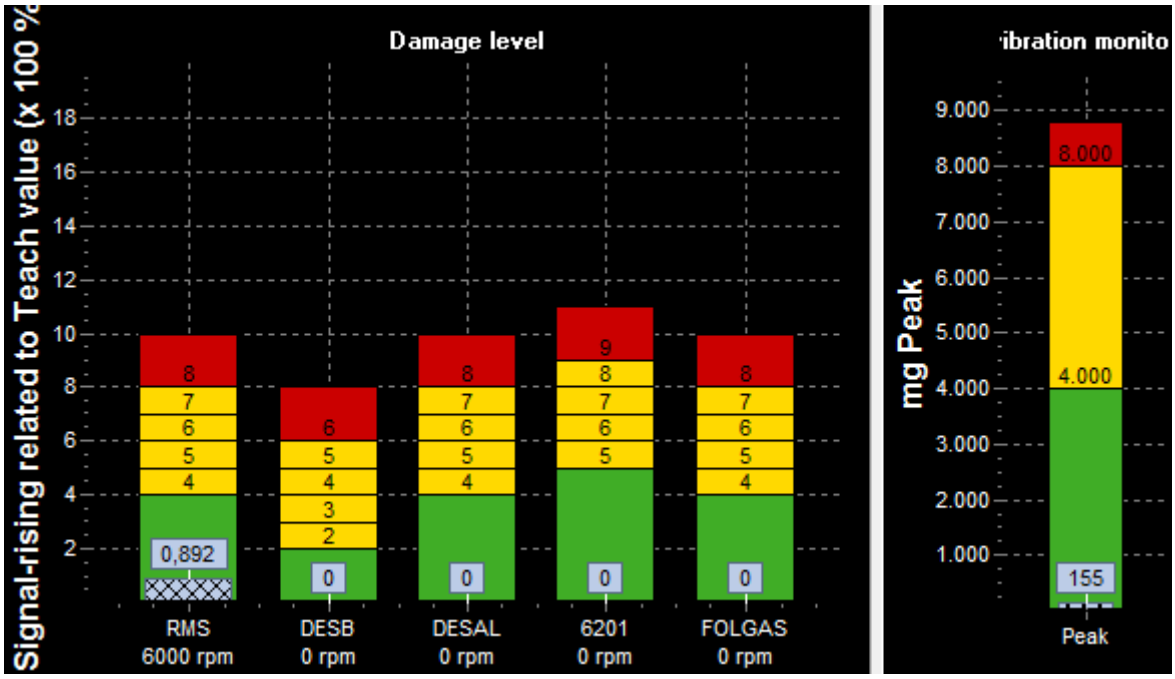


Figura 15 - Gráfico de barras do sensor quatro em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

O sensor quatro está localizado no ponto onde a ponta do eixo está fixada, assim, podemos ver no espectro do sensor quatro na Figura 16 aonde o sensor não apresenta picos elevados de vibração.

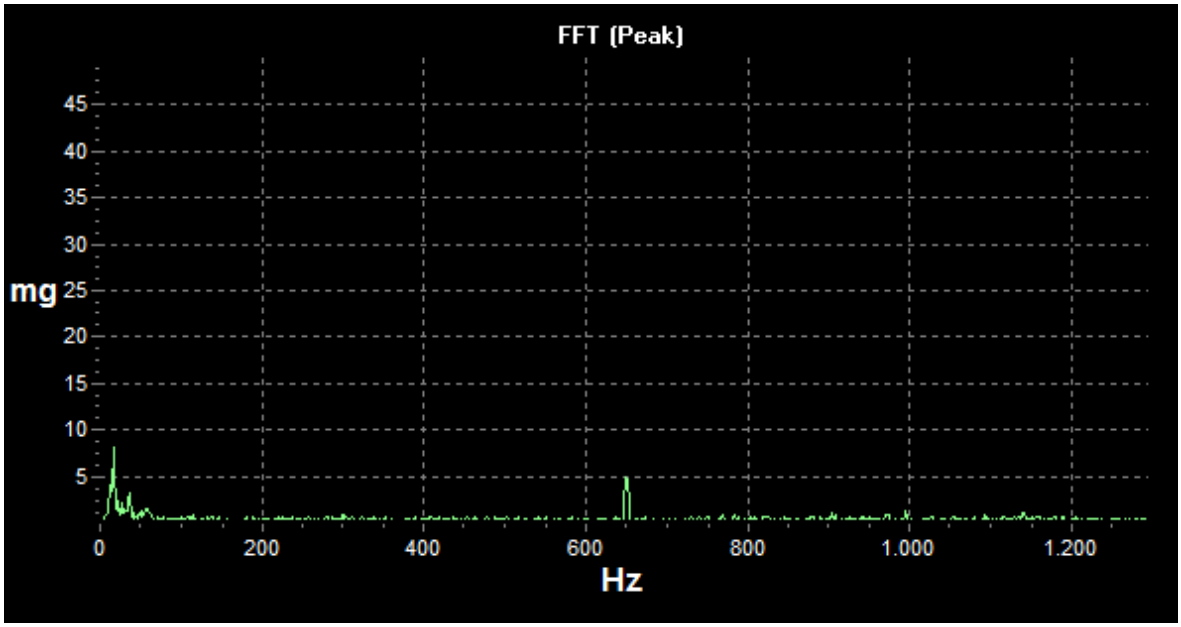


Figura 16 - Espectro de Vibração do sensor quatro em 10 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.2 Teste e coleta de dados realizados na frequência de 20 Hertz (motor com todos os suportes)

Para compararmos o teste, ajustamos a frequência do motor para 20 Hertz, podendo então iniciar a análise de vibrações.

4.1.2.1 Sensor 1

O gráfico apresenta apenas a vibração global do sistema em nível de alerta e a aceleração de pico também em nível de alerta. Podemos notar essas variações olhando a Figura 17 abaixo.

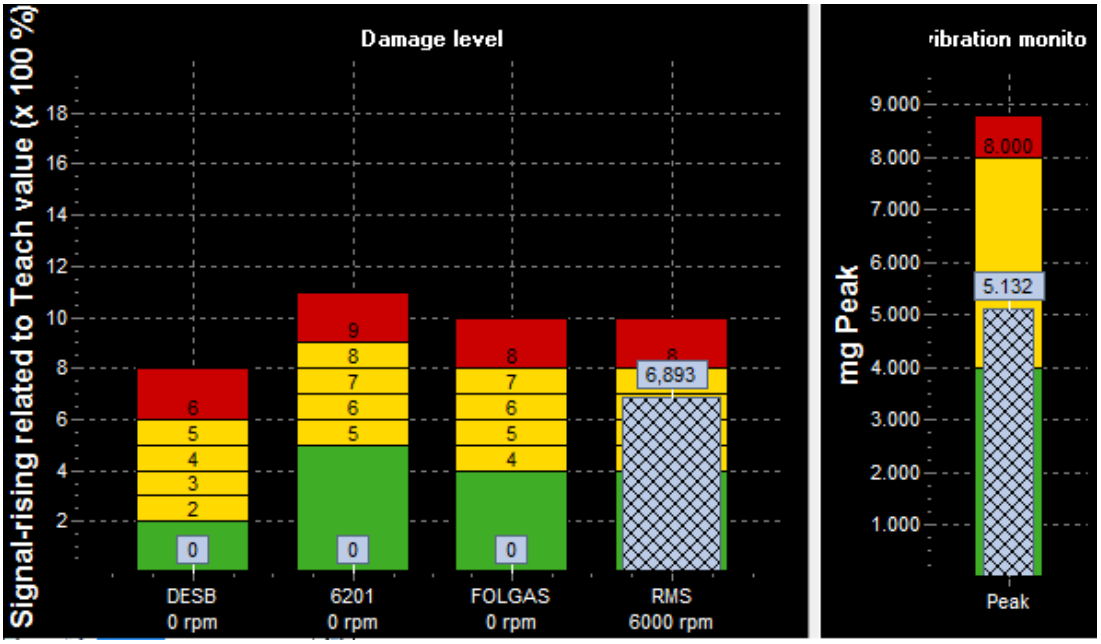


Figura 17 - Gráfico de barras gerado pelo sensor um em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

O espectro apresentado pelo sensor um, mostra um alto ruído de fundo e vibração de bancada, gerado pelos mesmos problemas que no caso para 10 Hertz, porém com picos de vibração maiores, vendo na Figura 18 notamos a diferença.

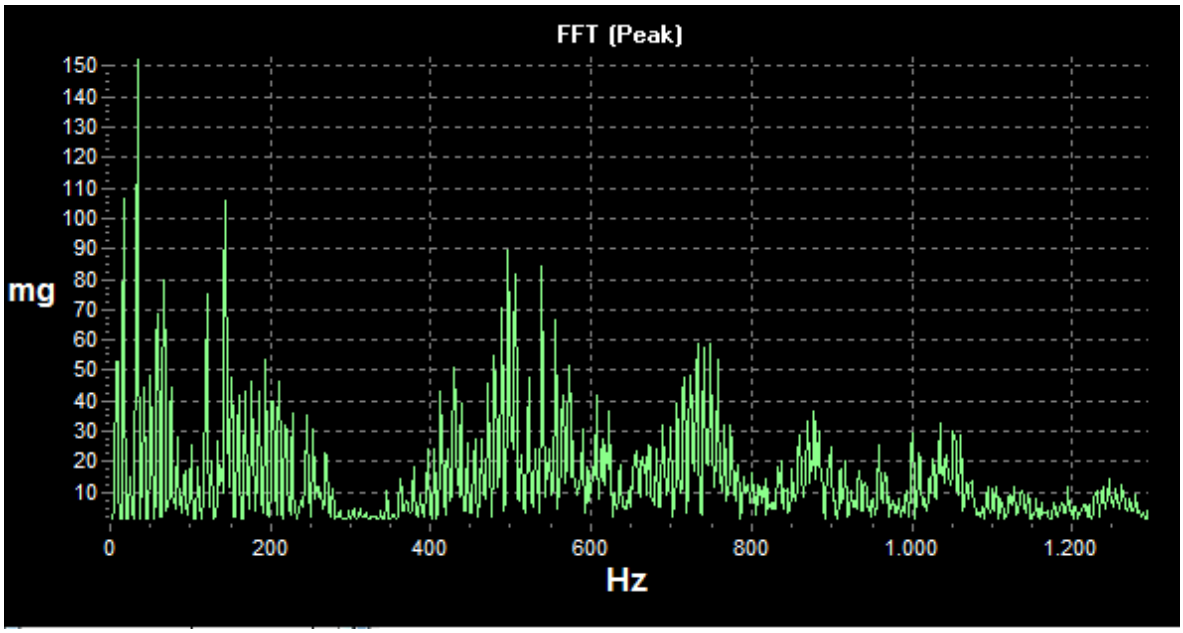


Figura 18 - Espectro de Vibração do sensor um em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.2.2 Sensor 2

O sensor dois estava localizado na base de engastamento da placa onde o motor estava instalado, apresenta vibração global RMS menor que a do sensor um, e aceleração de pico também menor. Comparando com o mesmo sensor em 10 Hertz, ele apresenta maior vibração global RMS e uma aceleração de pico maior, como podemos ver na Figura 19.

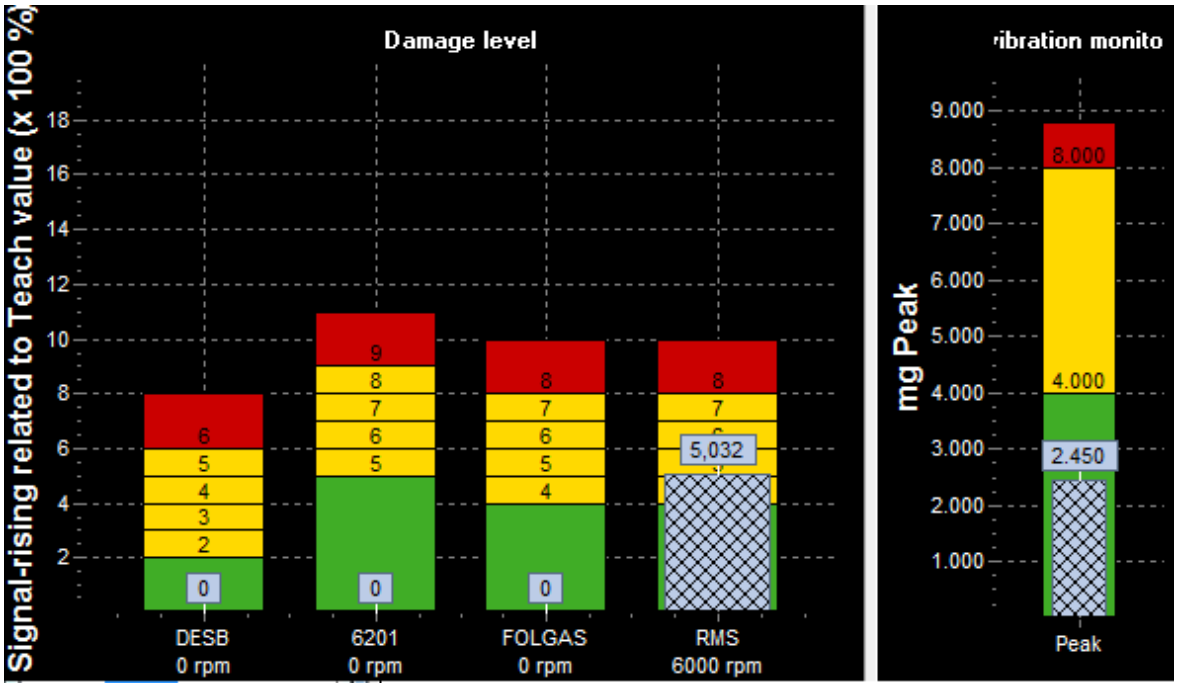


Figura 19 - Gráfico de barras gerado pelo sensor dois em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

De acordo com o espectro de vibração do sensor dois, temos apenas a demonstração de um alto ruído de fundo e vibração de bancada que seria a vibração da base de fixação do motor. Espectro semelhante ao gerado pelo sensor um, mas com picos de vibração ainda maiores devido ao aumento da frequência de 10 Hertz para 20 Hertz, o espectro é mostrado na Figura 20.

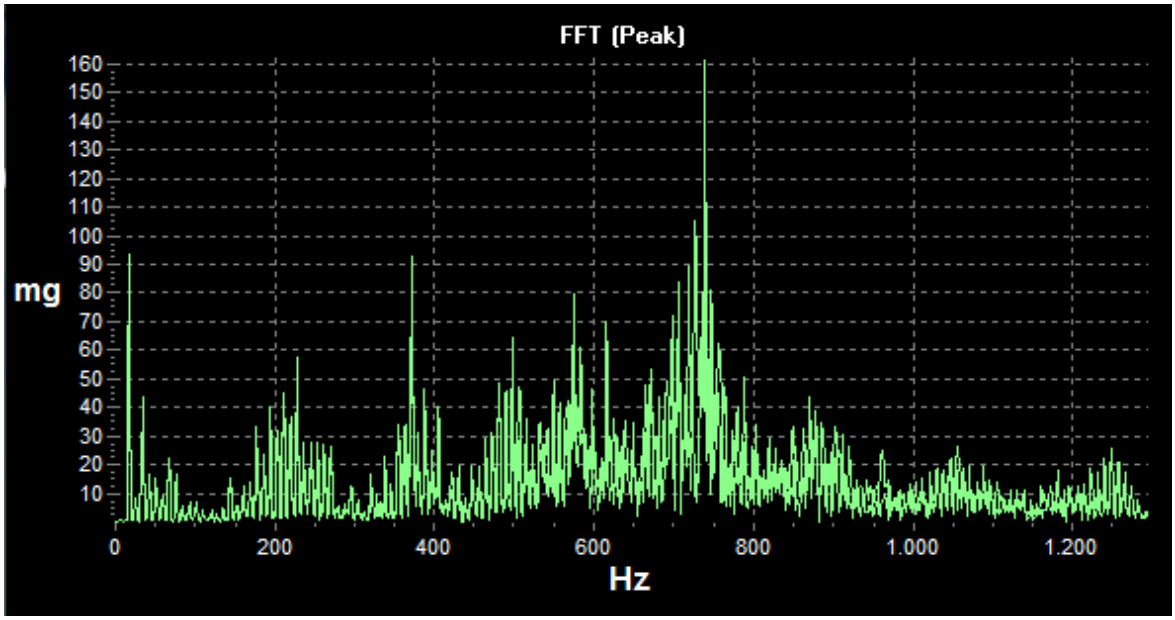


Figura 20 - Espectro de Vibração do sensor dois em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.2.3 Sensor 3

O gráfico abaixo da Figura 21 apresenta uma vibração de global moderada e uma pequena aceleração de pico. O mesmo sensor captou vibrações globais (RMS) em 20 Hertz maiores do que foi detectado em 10 Hertz tendo aceleração de pico semelhante.

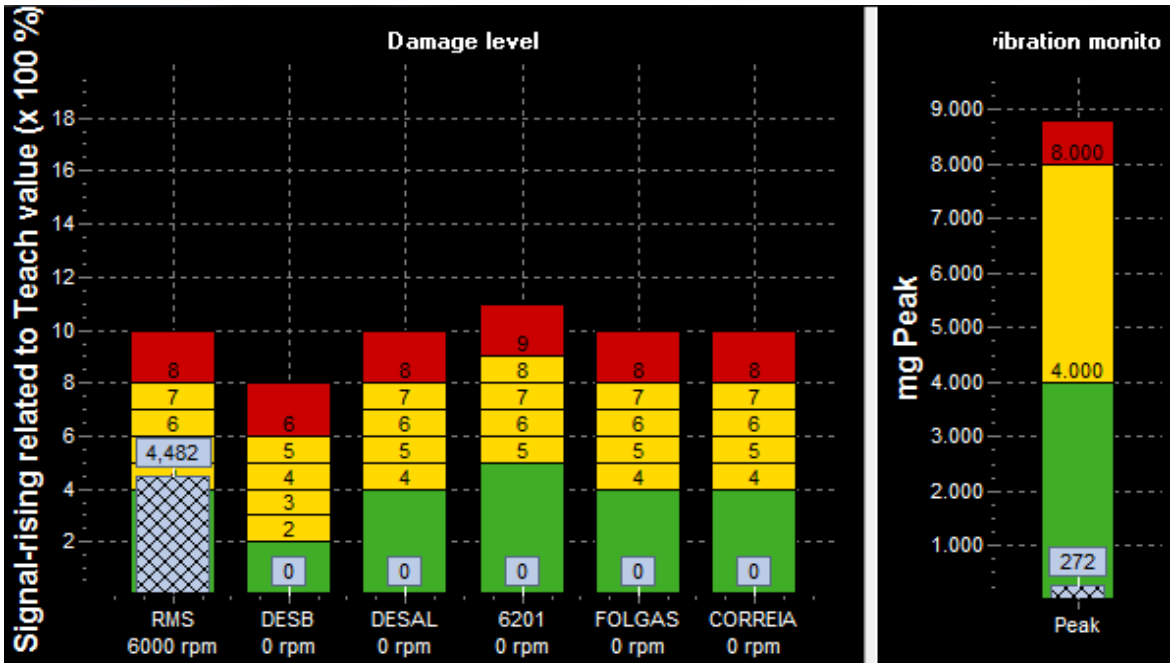


Figura 21 - Gráfico de barras gerado pelo sensor três em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

Como foi demonstrado em 10 Hertz, com ele rodando a 20 Hertz, observando a Figura 22, o mecanismo apresentou um pequeno desbalanceamento no eixo da polia (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração), e pouco ruído de fundo. Porém, em 20 Hertz o desbalanceamento gera picos de vibração bem maiores e menos ruído de fundo. Essa diferença nos picos de vibração que nos indicam desbalanceamento é pelo fato de que com uma velocidade maior torna-se mais visível o desbalanceamento.

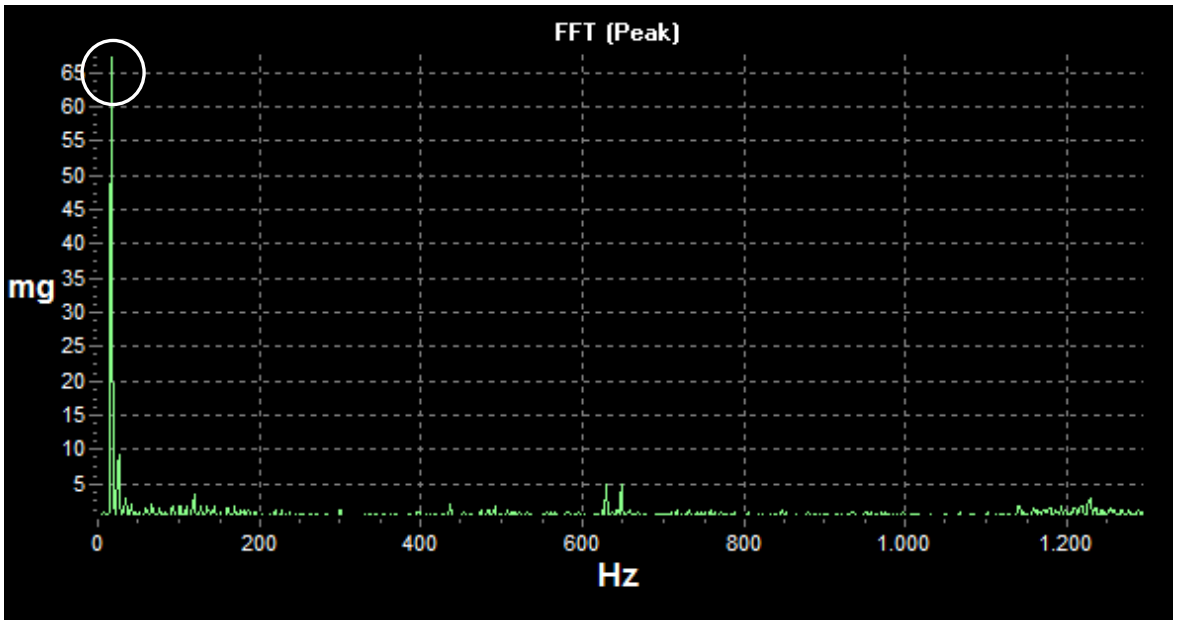


Figura 22 - Espectro de vibração do sensor três em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.2.4 Sensor 4

Com o sensor quatro, mostrado na Figura 23, pode-se detectar apenas vibração global em um nível moderado e uma aceleração de pico muito baixa, a mesma maneira que em 10 Hertz, mas com a frequência menor tivemos maiores vibrações RMS e mesma aceleração de pico. Como podemos ver no gráfico não foram detectados problemas de desalinhamento, desbalanceamento, folgas ou falhas em rolamentos.

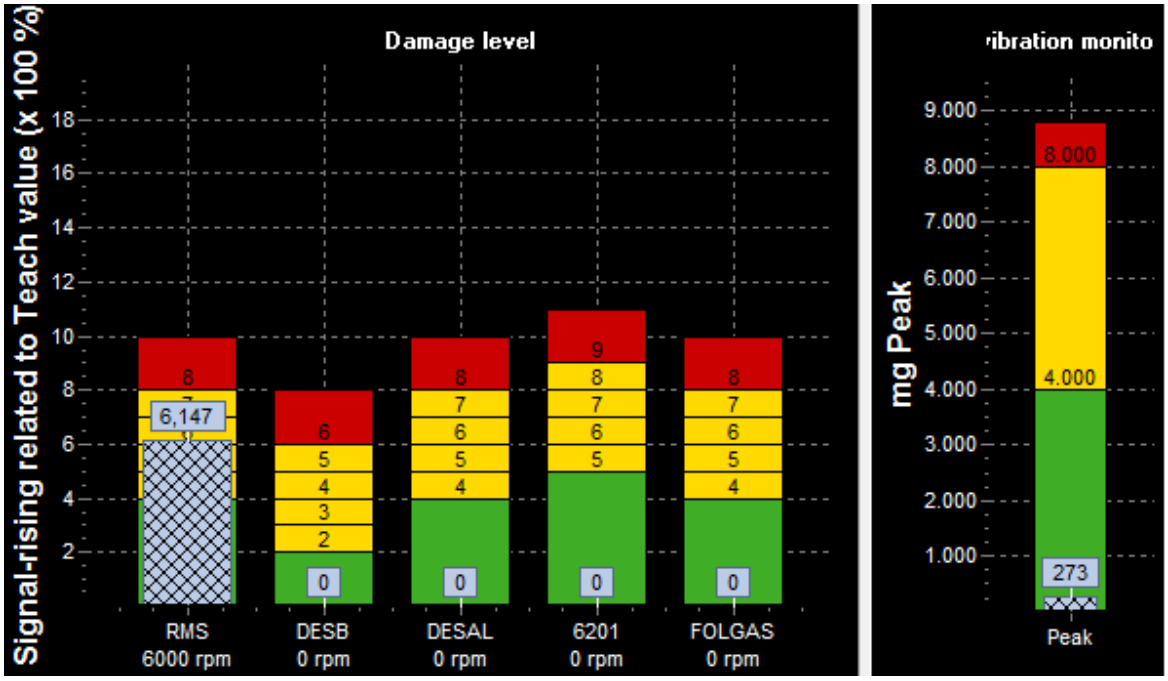


Figura 23 - Gráfico de barras gerado pelo quatro em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

Ao contrário do gráfico de barras do sensor quatro, o espectro de vibração na Figura 24 mostra um desbalanceamento (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração) e não mostra níveis de ruído de fundo.

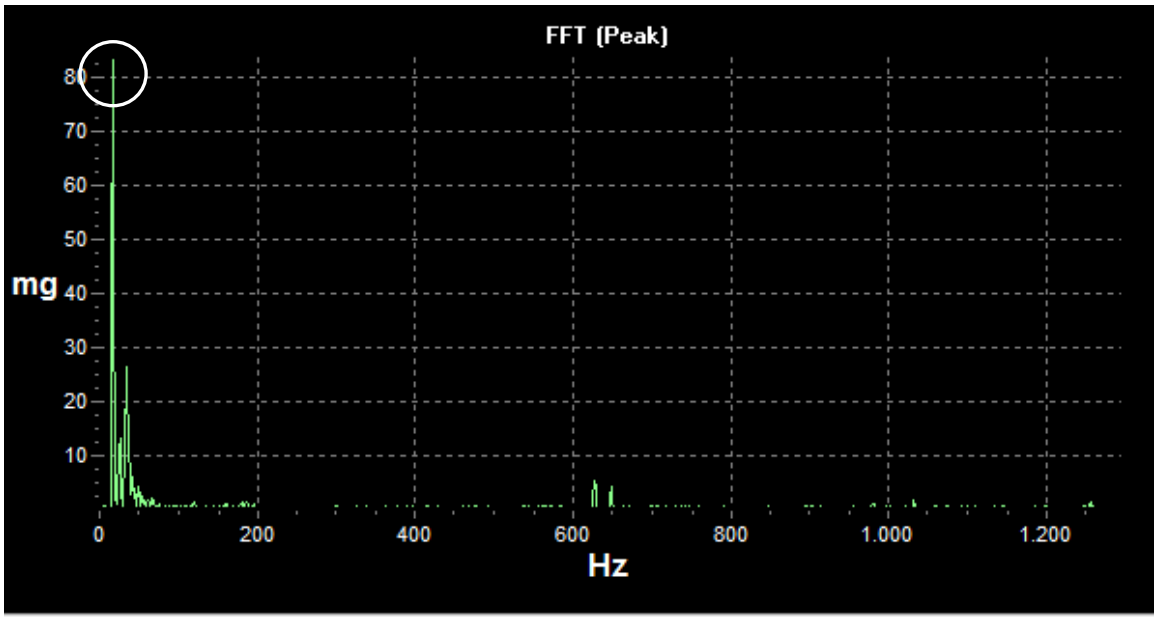


Figura 24 - Espectro de vibração do sensor quatro em 20 Hertz

(Fonte: Próprio autor).

4.1.3 Teste e coleta de dados realizados na frequência de 10 Hz (sem os suportes)

Para compararmos o teste, ajustamos a frequência do motor novamente para 10 Hertz, porém agora foram retirados os suportes do sistema (pés de borracha, proteção de acrílico e afrouxamento dos parafusos de fixação).

4.1.3.1 Sensor 1

Fazendo a análise do gráfico de barras da Figura 25, podemos observar que o sensor identifica que não há nível de vibração geral do sistema considerável (RMS, também, não tendo identificação de desbalanceamento, folgas ou problemas em rolamento (gráfico identificado por 6201)), porém já se nota um pequeno aumento nos níveis de vibração geral do sistema e na folgas.

Figura 25 - Gráfico de barras gerado pelo um em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

Como mostra o espectro da Figura 26, o mecanismo apresentou um desbalanceamento no eixo da polia que é demonstrado pelo maior pico nas faixas da cor do desbalanceamento (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo da linha verde), e pouco ruído de fundo que é mostrado pelos picos na faixa de cor de RMS (roxo).

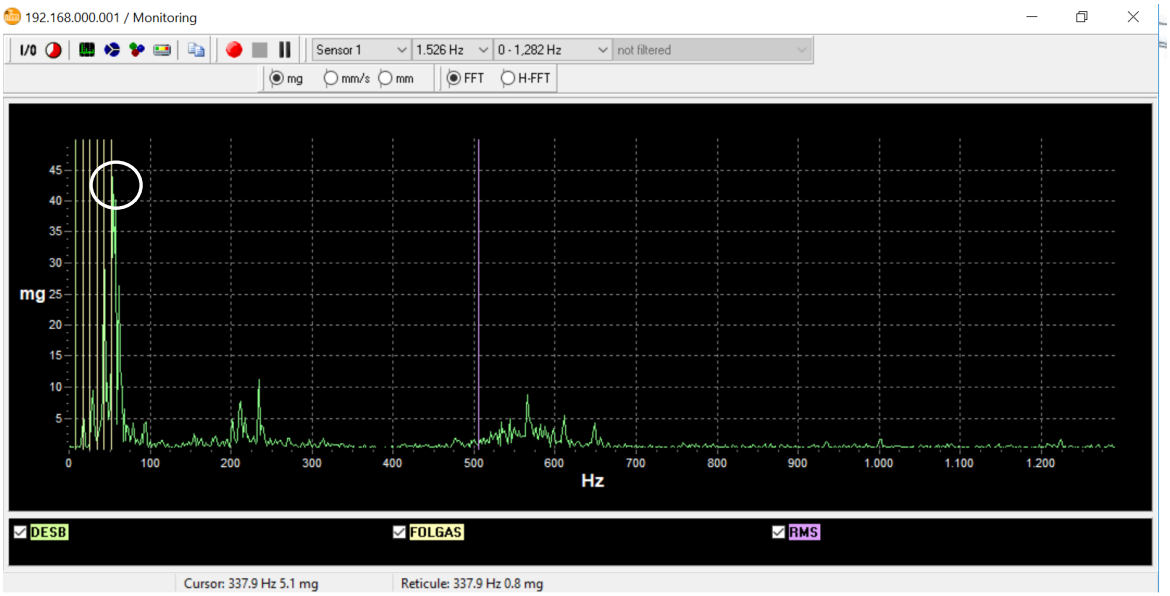


Figura 26 - Espectro de vibrações sensor um em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.3.2 Sensor 2

O sensor dois estava localizado na base de um engastamento da placa onde o motor elétrico foi instalado, pelo gráfico de barras podemos ver que foi detectado pouca vibração geral do equipamento e não foram detectadas falhas de rolamentos, folgas ou desbalanceamento.

Figura 27 - Gráfico de barras para o sensor dois em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

Observando o espectro de vibração do sensor dois na Figura 28 temos uma elevação dos níveis de vibração nas folgas (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo a linha rosa das folgas), não apresentando ruído de fundo e desbalanceamento.

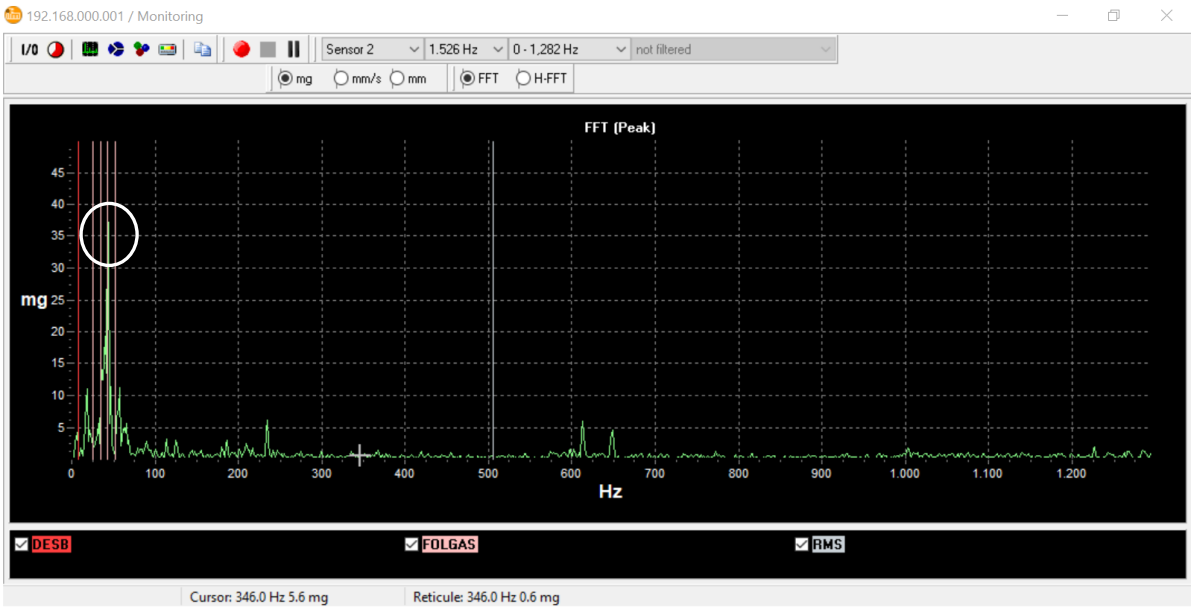


Figura 28 - Espectro de vibração do sensor dois em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.3.3 Sensor 3

Este sensor está localizado perto do ponto de fixação de uma das pontas da árvore que movimenta a polia. Podemos ver o gráfico de barras da Figura 29 mostra poucas vibrações gerais na máquina, mas não apresenta desbalanceamento, desalinhamento, falha de rolamentos ou folgas. O gráfico de correias não apresenta nenhuma medição pelo fato de o mecanismo não estar ligado a uma correia.

Figura 29 - Gráfico de barras do sensor três em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

Com funcionamento em 10 Hertz, observando a Figura 30, o mecanismo apresentou um pequeno desbalanceamento na árvore da polia e desalinhamento (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo as linhas azul e rosa, linhas de desbalanceamento e desalinhamento respectivamente), e pouco ruído de fundo.

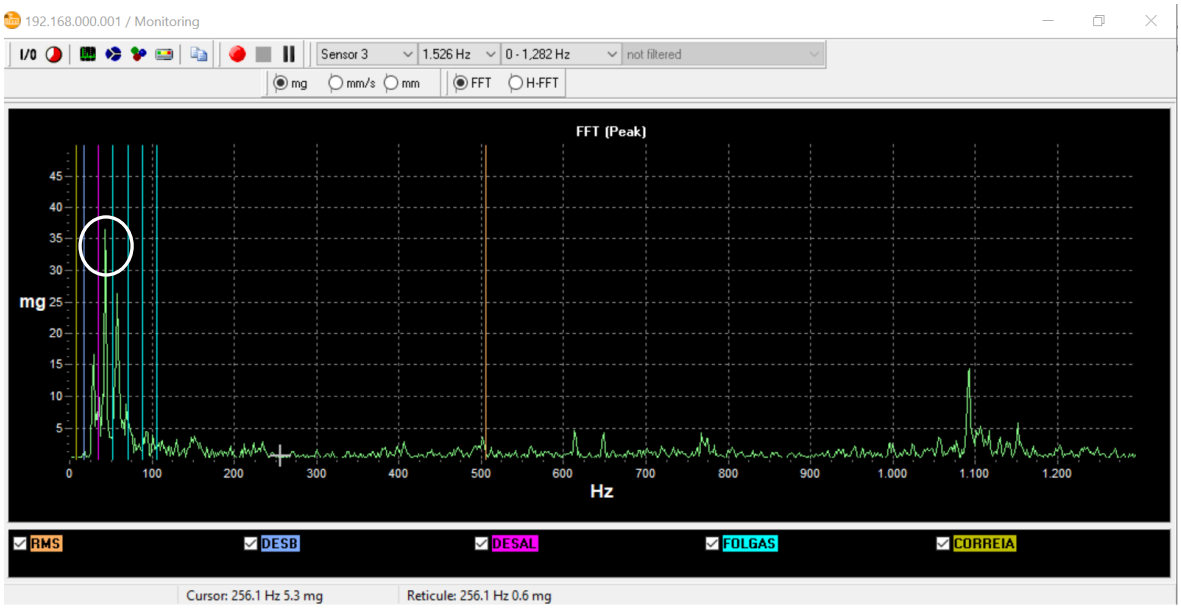


Figura 30 - Espectro de vibração do sensor três em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.3.4 Sensor 4

De acordo com o gráfico de barras gerado pelo sensor quatro, a Figura 31 mostra que que ele apresenta apenas uma vibração RMS normal que seria a vibração geral da máquina, não possuindo outras falhas, como desalinhamento, desbalanceamento, rolamentos ou folgas.

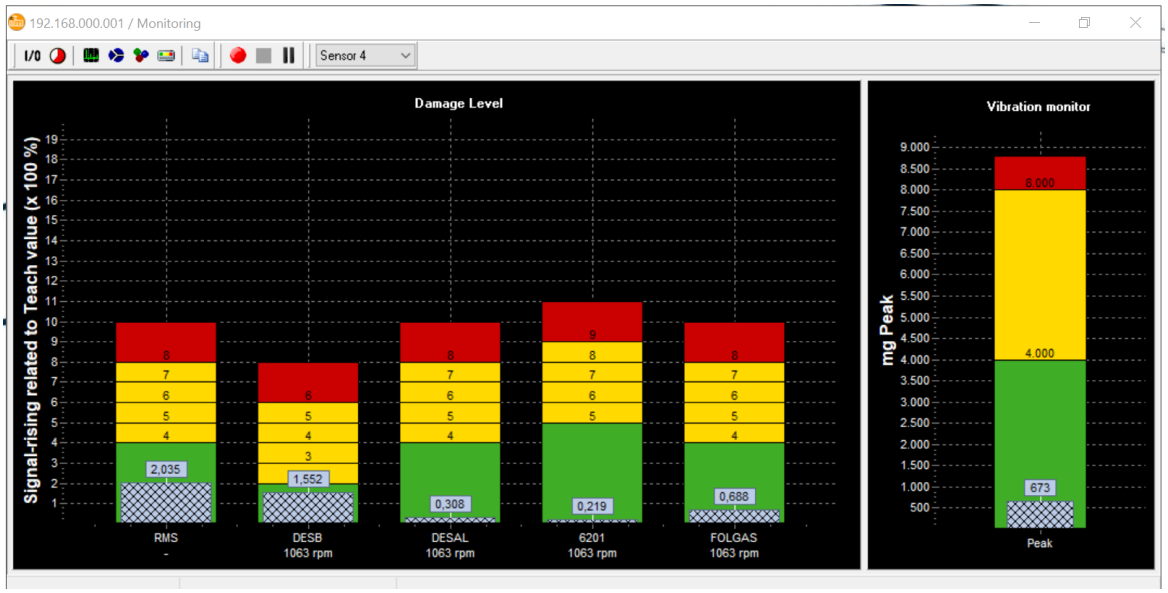


Figura 31 - Gráfico de barras do sensor quatro em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

O espectro da Figura 32 mostra que no sensor quatro apenas os níveis de vibração das folgas são elevados, não apresentando ruídos de fundo ou níveis consideráveis de vibração devidos ao desbalanceamento e desalinhamento (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo as linhas azul e rosa, linhas de desalinhamento e desbalanceamento, respectivamente).

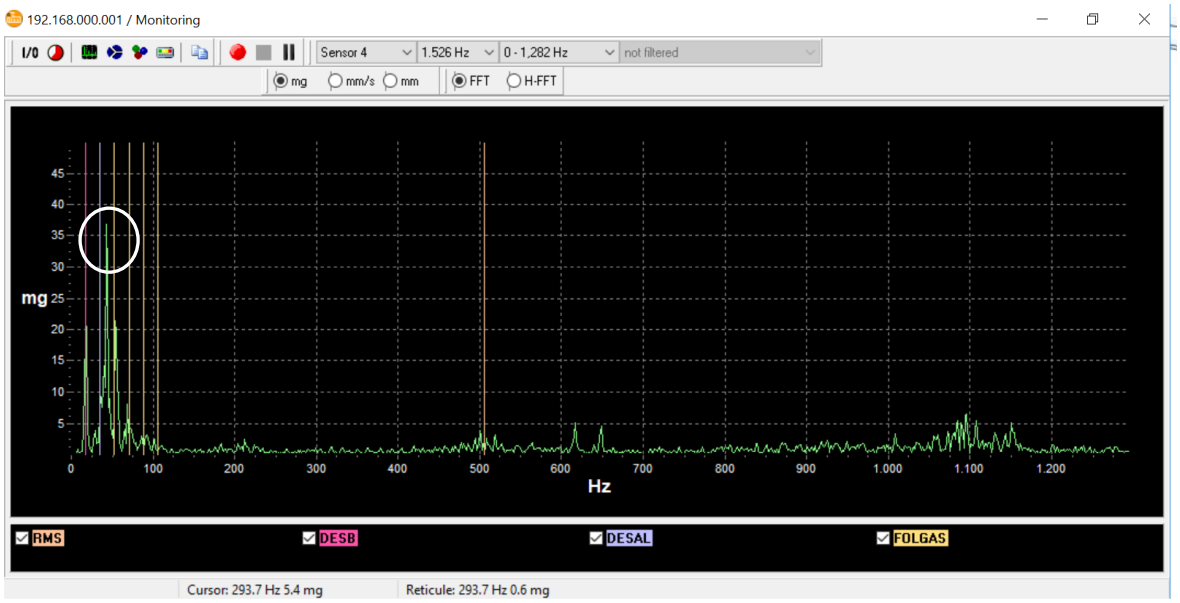


Figura 32 - Espectro de vibração do sensor quatro em 10 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.4 Teste e coleta de dados realizados na frequência de 20 Hertz (sem os suportes)

Para ser feito o comparativo do teste, a frequência do motor foi ajustada para 20 Hertz, podendo então iniciar a análise de vibrações.

4.1.4.1 Sensor 1

O gráfico apresenta apenas uma vibração global do sistema em nível de alerta e aceleração de pico também em nível de alerta, diferente do gráfico obtido na frequência de 10 Hertz, a vibração global aumentou bastante, podemos notar a variação olhando a Figura 33 logo abaixo.

Figura 33 - Gráfico de barras gerado pelo sensor um em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

O espectro apresentado pelo sensor um, nos indica um médio ruído de fundo, os picos de vibração são maiores nas folgas (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo à linha amarela de folgas), a Figura 34 mostra isso.

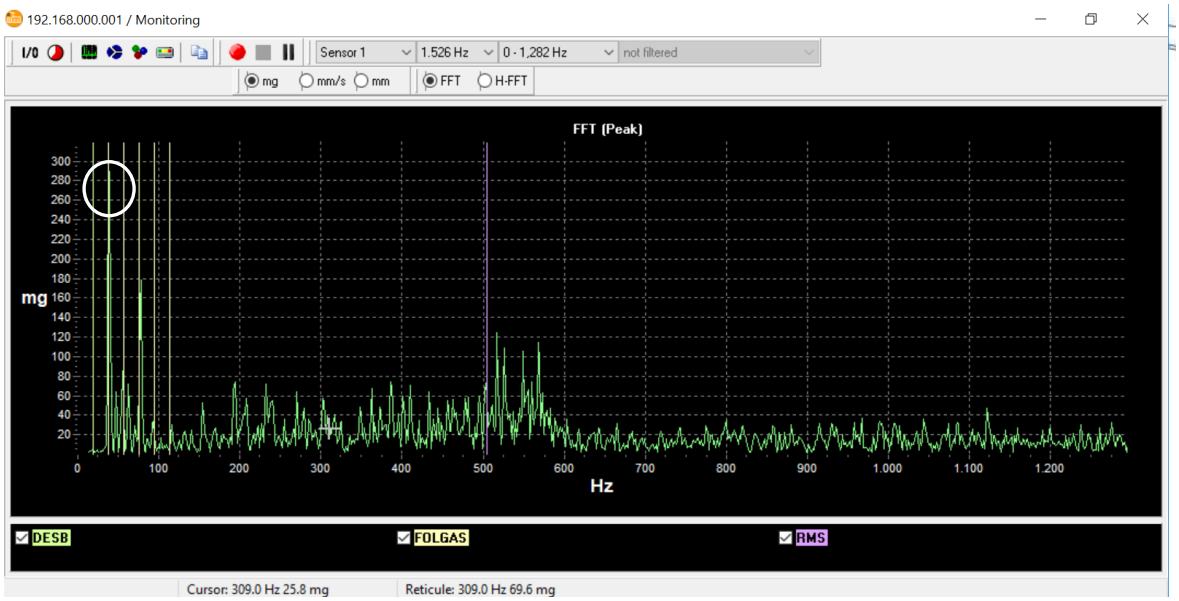


Figura 34 - Espectro de Vibração do sensor um em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.4.2 Sensor 2

O sensor dois estava localizado na base de engastamento da placa onde o motor estava instalado, picos de vibração global RMS muito elevados, passando em muito a zona de alerta. Em comparativo com o mesmo sensor em 10 Hertz apresenta maior vibração global RMS e uma aceleração de pico maior, como é mostrado na Figura 35.

Figura 35 - Gráfico de barras gerado pelo sensor um em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

Observando o espectro de vibração do sensor dois na Figura 36, temos apenas a demonstração de um alto nível de vibração em relação as folgas (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo a linha rosa de folgas), esse espectro não apresenta ruídos de fundo ou desbalanceamentos do sistema.

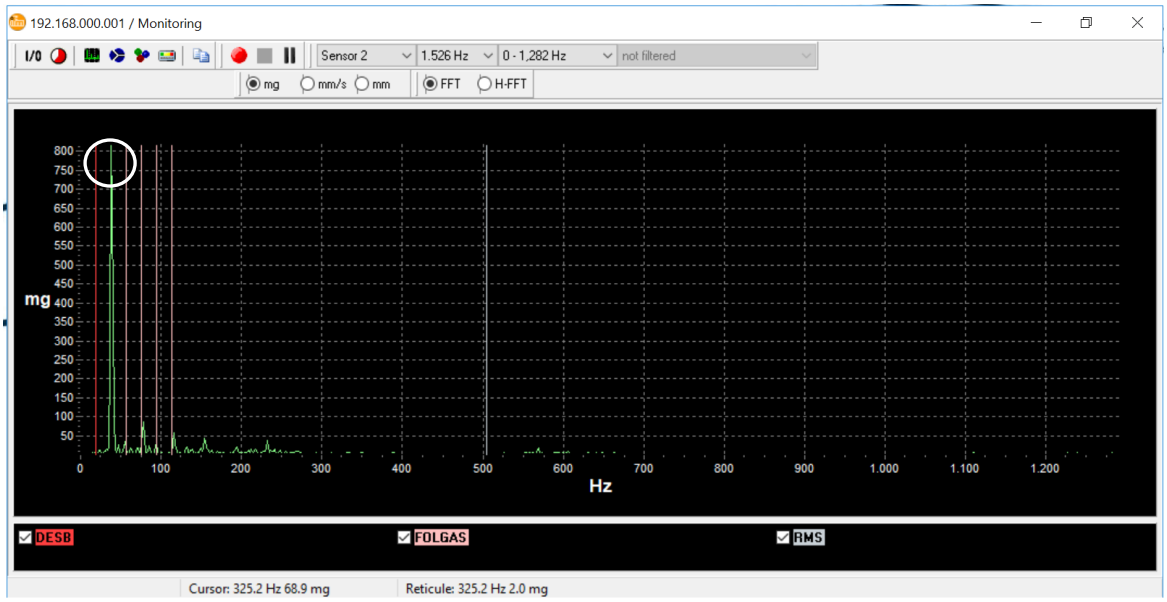


Figura 36 - Espectro de Vibração do sensor dois em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.4.3 Sensor 3

O gráfico abaixo da Figura 37 apresenta uma vibração de global alta, vibração crítica no rolamento (6201) e vibração crítica devido ao desbalanceamento, já a aceleração de não tem grande aumento.

Figura 37 - Gráfico de barras gerado pelo sensor três em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

Da mesma forma que foi demonstrado em 10 Hertz, com funcionamento em 20 Hertz, observando a Figura 38, o mecanismo apresentou um pequeno desbalanceamento no eixo da polia (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo a linha azul de desbalanceamento), e pouco ruído de fundo. Porém, em 20 Hertz o desbalanceamento gera picos de vibração bem maiores e menos ruído de fundo. Essa diferença nos picos de vibração que nos indicam desbalanceamento é pelo fato que com uma velocidade maior torna-se mais visível o desbalanceamento.

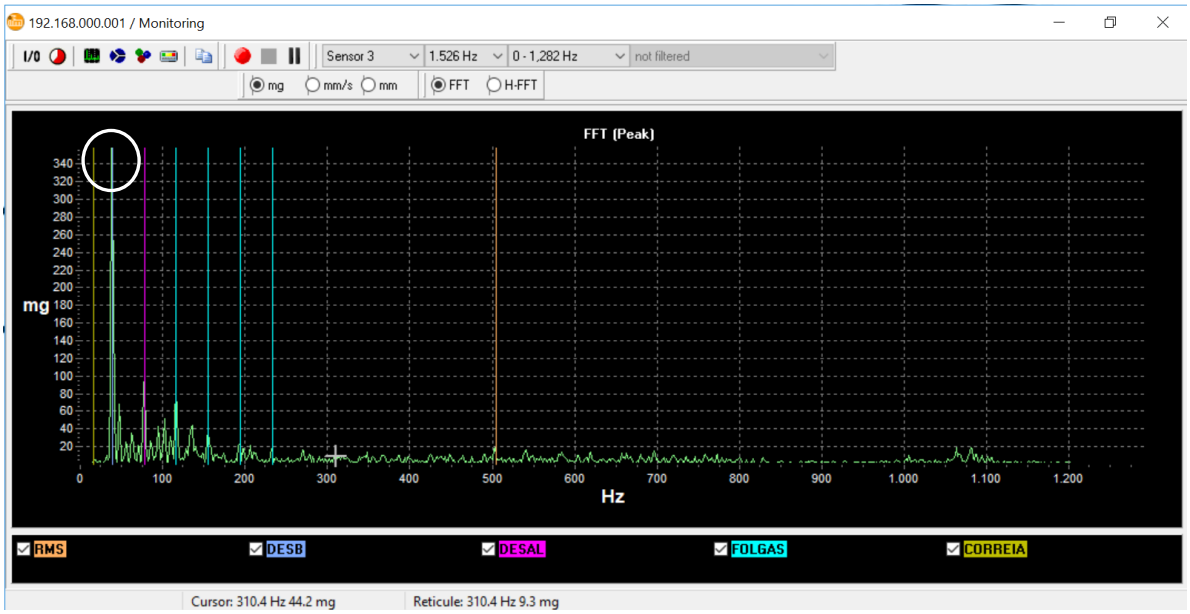


Figura 38 - Espectro de vibração do sensor três em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

4.1.4.4 Sensor 4

Com o sensor quatro, mostrado na Figura 39, pode-se detectar apenas vibração global, uma aceleração de pico muito alta e demostrou muito desbalanceamento. Por este gráfico podemos ver que não foram detectados problemas de desalinhamento, folgas ou falhas em rolamentos.

Figura 39 - Gráfico de barras gerado pelo sensor quatro em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor).

Ao contrário do gráfico de barras do sensor quatro, o espectro de vibração (Figura 40) mostra um desbalanceamento (o círculo branco no espectro mostra o pico de vibração, próximo a linha azul de desbalanceamento), lembrando que o sensor quatro, da mesma maneira que o sensor três está localizado em uma das pontas do eixo. Ao comparar o espectro de 20 Hertz com o de 10 Hertz, temos que os picos primários do gráfico são maiores.

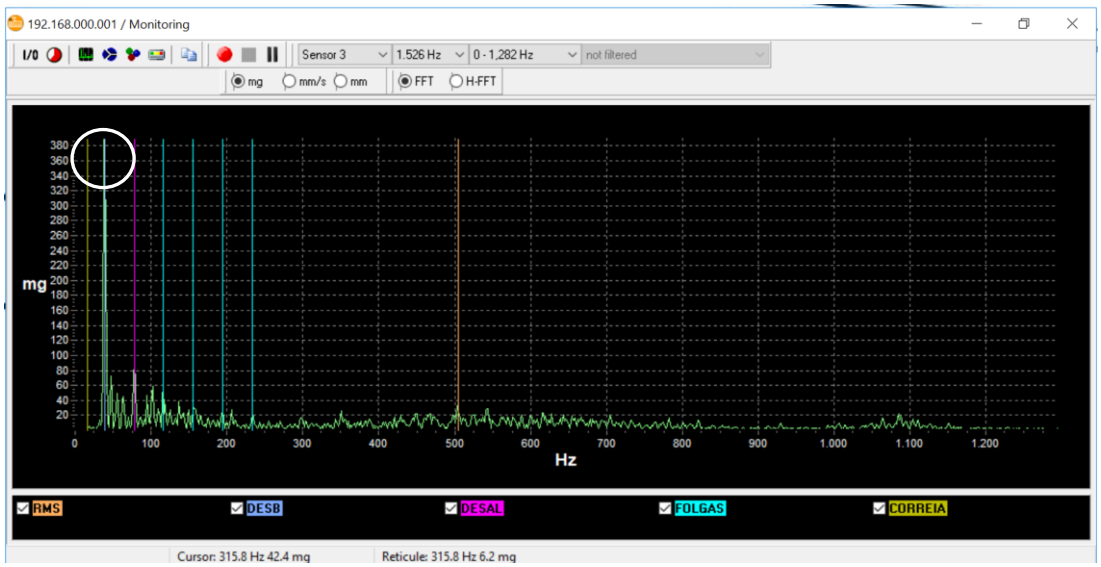


Figura 40 - Espectro de vibração do sensor quatro em 20 Hertz (sem os suportes)

(Fonte: Próprio autor)

5. CONCLUSÃO

Com os gráficos obtidos é possível confirmar que a utilização dos sensores foi feita de forma eficiente e correta, sendo assim possível fazer o comparativo entre os estados propostos, obtendo os dados necessários para concluir que os sensores são eficazes nas medições dos níveis de vibração do sistema em análise.

Como foi explicado no sistema em análise através dos espectros, os quesitos que mostraram alguma interferência nos níveis de vibração do motor levando ele a níveis de alerta ou críticos foram: as folgas, desalinhamento, falhas de rolamento, desbalanceamento e vibração global do sistema (RMS). Esses quesitos não foram achados em todos os sensores ou em todas as rotações simultaneamente, mas no decorrer dos testes todos acabaram aparecendo em algum dos pontos de medição, também foi possível notar que os quesitos citados apareceram com mais frequência e em níveis críticos nos testes onde os suportes foram retirados ou usados de forma incorreta, o sistema também mostrou um crescimento exponencial dos níveis de vibração conforme a frequência de rotação foi aumentada, concluindo que juntamente com o mal uso de suportes o aumento de frequência contribui para que as vibrações aumentes e as falhas ocorram.

Foi notado que após a remoção dos suportes e a fixação incorreta dos parafusos os sistema apresentou em alguns sensores (principalmente na frequência de 20 Hertz) aumentos consideráveis nos níveis de vibração, alguns até chegando a elevar os níveis a um estado crítico, podendo acarretar em mal funcionamento do sistema, ou até mesmo gerando defeito em componentes do mesmo e assim diminuindo a vida útil da máquina.

Resumidamente, por fim nos resultados demonstrados graficamente após os testes, foi notado que, em seu estado normal (sem a retirada de nenhum componente) o motor não apresente níveis alarmantes de vibrações em seu todo, tanto na frequência de 10 Hertz quanto na frequência de 20 Hertz, confirmando assim que o motor está instalado da maneira correta e que seu conjunto está funcionando sem falhas, já que as vibrações detectadas nessas etapas são as naturais do próprio sistema devido a sua rotatividade. Já nas etapas onde os suportes já citados foram retirados do sistema, foi possível notar a variação nos níveis de vibração em todos os sensores, nas duas frequências escolhidas. Na frequência de 10 Hertz a alteração nesses níveis não é tão grande e não chega a níveis alarmantes de acordo com o software, mas o fato de que houve um aumento nesses níveis deixa evidente a diferença que os suportes fazem mesmo em baixas frequências de rotação. E na frequência de 20 Hertz que foi onde

notou-se uma variação muito maior, apenas dobrando a frequência inicial os gráficos de todos os sensores ficaram na zona crítica em algum quesito analisado (RMS, desbalanceamento, folgas, desalinhamento ou vibração de pico), dessa forma se torna ainda mais visível o papel dos suportes no conjunto em análise, já que em condições normais de uso ele não apresentou níveis críticos de vibração. Tendo em mente que na análise provou-se que os suportes têm uma influência significativa na vibração do sistema e que de acordo com intensidade da frequência de rotação usada essa influência tende a aumentar, a hipótese de que seriam achados níveis consideráveis de diminuição das vibrações devido ao uso de suportes, se mostra certa, assim também confirmando a importância que a vibração tem para as máquinas, porque em níveis críticos as vibrações podem ocasionar falhas dos componentes, diminuição da vida útil, queda de rendimento da máquina, gastos com peças de reposição e manutenção, perigo para os operadores e prejuízos para a empresa, sempre olhando pelo lado de que a indústria está buscando cada vez mais o aumento da vida útil de seus equipamentos, a diminuição de gastos com manutenções e uma melhor performance das suas máquinas.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar os sensores individualmente;
- Fazer testes com frequências mais elevadas;
- Adicionar isoladores para reduzir os níveis de vibração;
- Dimensionar uma bancada melhorada para o sistema;
- Fazer uma análise de fadiga dos componentes;
- Criar um plano de manutenção para o sistema;
- Pesquisar isoladores utilizados no mercado;
- Calcular a eficiência dos suportes de acordo com os níveis de vibração do motor;
- Usar os sensores em sistemas diferentes para fins de comparação;
- Verificar os níveis de desbalanceamento, desalinhamento e folgas separadamente;
- Relacionar os cálculos da disciplina de vibrações com a prática de laboratório.

BIBLIOGRAFIA

DA SILVA, Samuel. **Vibrações Mecânicas**, Foz do Iguaçu, 2009, do curso de graduação em Engenharia Mecânica do Centro de Engenharias e Ciências Exatas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Foz do Iguaçu.

INMAN, Daniel J. **Vibrações mecânicas.** Tradução da 4ª edição. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2018.

KURKA, Paulo R. G. **Vibrações de sistemas dinâmicos: análise e síntese.** 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2015.

KUHNERT, William Minnemann. **Isolamento de vibrações utilizando inerter e amortecimento não linear.** Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/143489/ Acesso em: 25/09/2018

LLK Engenharia. **Treinamento de Análise de Vibrações Sistema On-line IFM.** Belo Horizonte, 2008.

MICHAELIS. **Vibração. In: Dicionário Michaelis.** © 2018 Editora Melhoramentos Ltda. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/vibração/> Acesso em: 25/09/2018.

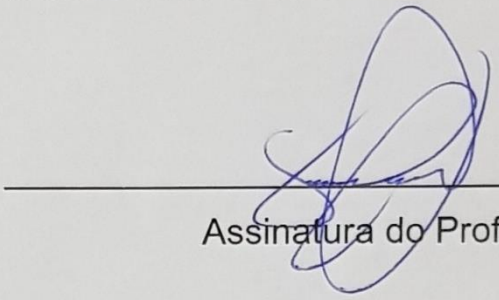
SINGIRESU S. Rao. **Vibrações Mecânicas.** Revisor técnico: José Juliano de Lima Junior; tradução Arlete Simille. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Título original: *Mechanical vibrations*, 4.ed. americana.

VITTORINO, Marco Antonio. **Manutenção preditiva-análise de vibração.** Analista de Manutenção, São Paulo: Cargill.

CENTRO
UNIVERSITÁRIO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Sergio Henrique Rodrigues Mota professor do Centro Universitário Assis Gurgacz e orientador do acadêmico Guilherme Jupi Queiroz Santos no Trabalho de Conclusão de Curso, declaro que as correções solicitadas pela banca foram efetuadas corretamente.



Assinatura do Professor

Cascavel, 26 de julho de 2019.