

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**MATEUS BIOEN CATTANI**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM  
TORNO CNC DE USINAGEM DE PANELAS**

**BENTO GONÇALVES**

**2022**

**MATEUS BIOEN CATTANI**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM  
TORNO CNC DE USINAGEM DE PANEAS**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica apresentado à Universidade de Caxias do Sul (UCS) como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Me. Eng. Elton Fabro.

**BENTO GONÇALVES**

**2022**

**MATEUS BIOEN CATTANI**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM  
TORNO CNC DE USINAGEM DE PANEAS**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica apresentado à Universidade de Caxias do Sul (UCS) como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Mecânica.

**Aprovado em**

**Banca Examinadora**

---

Prof. Me. Eng. Elton Fabro  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Me. Eng. Vagner Grison  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Eng. Matheus Poletto  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## RESUMO

Este trabalho tem como proposta a seleção de técnicas de manutenção preditiva, para aplicação em um torno cnc de cinco eixos dedicado para a usinagem de painelas. Foi realizado a análise do sistema eletromecânico da máquina e direcionou-se o estudo para as técnicas de termografia e análise de vibrações. Com a utilização de câmera termográfica, iniciou-se o processo de monitoramento de temperatura, já para a vibração, foi utilizado um sensor do tipo acelerômetro interligado a um *software* coletor de dados de vibração. Este monitoramento foi realizado através de medições periódicas com a máquina em operação sempre na mesma condição, em movimento de usinagem sem carga, na técnica de análise de vibração. Para a medição de temperatura, foi realizado com a máquina parada no meio do seu processo de operação. Também foram definidos limites de amplitude dos parâmetros de vibração, com base na norma ISO 2372 e limites de temperatura, com base nas instruções do fabricante de rolamentos SKF. Com base no estudo da vibração mecânica, pode-se analisar e entender o comportamento da máquina, através dos parâmetros medidos e dos espectros gerados. Através das medições periódicas, pode-se obter gráficos de análise global, onde observou-se o equilíbrio nas medições de temperatura e uma tendência de elevação do nível de vibração em um dos pontos medidos, confirmando desta forma a efetividade desta prática.

**Palavras-chaves:** Manutenção preditiva; Monitoramento de vibração e temperatura; Torno cnc; Usinagem de painelas.

## ABSTRACT

The propose of this Project is the selection of predictive maintenance techniques, for application in a five-axis cnc lathe dedicated to lathe machining. The analysis of the electromechanical system of the machine was carried out and the study was directed to the techniques of thermography and vibration analysis. A thermographic camera was used, the temperature monitoring process began, and for the vibration, an accelerometer-type sensor was used, linked to a vibration data collector software. This monitoring was carried out through periodic measurements with the machine in operation always in the same condition, in no-load machining movement, in the vibration analysis technique. For temperature measurement, it was performed with the machine stopped in the middle of its operating process. Vibration parameter amplitude limits have also been defined, based on ISO 2372 and temperature limits, based on the SKF bearing manufacturer's instructions. Based on the study of mechanical vibration, it is possible to analyze and understand the behavior of the machine, through the measured parameters and the generated spectra. Through the periodic measurements, it is possible to obtain graphs of global analysis, where it was observed the balance in the temperature measurements and a tendency of elevation of the vibration level in one of the measured points, thus confirming the effectiveness of this practice.

**Keywords:** Predictive maintenance; Vibration and temperature monitoring; Lathe cnc; Pan machining.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parque fabril.....	13
Figura 2 - Produtos .....	13
Figura 3 - Combinação de abordagens de manutenção .....	15
Figura 4 – Curva de falha potencial (PF) .....	16
Figura 5 - Representação dos parâmetros de vibração mecânica .....	19
Figura 6 - Espectro de vibração .....	20
Figura 7 – Sensores do tipo acelerômetros .....	22
Figura 8 - Fixação de sensores na carcaça.....	23
Figura 9 - Funcionamento termômetro por radiação .....	24
Figura 10 - Termovisor.....	25
Figura 11 - Monitoramento prescritivo .....	26
Figura 12 - Torno CNC .....	27
Figura 13 – Torno três da linha de produção 7A.....	29
Figura 14 - Carro superior .....	31
Figura 15 - Eixo X do carro superior.....	32
Figura 16 - Fluxograma do plano de trabalho .....	33
Figura 17 - Espectro de vibração .....	36
Figura 18 - Imagem termográfica.....	36
Figura 19 - Ponto de fixação do sensor no eixo árvore .....	40
Figura 20 - Ponto de fixação do sensor no eixo X do carro superior .....	40
Figura 21 - Espectro de vibração eixo árvore.....	42
Figura 22 - Espectro de vibração do eixo X do carro superior.....	43
Figura 23 - Medição de temperatura eixo árvore .....	44
Figura 24 - Medição de temperatura do eixo X do carro superior .....	44
Figura 25 - Gráfico global de análise de vibração.....	45
Figura 26 - Gráfico global de análise de temperatura .....	45
Figura 27 - Análise de espectro de vibração.....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores resultantes de problemas mecânicos .....	12
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens dos tipos de manutenções .....	17
Quadro 3 - Classes de máquinas .....	21
Quadro 4 - Parâmetros de qualidade em função da vibração .....	21
Quadro 5 - Limites de temperatura para rolamentos .....	24
Quadro 6 - Custo dos componentes do eixo X superior .....	32
Quadro 7 – Planilha para análise eletromecânica do torno .....	34
Quadro 8 – Planilha para análise de técnicas preditivas.....	34
Quadro 9 – Planilha para implementação.....	35
Quadro 10 – Planilha para registro de dados das aferições .....	35
Quadro 11 - Análise eletromecânica do torno .....	38
Quadro 12 - Técnicas preditivas .....	39
Quadro 13 - Pontos de medição.....	39
Quadro 14 - Medições .....	41
Quadro 15 - Frequências a serem analisadas do eixo árvore.....	42
Quadro 16 - Frequências a serem analisadas do eixo X do carro superior.....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CNC Comando numérico computadorizado

IHM Interface homem máquina

RPM Rotações por minuto



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	OBJETIVOS .....	12
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>12</b>
1.3	AMBIENTE DE TRABALHO .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1	CONCEITOS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	14
2.2	PROPÓSITOS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	15
2.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	16
2.4	PRINCIPAIS TÉCNICAS PREDITIVAS .....	18
<b>2.4.1</b>	<b>Vibração</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Temperatura</b> .....	<b>23</b>
2.5	MANUTENÇÃO PRESCRITIVA.....	25
2.6	TORNO CNC.....	26
<b>3</b>	<b>PROPOSTA DE TRABALHO</b> .....	<b>29</b>
3.1	CENÁRIO ATUAL .....	29
3.2	PLANO DE TRABALHO .....	33
<b>3.2.1</b>	<b>Etapa 1 - Análise do sistema eletromecânico do torno</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Etapa 2 - Análise de técnicas e sistema de medição preditiva</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Etapa 3 – Aplicar técnicas de monitoramento no torno cnc</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Etapa 4 - Avaliar os parâmetros medidos</b> .....	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
4.1	ANÁLISE DO SISTEMA ELETROMECHANICO DO TORNO.....	38
4.2	ANÁLISE DE TÉCNICAS E PONTOS DE MEDIÇÃO PREDITIVA.....	38
4.3	APLICAR TÉCNICAS DE MONITORAMENTO PREDITIVO NO TORNO .....	39
4.4	AVALIAR OS PARÂMETROS MEDIDOS.....	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o início da produção em série e mecanização das indústrias, foram realizadas as primeiras manutenções corretivas. Segundo a NBR 5462-1994, a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar em condições de executar uma função requerida.

Este cenário começou a mudar com o surgimento da Segunda Guerra Mundial, onde aumentou a demanda de itens industrializados e diminuiu a oferta de mão de obra. Segundo Gregório e Silveira (2018), as indústrias começaram a rever seus conceitos de manutenção. Nesta época surgiu o conceito de manutenção preventiva.

A manutenção preventiva é realizada de forma programada e periódica, com o objetivo de evitar paradas inesperadas e falhas nas máquinas e equipamentos. Segundo a NBR 5462-1994, a manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação do funcionamento de um item (ABNT, 1994).

Com o surgimento de ferramentas como a *just in time*, segundo Gregório e Silveira (2018), pequenas paradas para manutenção, paralisavam a fábrica inteira. Para isso, as empresas necessitaram se certificar que suas máquinas e equipamentos seriam confiáveis para operar, correspondendo a expectativa de produção previamente estabelecidas. Foi então que surgiu o conceito de manutenção preditiva.

Este conceito diz respeito ao acompanhamento periódico, realizando coleta de dados de monitoramento das condições dos componentes das máquinas. O intuito é diminuir a quantidade de manutenções corretivas e preventivas, aumentando a disponibilidade e confiabilidade da máquina. Segundo a NBR 5462-1994, manutenção preditiva permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção corretiva.

Neste trabalho é abordado o processo de usinagem em painéis pintados com tinta antiaderente, especificamente o faceamento do fundo externo e borda. Para este processo, a máquina utilizada é um torno CNC de cinco eixos, visando dar acabamento estético final no produto.

As paradas do torno por problemas mecânicos ocorrem inesperadamente, afetando a eficiência do processo estimada em 15%, a partir desse fato, deslumbrou-se a oportunidade da manutenção preditiva, para antecipar os problemas, possibilitando realizar o reparado de forma programada.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com a alta demanda e competitividade do mercado, se faz necessário estar em constante evolução. A tecnologia é um item primordial para o sucesso das empresas, com o intuito de atender as necessidades e demandas dos clientes. Para atender a demanda e qualidade, é necessário ter máquinas em boas condições, que sejam confiáveis e produtivas. As máquinas estão evoluindo tecnologicamente constantemente.

A automação nas máquinas gera muitos ganhos, por outro lado, também agrega mais componentes, de tal forma, afetam a possibilidade de falhas, tornando a manutenção mais complexa e demorada. Essa condição, exige mais qualificação e tempo do técnico para fazer a manutenção.

Nas linhas de produção de painéis de antiaderente da Tramontina S/A Cutelaria, é crítico o processo de usinagem de bordas e fundo da peça, pois é a operação onde é realizado o acabamento e modelagem final da peça, sendo que não é aceitável acabamento com pequenas marcas de trepidação ou qualquer tipo de risco, sendo que estes problemas são comuns por falhas na máquina.

Quando se tem um problema de acabamento por trepidação, condição que geralmente é resultante de rolamentos danificados, a máquina é imediatamente parada para realizar a manutenção corretiva. Hoje não é realizado monitoramento preditivo, portanto, não é possível saber a real condição da máquina, impossibilitando programar a manutenção. Conseqüentemente, não é possível utilizar os componentes até próximo do final da sua vida útil, sem interferir na qualidade do produto e afetar a área produtiva. No mês de setembro de 2021, neste setor, foram produzidas 944 peças danificadas por problemas mecânicos dos tornos, gerando perdas com um custo de 8.149,56 reais.

Desta forma, para ter ganhos de disponibilidade e produtividade, visualiza-se a possibilidade de implementar a manutenção preditiva e conceitos da prescritiva. Este conceito de manutenção vai permitir saber a condição real da máquina, possibilitando que os técnicos se programem para realizar a intervenção. Assim, a máquina ficará parada o menor tempo

possível, possibilitando também fazer compras programadas de peças sobressalentes, permitindo que sejam trocadas antes que a máquina falhe, sem interferir na qualidade do produto. No Quadro 1 são apresentados alguns exemplos de valores resultantes de problemas mecânicos neste modelo de máquina. Os valores apresentados são mensais, obtidos através da média de medição em três meses.

Quadro 1 - Valores resultantes de problemas mecânicos

Indicadores	Máquina 1 Patrimônio 4246	Máquina 2 Patrimônio 4914	Máquina 3 Patrimônio 4746	Máquina 4 Patrimônio 8931	Máquina 5 Patrimônio 8935
Horas paradas	05:34	01:58	11:36	27:55	03:33
Quantidade corretivas	3	2	6	8	2
Refugos por vibração	28	59	21	30	15
Custo de manutenção	3221,89	1482,82	830,32	3941,58	4582,10

Fonte: Autor (2021).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar parâmetros de manutenção preditiva em torno CNC de usinagem de painelas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) analisar sistema eletromecânico do torno;
- b) avaliar técnicas e sistema de medição preditiva;
- c) aplicar técnicas de monitoramento no torno CNC;
- d) avaliar os parâmetros medidos.

### 1.3 AMBIENTE DE TRABALHO

A Tramontina é um grupo de empresas brasileiras dedicadas à produção e a comercialização de utilidades domésticas e ferramentas. Estas são as duas linhas mais importantes. Porém, o grupo também produz outras linhas, tais como, materiais elétricos, artigos em madeira e material polimérico.

A Tramontina S.A. Cutelaria, Figura 1, foi a primeira das unidades a ser criada. Sua fundação foi em 1º de maio de 1911, em Carlos Barbosa no estado do Rio Grande do Sul. Hoje a empresa conta com um quadro de 3600 funcionários, com parque fabril com 160.342,72 m<sup>2</sup> localizado em duas áreas da cidade, uma no bairro Triângulo e outra no Desvio Machado.

Figura 1 - Parque fabril



Fonte: Tramontina S/A Cutelaria.

Os produtos da empresa, Figura 2, estão presentes em mais de 120 países, com mais de 5.000 produtos diferentes. Tendo como principal atividade a industrialização e comercialização de talheres, facas, facões, tesouras, canivetes, espetos, utensílios domésticos, frigideiras, formas e panelas de alumínio com revestimento antiaderente.

Figura 2 - Produtos



Fonte: Tramontina S/A Cutelaria.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os métodos de manutenção preditiva, prescritiva e o torno CNC, máquina que será aplicada as técnicas preditivas, visando aumentar a sua disponibilidade e confiabilidade.

### 2.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é aquela que, monitorando as principais variáveis dos equipamentos e máquinas, indica se é necessário a intervenção, que só é realizada com base na alteração de parâmetros de condição ou desempenho. A preditiva é o acompanhamento ou monitoramento da condição que obedece a uma sistemática, ou seja, está baseada em um plano. (KARDEC; NASCIF, 2013).

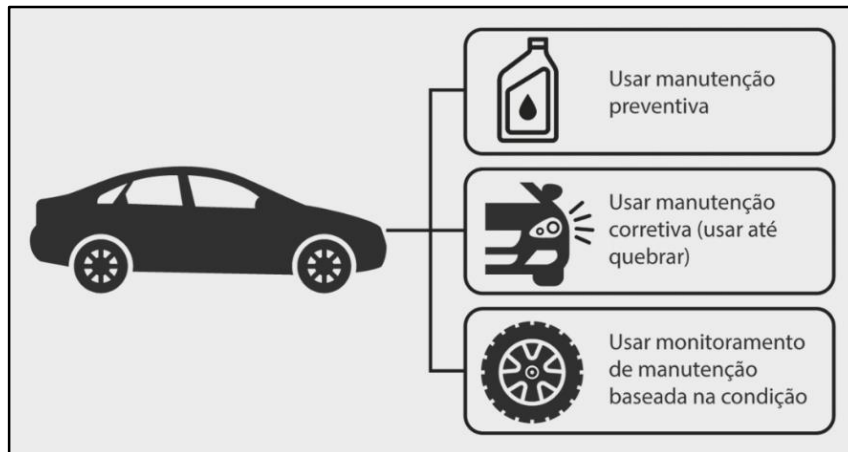
Para Baldissarelli e Fabro (2019), manutenção preditiva tem como finalidade definir os parâmetros a serem medidos e determinar os limites a serem tolerados. Com essas informações, são realizadas as intervenções de um equipamento ou planta, diminuindo o custo de reparo. Já para Gregório e Silveira (2018), manutenção preditiva é um tipo de manutenção planejada que aplica de forma sistemática técnicas de análise, buscando reduzir manutenções preventivas e corretivas e utilizando o componente durante toda a sua vida útil.

O conceito de manutenção preditiva, tem como principal objetivo aproveitar ao máximo os componentes e a disponibilidade da máquina ou equipamento, e realizar a manutenção somente quando for realmente necessário (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018). Este conceito vai ao encontro com a afirmação de Kardec e Nascif (2013), quando diz que “Não é mais aceitável que o equipamento ou sistema pare de maneira não prevista – isso é o fracasso da manutenção”.

A aplicação da manutenção preditiva permite indicar as reais condições de funcionamento da máquina ou equipamento, de acordo com a variação dos dados obtidos pelas medições. Para isso, baseia-se em inspeções periódicas, em que variáveis como temperatura, vibração, ruídos, entre outros, são medidos por instrumentos específicos. A partir destas análises, sabe-se a real condição da máquina ou equipamento, bem como o acompanhamento da evolução de um defeito, possibilitando planejar uma intervenção para executar a manutenção (ALMEIDA, 2014).

Na Figura 3, tem-se uma combinação de abordagens de manutenção. De maneira simplificada, é possível visualizar a utilização de estratégias de manutenção preventiva, corretiva e preditiva em um automóvel.

Figura 3 - Combinação de abordagens de manutenção



Fonte: Gregório et al. (2018).

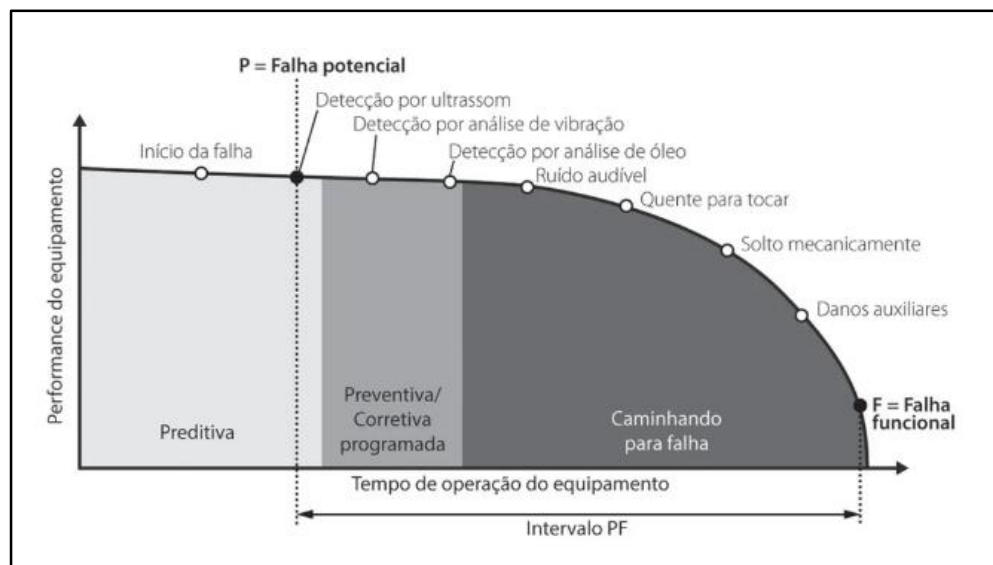
## 2.2 PROPÓSITOS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Para atender as necessidades e exigências da indústria, segundo Almeida (2015), deve ser analisado e selecionado o tipo de manutenção ideal, afim de atingir os objetivos que a empresa necessita. Com a implementação da manutenção preditiva, a empresa alcançará os seguintes propósitos:

- a) de forma antecipada, é possível determinar a necessidade de intervenção para realizar a manutenção ou substituição de uma peça ou componente específico da máquina, visando ter o aproveitamento máximo do mesmo;
- b) com a utilização de instrumentos específicos para monitoramento, elimina-se desmontagens desnecessárias para inspeções;
- c) aumentar a disponibilidade das máquinas e equipamentos, acompanhando a evolução do problema;
- d) evitar transtornos e paradas emergências e imprevistas;
- e) evitar que o defeito agrave a ponto de interferir ou comprometer outros componentes da máquina;
- f) reduzir custos e garantir maior qualidade nos produtos finais.

Com a manutenção preditiva, segundo Teles (2018 apud Gregório, 2018), é possível gerar uma curva chamada de falha potencial (Figura 4), onde é possível visualizar o intervalo de tempo entre a falha potencial e a falha funcional. Com essa curva é possível acompanhar a evolução da falha, assim, antes de ocorrer a falha funcional, realizar a manutenção corretiva de forma programada.

Figura 4 – Curva de falha potencial (PF)



Fonte: Gregório e Silveira (2018).

Nesta curva de falha potencial, é possível visualizar o instante que a falha potencial (ponto P) foi detectada. É possível também, acompanhar toda a trajetória da falha potencial, até que ocorra a falha funcional. Nota-se como a curva vai decaindo ao longo da trajetória da falha, implicando diretamente na queda de performance da máquina ou equipamento.

Falha potencial é o instante que surge uma falha, ou seja, é o início da falha, período onde compromete parcialmente o funcionamento do equipamento, diminuindo a sua performance. Já a falha funcional, é o instante que o equipamento não tem mais condições de operar, ou seja, ele perde sua função.

### 2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

Para Almeida (2014), a manutenção preditiva além de possibilitar o gerenciamento do processo de manutenção, permite as seguintes vantagens:

- a) aproveitamento da vida útil do equipamento ou máquina;



- b) controle e planejamento do estoque e aquisição de peças sobressalentes;
- c) possibilita executar a manutenção de forma planejada, conseqüentemente tem-se redução nos custos de reparo;
- d) maior eficiência das máquinas e equipamentos;
- e) mais condições de segurança no trabalho;
- f) confere maior confiabilidade nos produtos ofertados pela empresa.

Para Gregório e Silveira (2018), a preditiva possibilita vantagens no gerenciamento do estoque de peças para manutenção, bem como a redução dos estoques de produção. Além destes, permite as seguintes vantagens:

- a) redução do número de falhas das máquinas e equipamentos;
- b) redução do tempo de parada para intervenção;
- c) maior produtividade;
- d) aumento da segurança;
- e) maior vida útil dos componentes e equipamentos;
- f) redução de custos.

No Quadro 2, é possível verificar e comparar as vantagens e desvantagens de cada tipo de manutenção.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens dos tipos de manutenções

<b>Tipo de manutenção</b>	<b>Conceito</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Corretiva (não planejada)	Operar até falhar	Enquanto os equipamentos não falham, não existe custo	Paradas impreviáveis em momentos aleatórios; Redução da vida útil do ativo
Preventiva	Atuar antes da falha	Reduz a incidência de falhas; Aumenta a vida útil e o valor de uso do equipamento	Uso de sobressalentes em excesso; Paradas sem real necessidade
Preditiva	Monitoramento de algum parâmetro do ativo	Identificação antecipada de potenciais defeitos e falhas dos ativos; Auxilia a definição dos momentos adequados de trocas e reparos	Custo de implementação

Fonte: Adaptado de Gregório et al. (2018).

## 2.4 PRINCIPAIS TÉCNICAS PREDITIVAS

Segundo Kardec e Nascif (2013), há diversas técnicas preditivas para fazer o monitoramento das máquinas e equipamentos, de modo que, quando necessário realizar a intervenção, seja realizada com base na condição real. O critério de avaliação é através de medições, acompanhamento e monitoramento de parâmetros, que podem ser classificados como monitoramento subjetivo, monitoramento objetivo *offline* ou *online*.

O monitoramento subjetivo, é realizado através dos sentidos humanos, que são, visão, tato, olfato e audição. Este monitoramento é importante, porém pode apresentar variações em função da experiência do técnico, diferença de sensibilidade entre técnicos e do nível de ansiedade.

O monitoramento objetivo, é realizado com o auxílio de aparelhos ou instrumentos com intuito de fazer medições de parâmetros ou variáveis, eliminando o grau de incertezas. No monitoramento objetivo *offline*, é realizado coleta de dados da máquina ou equipamento, em intervalos regulares, respeitando um plano de manutenção preditiva já definido. Já no monitoramento objetivo *online*, através de sensores fixos na máquina, é realizado monitoramento constante em tempo real.

Segundo Gregório e Silveira (2018), as técnicas objetivas mais comuns são, análise de lubrificante, análise de vibrações, análise de temperatura e análise de defeitos em materiais metálicos. Entretanto, existem uma infinidade de técnicas objetivas.

### 2.4.1 Vibração

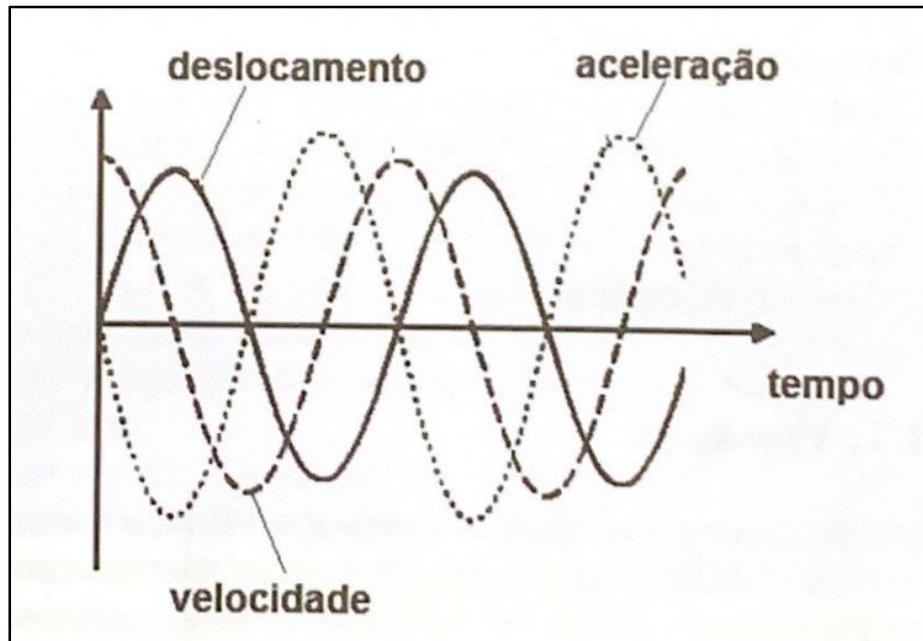
As vibrações mecânicas são um grupo de fenômenos comuns que acontecem no dia a dia. Na indústria, as vibrações estão presentes em turbinas, máquinas rotativas, equipamentos com motores, entre outros. Observando a vibração mecânica, é um fenômeno resultante quando uma partícula executa o movimento em torno de uma posição de equilíbrio (NEPOMUCENO, 1989).

De acordo com Kardec e Nascif (2013), vibração é o movimento que se repete depois de um determinado intervalo de tempo, e a mesma, está presente em qualquer tipo de sistema que responde a uma excitação.

Uma das técnicas mais antigas e de maior utilização na manutenção preditiva, é o monitoramento de vibrações. Em máquinas rotativas, os parâmetros de vibração são expressos

em termos de aceleração, deslocamento e velocidade, todos em relação ao tempo, conforme Figura 5. Estas variáveis representam o quanto o equipamento está vibrando.

Figura 5 - Representação dos parâmetros de vibração mecânica

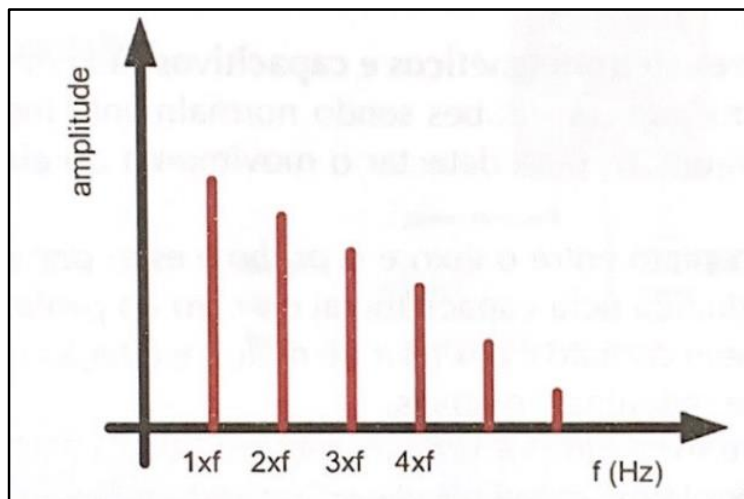


Fonte: Kardec e Nascif (2013).

Outra variável importante para a análise de vibrações, é a frequência, pois ela ajuda a identificar a origem da vibração. A frequência fundamental é a frequência de rotação da máquina. Existem diversos tipos de frequência além da fundamental, portanto, no espectro de vibração, tem-se harmônicos, que são múltiplos da frequência fundamental, como observado na Figura 6. São eles que indicam o tipo de problema na máquina.

Na análise de vibrações, é fundamental compreender dois parâmetros das variáveis de vibração, que é a amplitude e a frequência (Figura 6). A amplitude depende da magnitude da força de excitação, massa, e rigidez do sistema, e é ela que determina a potencialização do sinal de vibração, ou seja, é mudança de posição do componente em relação a posição de equilíbrio. Já a frequência expressa em Hz, que representa ciclos por segundo, é o número de vezes que o evento ocorre em um determinado período. (CAMPOS, 2011).

Figura 6 - Espectro de vibração



Fonte: Kardec e Nascif (2013).

A técnica de análise de vibração é usada para determinar a condição mecânica e operacional de um equipamento, sendo que a principal vantagem é que é possível identificar problemas que estão se desenvolvendo antes que eles causem inatividade de forma não esperada na máquina ou equipamento. Esta técnica permite detectar rolamentos defeituosos, folgas mecânicas, engrenagens danificadas ou até mesmo desalinhamentos que podem comprometer o conjunto mecânico (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

A amplitude de vibração indica quão bom ou ruim está a máquina, geralmente, quanto maior a amplitude da vibração, pior o nível de defeito na máquina. Para determinar a gravidade da vibração, é possível usar como parâmetro o deslocamento, velocidade e aceleração da vibração. Para movimentos na faixa abaixo de 10 Hz, o parâmetro a ser utilizado é o deslocamento. Já em movimentos acima de 1000 Hz, a aceleração é o parâmetro a ser utilizado. Na faixa de 10 a 1000 Hz, onde a maioria das máquinas operam, o parâmetro a ser utilizado é a velocidade (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

O objetivo da técnica preditiva de análise de vibração não é determinar quanta vibração a máquina suporta antes da falha, mas sim obter uma tendência nas características de vibração para identificar problemas que estão se desenvolvendo e ter como alerta para intervir antes que a falha aconteça inesperadamente. É impossível determinar um valor limite de vibração, que após ultrapassá-lo, imediatamente a máquina irá falhar (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

A norma mais utilizada como indicador de monitoramento de vibração, é a norma ISO 2372. Para utilizar esta norma, é necessário definir a classe da máquina, conforme Quadro 3 e utilizar os parâmetros de qualidade conforme Quadro 4 (GIRDHAR; SCHEFFER, 2004).

Quadro 3 - Classes de máquinas

Classe I	Máquinas com acionamento por motor elétrico com potência de até 15 kW
Classe II	Máquinas médias com acionamento por motor elétrico com potência de 15 até 75 kW, máquinas ou motores montados rigidamente até 300 kW em fundações especiais
Classe III	Máquinas grandes, com motor elétrico acima de 75 kW, montadas em fundações rígidas
Classe IV	Máquinas do tipo classe III montadas em fundações relativamente flexíveis

Fonte: Adaptado de Girdhar e Scheffer (2004).

Quadro 4 - Parâmetros de qualidade em função da vibração

Faixas de severidade de vibração	Avaliação da qualidade para as diferentes classes de máquinas				Condição da qualidade
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	
Velocidade mm/s - rms					
0,28					Boas condições
0,45					Aceitável
0,71					Limite tolerável
1,12					Não permissível
1,8					
2,8					
4,5					
7,1					
11,2					
18					
28					
45					
71					

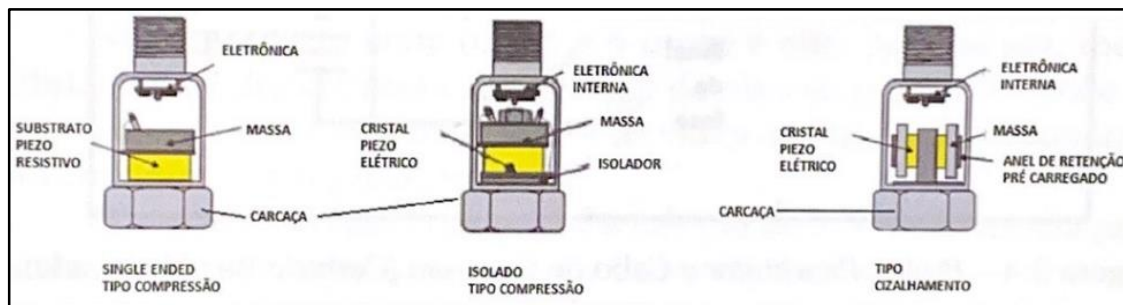
Fonte: Adaptado de Girdhar e Scheffer (2004).

#### 2.4.1.1 Transdutores

Os tipos de transdutores que mais são utilizados para medir vibração, são os sensores do tipo acelerômetros, como mostrado na Figura 7. O piezoelétrico, popularmente utilizado, constitui-se de um ou mais cristais piezoelétricos que são pré-tensionados por uma massa e

montados em uma carcaça. Esta carcaça é devidamente fixada na máquina, de modo que, quando tiver uma vibração, vai exceder uma determinada força na massa montada no cristal, assim gerando uma tensão e conseqüentemente emitir um sinal elétrico.

Figura 7 – Sensores do tipo acelerômetros



Fonte: Kardec e Nascif (2013).

#### 2.4.1.2 Medição da vibração

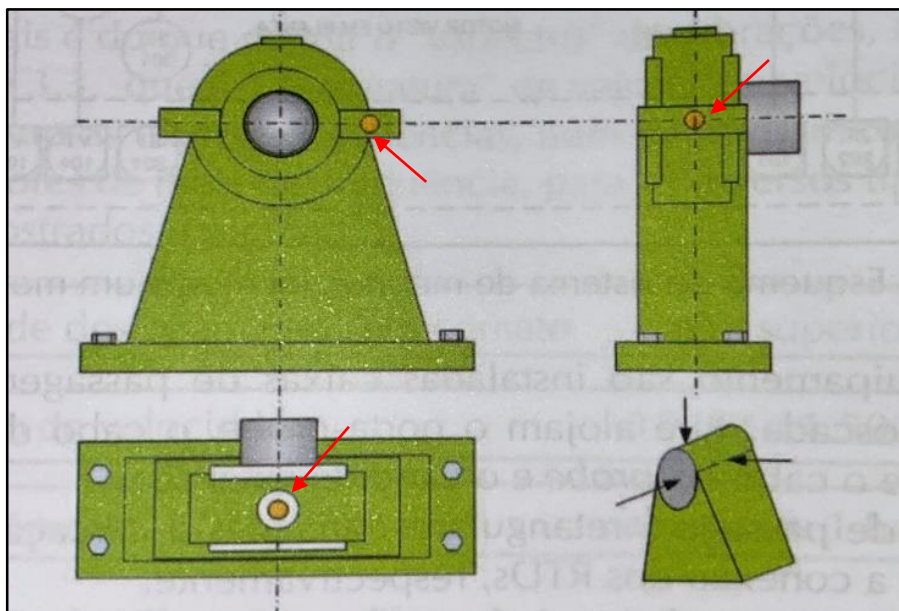
Segundo Kardec e Nascif (2013), para realizar a medição de vibração, é necessário levar em consideração a forma construtiva da máquina ou equipamento, para então definir qual é o método ideal. De maneira geral, em máquinas com conjunto rotativo leve e carcaça robusta e pesada, deve-se fazer a medição diretamente no eixo rotativo, com a utilização de *probes* sem contato. Se for o oposto, com a estrutura leve e o conjunto rotativo pesado, como no caso de ventiladores, por exemplo, o melhor é fazer a medição diretamente na carcaça do equipamento.

O ideal, sempre que possível, deve-se realizar a medição de vibração em três direções, axial, horizontal e vertical. Nesta condição, é possível retirar mais dados, sendo assim, é mais confiável a medição da real condição do equipamento e das suas potenciais causas. (CAMPOS, 2011). Também, há componentes que são mais fáceis de detectar o problema em relação a direção de medição. Rolamentos geram mais vibração no sentido radial, já as correias, geram mais vibração no sentido axial.

A medição de vibração diretamente na carcaça do equipamento é bastante utilizada com o monitoramento *offline*, respeitando o cronograma de manutenção preditiva preestabelecido. Segundo Kardec e Nascif (2013), é de suma importância que as medições sejam sempre realizadas nos mesmos pontos, com o intuito de ter compatibilidade na coleta de dados. Fazer medições com os sensores em outros pontos, pode distorcer os resultados e levar a erros de diagnóstico.

As caixas de mancais ou pontos mais próximos destes, conforme a Figura 8, são os locais mais indicados para realizar a medição de vibração. Estes locais precisam ser rígidos, de modo que não influencie a medição devido a vibração do elemento que o sensor estiver fixado.

Figura 8 - Fixação de sensores na carcaça



Fonte: Kardec e Nascif (2013).

## 2.4.2 Temperatura

Realizar medições de temperatura na indústria, é um procedimento bastante comum, não somente para verificação, mas também para controle de processo. A aferição de temperatura nas máquinas e equipamentos, ao ter um determinado aumento na temperatura, deve-se considerar que possivelmente há anomalia. (NEPOMUCENO, 1989).

Para Kardec e Nascif (2013), um dos parâmetros de maior compreensão é a temperatura, realizando a medição seguindo cronograma preditivo, é possível visualizar as oscilações de temperatura e identificar alterações no funcionamento dos componentes ou do processo. É primordial realizar a medição de temperatura em mancais de máquinas rotativas, temperatura de superfície em equipamentos estacionários, barramentos e equipamentos elétricos.

O Quadro 5 informa os limites de temperatura de rolamentos de acordo com cada tipo de lubrificação.

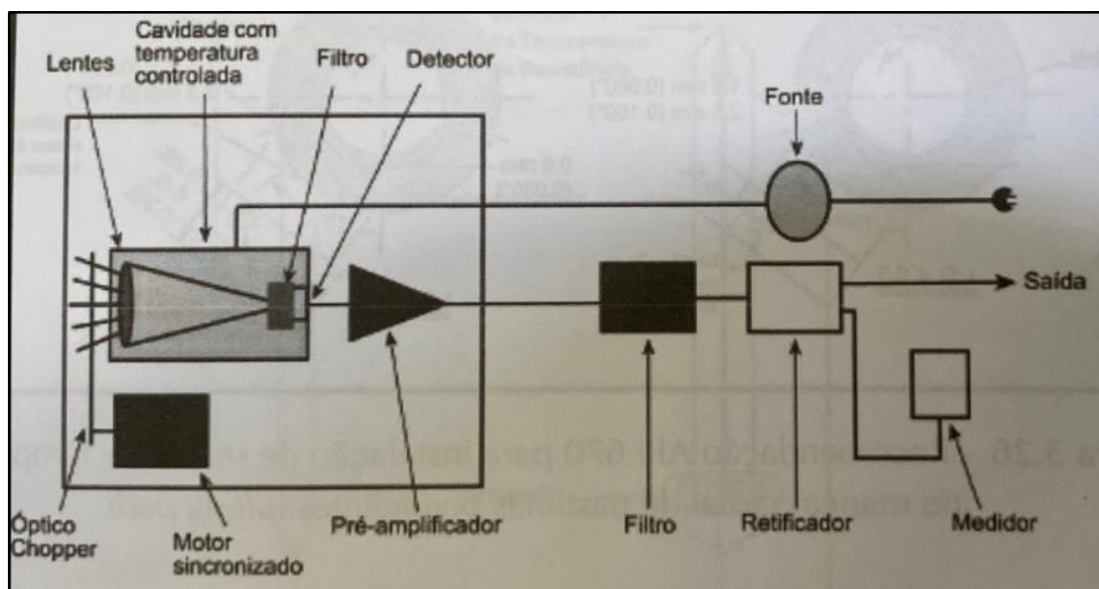
Quadro 5 - Limites de temperatura para rolamentos

Tipo de lubrificação						
Estado	Graxa		Banho de óleo		Circuito de óleo	
	Esferas	Rolos	Esferas	Rolos	Esferas	Rolos
Normal	25 - 70 °C	30 - 75 °C	20 - 65 °C	25 - 70 °C	20 - 60 °C	20 - 65 °C
Ainda tolerável	70 - 95 °C	75 - 100 °C	65 - 90 °C	70 - 95 °C	60 - 75 °C	65 - 85 °C
Não permissível	> 95 °C	> 100 °C	> 90 °C	> 95 °C	> 75 °C	> 85 °C

Fonte: Adaptado de SKF (1996 apud Fabro, 1998).

O tipo de equipamento mais utilizado como técnica preditiva, são os termômetros por radiação ou infravermelhos, pois não é necessário contato físico com a superfície a ser medida. Através de sensores de radiação, a temperatura é captada. A energia radiada pelo corpo, é focada pelo sistema ótico sobre o detector, conforme Figura 9. Este é o tipo mais versátil e primordial para técnicos de manutenção preditiva.

Figura 9 - Funcionamento termômetro por radiação



Fonte: Kardec e Nascif (2013).

Os termovisores ou câmeras termográficas, Figura 10, são da classe dos termômetros por radiação, porém com a adição de uma câmera e uma unidade de vídeo. Estes aparelhos são utilizados para a técnica de termografia, que é a técnica preditiva que permite fazer o acompanhamento das temperaturas dos equipamentos, e gerar imagens térmicas, que também



são conhecidas como termogramas. É possível fazer a interface das câmeras termográficas com computadores, afim de ter registros de dados e imagens, para fazer o acompanhamento.

Figura 10 - Termovisor



Fonte: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/cameras-termicas/tis55plus#>

(acessado em 29/09/2021).

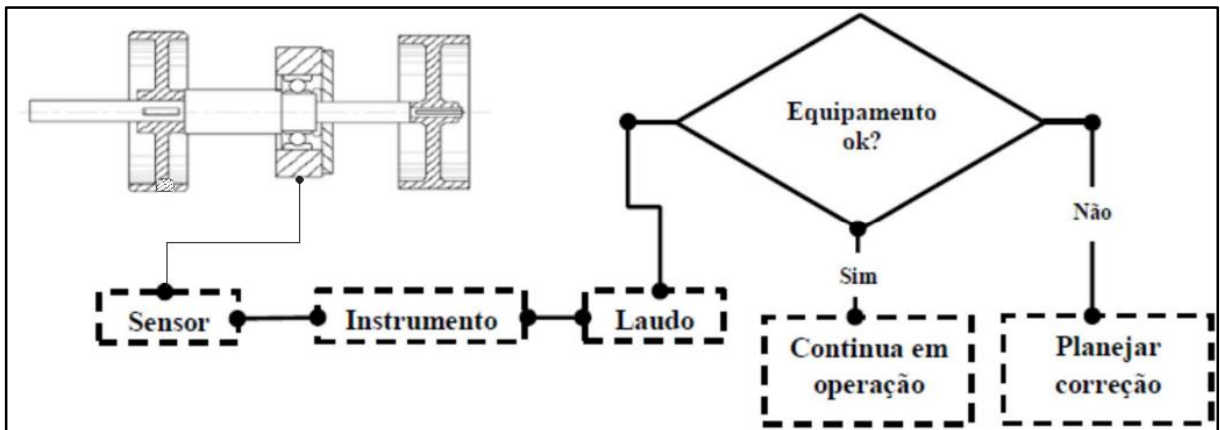
## 2.5 MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

A estratégia da manutenção prescritiva é similar à da preditiva, porém, além de prever o que vai acontecer, fornece alternativas para tomada de decisões. Segundo Khoshafan e Rostetter (2015 apud Ramos, 2017), a prescritiva possibilita que, dentro da organização, sejam previstas potenciais falhas, acionando a manutenção de forma automática, reduzindo a intervenção humana.

Uma das potenciais vantagens desta estratégia e monitoramento do processo, é a rapidez e assertividade na intervenção de manutenção, pois os técnicos antes de parar a máquina ou equipamento, já estão munidos das informações, ferramentas e peças necessárias para executar a manutenção.

Para Barbosa (2020), manutenção prescritiva, é a maneira de determinar, ou seja, uma inteligência artificial informa ou sugere o que deve ser feito com base na condição que a máquina ou equipamento está, conforme Figura 11. Com base nos resultados da previsão, é possível determinar como proceder para corrigir a anomalia.

Figura 11 - Monitoramento prescritivo



Fonte: Adaptado de Barbosa (2020).

Com a implementação da manutenção prescritiva, a empresa terá as seguintes vantagens, segundo Ramos (2017):

- a) possibilidade de analisar dados e históricos em tempo real;
- b) transmissão de dados de operação, performance e condições da máquina;
- c) faz a previsão de falhas e aciona automaticamente a manutenção, reduzindo a intervenção humana;
- d) possibilita conhecer a causa da falha;
- e) fornece todas as informações para que os técnicos interfiram imediatamente.

Este novo conceito de manutenção, traz também desvantagens, que são:

- a) análise e gestão de muitos dados;
- b) necessidade de profissionais especializados;
- c) implementação a longo prazo, pois requer bastante tempo para estar 100% funcionando.

## 2.6 TORNO CNC

O torno CNC, Figura 12, é uma máquina operatriz, que executa seus movimentos de avanço, rotação, troca de ferramentas, entre outros, através de comandos programados pelo técnico. A principal característica deste segmento de máquina, é que a peça rotaciona no eixo motriz e a ferramenta se desloca em direção ao centro deste eixo. Outra característica, é que a sua forma construtiva é composta de no mínimo dois eixos, que normalmente são denominados de eixo X e eixo Y. (FERNANDO, 2018).

Figura 12 - Torno CNC



Fonte: Silva (2015).

Para Silva (2015), pode-se dizer que um torno CNC tem os mesmos dispositivos e princípio de funcionamento de um torno mecânico, porém com recursos tecnológicos que permitem usinagens seriadas e com qualidade indiscutível. Quanto mais recursos o torno oferecer, maior a versatilidade.

As máquinas com comando numérico computadorizado, conhecidas como CNC, possuem um computador que é responsável por efetuar os movimentos nas máquinas através das lógicas de controle. O operador faz os controles na máquina através do painel de controle, chamado de IHM, que significa interface homem máquina. É possível criar programas de usinagem no próprio painel da máquina ou em softwares e fazer a simulação antes de executá-la. (FERNANDO, 2018).

Os tamanhos, capacidade, avanço e rotação, são itens variáveis conforme cada modelo e fabricante de tornos. No caso do torno Romi GL 240M, é equipado com um motor de 20 cv e com velocidade variável de 6 a 6000 RPM, com limitação de furação diâmetro 58 mm do eixo motriz. Já o torno Romi GL 280M, é equipado com um motor de 25 cv e com velocidade de 3 a 3500 RPM, com limitação de furação diâmetro 85 mm do eixo motriz.

Os componentes mecânicos que interferem diretamente na qualidade da usinagem das peças, são os rolamentos e fusos de esferas dos eixos de usinagem. Estes componentes quando chegam ao final da sua vida útil, aumentam a vibração e temperatura, interferindo diretamente na qualidade da usinagem, fazendo com que a peça usinada fique com marcas de trepidação.

Com monitoramento de vibração e temperatura é possível identificar anomalias nestes componentes.

No estudo de alguns trabalhos similares a este, verificou-se a análise preditiva de mancais de sistema de exaustão, onde Baldissarelli e Fabro (2019), concluem, “é notável que a análise de vibração consista numa das principais ferramentas para a análise de condição de um equipamento. A possível antecipação de falhas eleva a manutenção num outro nível, podendo programar intervenções com mais efetividade, diminuindo o tempo de reparo e custo”.

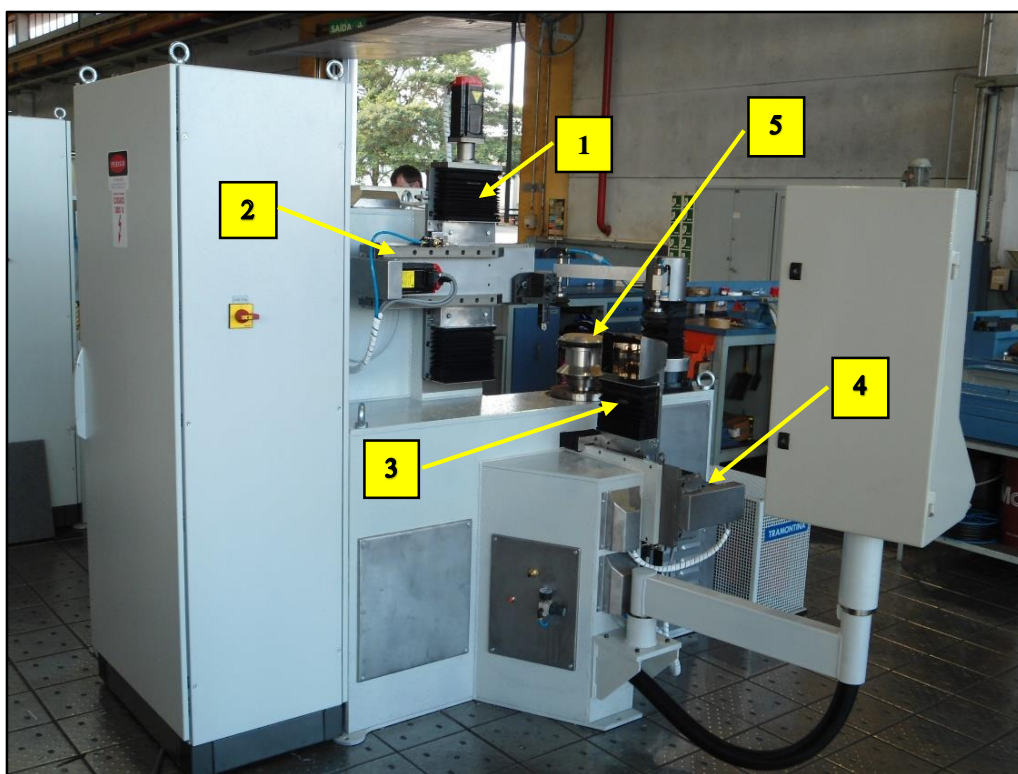
### 3 PROPOSTA DE TRABALHO

O presente trabalho tem como proposta a aplicação de técnicas de manutenção preditiva em um torno de usinagem de painéis. Inicialmente será analisado o sistema eletromecânico da máquina, para após, com base na literatura, aplicar as técnicas de manutenção preditiva e fazer a avaliação dos dados obtidos. Neste capítulo, apresenta-se a proposta de trabalho.

#### 3.1 CENÁRIO ATUAL

Será realizada a implementação da manutenção preditiva no torno três da linha de produção 7A, mostrada na Figura 13, setor de painéis de alumínio pintadas por rolo. Neste setor, operam 42 tornos iguais, que são utilizados para realizar o acabamento usinado na borda e fundo das painéis, operação que exige alta qualidade de acabamento superficial. Para atender os padrões de qualidade estipulados pela empresa, o torno necessita estar em excelentes condições mecânicas, ou seja, livre de folgas que geram vibrações na usinagem.

Figura 13 – Torno três da linha de produção 7A



Fonte: Autor (2021).

A escolha desta máquina foi decisão da empresa, pois os tornos apresentam problemas em rolamentos e fusos de esferas de maneira prematura, geralmente é necessário fazer a substituição destes componentes em média a cada seis meses, de forma corretiva, enquanto outros eixos destas máquinas, tem a vida útil de dois anos em média. Este torno em específico, foi por ser a última máquina desta linha de produção, onde ainda não há demanda e necessidade de trabalhar com 100% da capacidade produtiva.

O torno é composto por cinco eixos, numerados na Figura 13, são eles:

- 1) eixo Y superior, tem a função de avançar e recuar a ferramenta em relação à altura do fundo da panela;
- 2) eixo X superior, tem a função de avançar e recuar a ferramenta em relação ao centro do fundo da panela;
- 3) eixo Y inferior, tem a função de avançar e recuar a ferramenta em relação à altura da borda da panela;
- 4) eixo X inferior, tem a função de avançar e recuar a ferramenta em relação ao centro da panela;
- 5) eixo motriz, tem a função de rotacionar a panela para executar a usinagem.

O eixo X e Y superiores, são montados de tal forma, que configuram um conjunto denominado carro superior, Figura 14, que posteriormente é montado na estrutura da máquina. Nos mesmos moldes, configura-se o carro inferior. A composição de cada carro, além das chapas de aço, é de dois fusos de esferas do tipo laminado com diâmetro de 25 mm, passo 5 mm e com castanha recirculante com vedações para poeira, quatro guias lineares de 25 mm, oito blocos lineares de esferas tamanho 25, quatro rolamentos rígidos de uma carreira de esferas blindados, dois servomotores de 0,75 kW e 3,5 Nm, um acoplamento do tipo Rotex, duas polias sincronizadoras, uma correia sincronizadora e quatro proteções sanfonadas.

O eixo motriz, além da estrutura metálica, é composto por um servomotor de 11 kW e 95,5 Nm, dois rolamentos cônicos, duas polias e uma correia sincronizadora. É neste eixo que a panela é fixada, utilizando-se um molde em Nylon com o mesmo perfil da panela e com vedações em borracha nitrílica. Essa combinação de perfil e vedação, possibilita fazer a fixação com a geração de vácuo, garantindo que a panela permaneça em repouso em relação ao eixo motriz.

Figura 14 - Carro superior



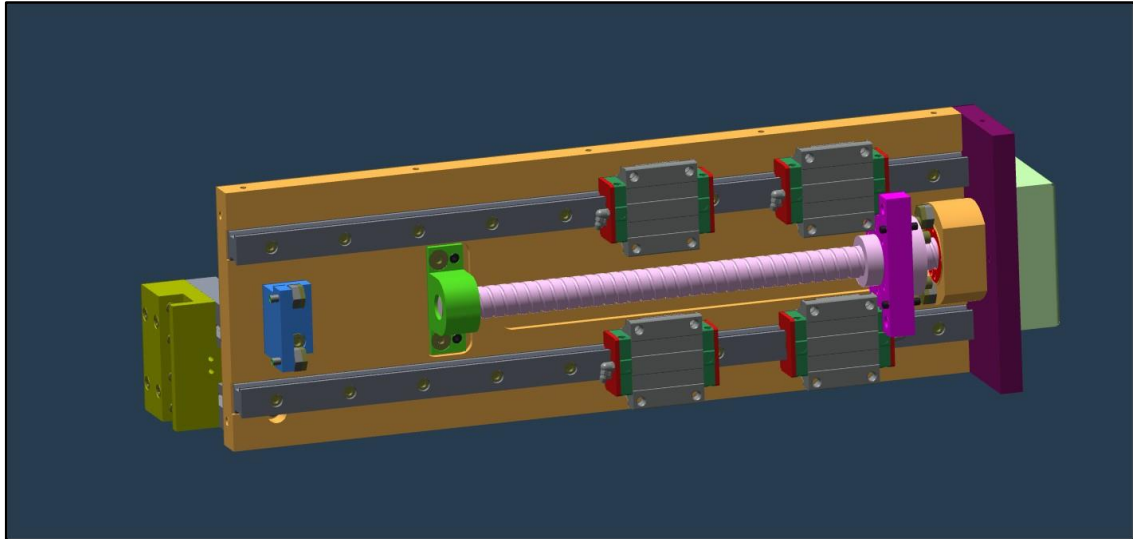
Fonte: Autor (2021).

Este modelo de torno tem rotação máxima de 5800 RPM, porém, no processo de usinagem, os parâmetros são ajustados conforme o modelo de panela a ser usinado, o range que é utilizado fica entre 3000 a 5000 RPM e velocidade de avanço de 0,15 a 0,30 m/s. A profundidade de usinagem do fundo da panela fica entre 0,15 a 0,25 mm.

O problema crítico que estas máquinas apresentam, é principalmente no eixo X do carro superior, Figura 15. No processo de usinagem, é removida da panela, uma pequena camada de tinta e alumínio, de tal forma, parte destas partículas são projetadas e ficam suspensas no ar. Com a rápida movimentação dos eixos, cria-se dentro do carro, uma depressão, possibilitando que as partículas acessem a parte interna do carro, através das pequenas folgas das proteções sanfonadas.

Estas partículas aderem a graxa lubrificante, que está presente nos guias lineares, blocos lineares, rolamentos, fuso de esferas e castanha. Estes componentes móveis, que são responsáveis pela movimentação da ferramenta, ficam diretamente em contato com este contaminante abrasivo, que ciclo a ciclo vão perdendo acabamento superficial e tolerâncias dimensionais, vindo assim, falhar prematuramente.

Figura 15 - Eixo X do carro superior



Fonte: Autor (2021).

Atualmente, não se tem conhecimento de qual é o tempo limite para realizar a manutenção e ter o aproveitamento máximo dos componentes, sem ter perdas produtivas e a produção de refugos. Seguindo o plano de manutenção preventiva, a revisão e troca dos componentes móveis do carro superior, é de seis meses, do carro inferior é de dois anos, porém, tem situações que é necessário intervir antes do tempo previsto.

A manutenção do carro superior, consiste em revisar os eixos X e Y, se o técnico julgar necessário, é realizada a troca de componentes móveis. Usualmente, é realizada a substituição dos componentes móveis do eixo X, pois este eixo, não pode apresentar qualquer tipo de folga. Folgas neste eixo, interferem diretamente no acabamento superficial da usinagem do fundo da panela, deixando o acabamento com marcas de trepidação. O custo da substituição dos componentes do eixo X superior, segue no Quadro 6.

Quadro 6 - Custo dos componentes do eixo X superior

Item	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Fuso de esferas c/ castanha	1	R\$ 2.317,00	R\$ 2.317,00
Guia linear	2	R\$ 504,00	R\$ 1.008,00
Bloco Linear	4	R\$ 511,00	R\$ 2.044,00
Rolamento rígido de esferas	2	R\$ 8,00	R\$ 16,00
Custo total para substituição dos componentes móveis:			R\$ 5.385,00

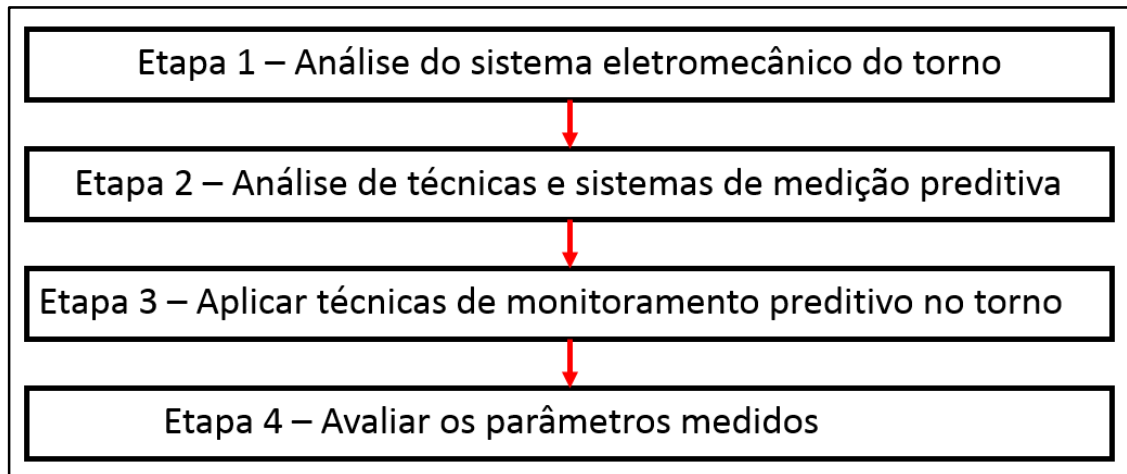
Fonte: Autor (2021).



### 3.2 PLANO DE TRABALHO

Visando o objetivo de implementar a manutenção preditiva em um torno cnc de usinagem de painelas, o plano de trabalho foi dividido em etapas, conforme Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma do plano de trabalho



Fonte: Autor (2021).

#### 3.2.1 Etapa 1 - Análise do sistema eletromecânico do torno

Para realizar a análise do sistema eletromecânico do torno CNC de usinagem de painelas, vai ser necessário utilizar o software *Windchill*, que gerencia o banco de dados dos projetos mecânicos de engenharia da empresa. Nele se encontram as informações complementares, como os dados técnicos, informações de alterações de desenhos, código de compra do item, catálogo da peça, entre outras. Utilizando este recurso, localiza-se a pasta eletrônica do torno com todos os *links* de desenhos desta máquina, selecionado o conjunto geral, que é o desenho da montagem completa.

Utiliza-se o *software Creo View* para visualizar peças avulsas ou até montagens completas, além de ter recursos para obter informações dimensionais através das ferramentas de medição. O ponto de partida da análise é o desenho do conjunto completo, seguindo interpretando a montagem e analisando desenhos individuais com as suas informações complementares.

Para esta análise será criada uma planilha com o desdobramento dos principais conjuntos eletromecânicos da máquina, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Planilha para análise eletromecânica do torno

<b>Análise eletromecânica</b>		
<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Dados técnicos</b>

Fonte: Autor (2021).

### 3.2.2 Etapa 2 - Análise de técnicas e sistema de medição preditiva

Para esta análise, vai ser desenvolvida uma planilha contemplando a relação entre os conjuntos da máquina onde poderão ser aplicadas as técnicas preditivas de acordo com os equipamentos de medição disponíveis na empresa, que são câmera termográfica da marca Fluke, modelo TiS65 e *software* Octavis VES003 da marca IFM Electronic com um transdutor tipo acelerômetro. O Quadro 8 apresenta o modelo de planilha para análise.

Quadro 8 – Planilha para análise de técnicas preditivas

<b>Análise de técnicas preditivas</b>			
<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Dados técnicos</b>	<b>Técnica preditiva</b>

Fonte: Autor (2021).

### 3.2.3 Etapa 3 – Aplicar técnicas de monitoramento no torno cnc

A implementação da manutenção preditiva, vai ser através do monitoramento objetivo *offline*. Neste momento se faz necessário definir os pontos de coleta de dados, sua identificação física na máquina e a frequência de medição. Para isso criou-se um modelo de planilha, conforme Quadro 9. Após, vai ser registrado em planilha, conforme Quadro 10, os dados obtidos em todas as aferições, tornando possível criar um histórico da máquina e caso algum parâmetro altere, é possível identificar um possível problema.

Quadro 9 – Planilha para implementação

<b>Análise eletromecânica</b>				
<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Dados técnicos</b>	<b>Técnica preditiva</b>	<b>Ponto de medição</b>

Fonte: Autor (2021).

Quadro 10 – Planilha para registro de dados das aferições

<b>Registro de dados das aferições</b>				
<b>Data</b>	<b>Ponto 1</b>	<b>Ponto 2</b>	<b>Ponto 3</b>	<b>Ponto...</b>

Fonte: Autor (2021).

### 3.2.4 Etapa 4 - Avaliar os parâmetros medidos

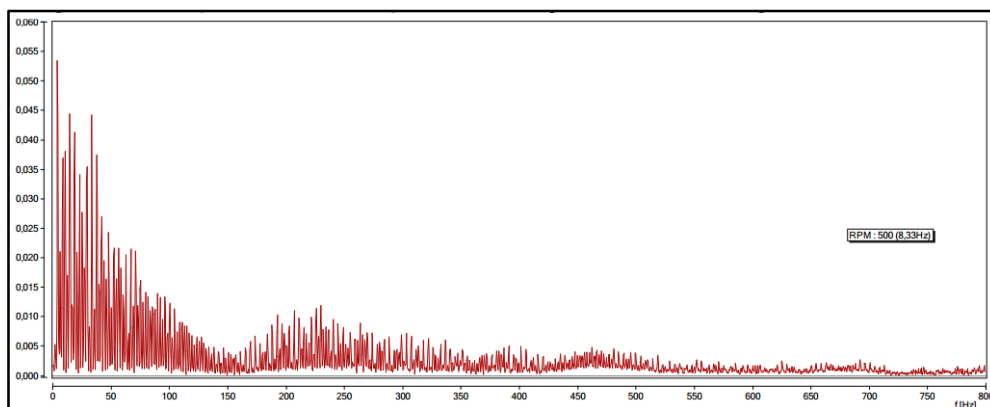
Para avaliar os parâmetros medidos, em específico na análise de vibrações, se observa os dois eixos do gráfico de medição, primeiro a amplitude do parâmetro medido, para identificar a severidade do problema, em segundo, se avalia o eixo do gráfico que identifica a origem do problema. Previamente, porém, deve-se analisar o gráfico de análise global, onde representa o ponto medido no tempo em relação a amplitude do parâmetro medido, este tem a função de indicar se a amplitude está estável, dentro dos parâmetros determinados ou se apresenta alguma evolução ou tendência de elevação, indicando a presença de alguma anomalia.

No caso da análise de vibrações, foi utilizado o parâmetro de velocidade com a unidade de mm/s nas medições. Sendo os alarmes e limites definidos através da norma ISO 2372, em função do porte dos acionamentos.

Nos pontos que apresentaram valores superiores aos limites especificados, deve ser realizada a análise do espectro de vibração. Esta análise consiste em avaliar as frequências que apresentaram picos de velocidade, e com base no conhecimento das frequências naturais dos componentes medidos, ou do tipo de anomalia mecânica presente no equipamento, diagnosticar o defeito. Para avaliação da anomalia mecânica, por exemplo, desbalanceamento, desalinhamento de eixos, dentro outros, se utiliza de literatura existente com comportamentos

de espectro em função da frequência de rotação do eixo, a Figura 17 é um exemplo de espectro de vibração.

Figura 17 - Espectro de vibração



Fonte: Rossdeutscher (2018).

Para a análise termográfica utilizou a unidade de graus Celsius, esta análise consiste na observação do nível de temperatura medido em determinado ponto em relação aos alarmes e limites definidos através de informações do fabricante do componente. Nesta análise, caso se observe a ultrapassagem dos valores limites, deve-se observar a imagem termográfica conforme Figura 18, e com base nela, identificar a região do componente superaquecido. A partir daí deve-se programar o reparo.

Figura 18 - Imagem termográfica



Fonte: Kardec e Nascif (2013).

Com base na norma ISO 2372 para vibrações e na tabela de limites de temperatura do fabricante de rolamentos SKF, devem ser definidos alarmes para sinalizar a presença de defeito. Para definir os alarmes de vibração, é necessário definir qual classe a máquina se enquadra e

qual condição de qualidade vai ser tolerada na mesma. Para temperatura, o alarme vai depender do tipo de rolamento e lubrificante utilizado.

Por exemplo, uma linha limite laranja indicando início da evolução de uma anomalia, neste momento deve-se reduzir o intervalo entre medições e acompanhar a tendência de evolução dos pontos medidos. Se permanecer esta tendência, no caso da análise de vibrações, se avalia o espectro de vibração, procurando identificar qual é a origem do problema, e atingindo o alarme vermelho, se inicia a programação da intervenção na máquina. No caso da termografia, da mesma forma, se reduz o intervalo de medição ao atingir o alarme laranja, e se monitora a tendência de evolução da temperatura. Atingindo o alarme vermelho, a intervenção na máquina é programada.

Através desta metodologia e do estudo aprofundado em vibrações mecânicas, pretende-se obter uma avaliação que possibilite um diagnóstico assertivo, visando programar a intervenção de manutenção de forma a corrigir a anomalia encontrada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresenta-se os resultados dos parâmetros medidos, que foram obtidos através da análise do sistema eletromecânico do torno e de técnicas preditivas, que posteriormente foram aplicadas em pontos específicos desta máquina.

### 4.1 ANÁLISE DO SISTEMA ELETROMECÂNICO DO TORNO

Com a utilização dos softwares de gerenciamento e visualização de desenhos técnicos mecânicos, foi realizada a análise eletromecânica do torno. O maior motor que compõe a máquina, é o motor do eixo árvore que é de 11 kW de potência, enquadrando-a na classe 1, conforme a norma ISO 2372. Já no eixo X do carro superior, o motor tem potência de 0,75 kW. Com a definição da classe da máquina, torna-se possível identificar quais são os parâmetros de qualidade em função da vibração.

Após análise, foi possível entender a composição e construção da máquina, bem como seu funcionamento. Com isso, foi criado o Quadro 11, que são os conjuntos mecânicos de interesse para aplicar as técnicas preditivas.

Quadro 11 - Análise eletromecânica do torno

<b>Análise eletromecânica</b>		
<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Dados técnicos</b>
Eixo X do carro superior	Mancal do fuso	Rolamento 7303 (1 unidade) Rolamento 6003 (1 unidade)
Eixo árvore	Mancal da placa	Rolamento 71915 (4 unidades)

Fonte: Autor (2022).

### 4.2 ANÁLISE DE TÉCNICAS E PONTOS DE MEDIÇÃO PREDITIVA

Diante dos estudos anteriores e equipamentos disponíveis na empresa, foram utilizadas as técnicas preditivas de monitoramento de temperatura e vibração, conforme Quadro 12. Para monitoramento da temperatura, foi utilizada a câmera termográfica, com o intuito de aferir a temperatura nos subconjuntos eletromecânicos da máquina. Já para o monitoramento de vibração, foi utilizado o *software* com o transdutor do tipo acelerômetro, visando realizar a coleta de dados nos sistemas rotativos da máquina.

Quadro 12 - Técnicas preditivas

<b>Análise de técnicas preditivas</b>			
<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Dados técnicos</b>	<b>Técnica preditiva</b>
Eixo X do carro superior	Mancal do fuso	Rolamento 7303	Análise de vibração
Eixo árvore	Mancal da placa	Rolamento 71915	Análise de vibração
Eixo X do carro superior	Mancal do fuso	Rolamento 7303	Análise de temperatura
Eixo árvore	Mancal da placa	Rolamento 71915	Análise de temperatura

Fonte: Autor (2022).

#### 4.3 APLICAR TÉCNICAS DE MONITORAMENTO PREDITIVO NO TORNO

Foram definidos os pontos de medição na máquina conforme Quadro 13. Primeiramente precisou-se avaliar como fixar o sensor, devido aos pontos selecionados não terem furação para fixação do sensor tipo acelerômetro. Foi fabricada então, uma peça com rosca interna, e com a mesma geometria da superfície dos respectivos pontos de medição. Estas peças foram coladas, permitindo a fixação do sensor com a utilização de parafuso rosca M6, conforme Figura 19 e 20.

Quadro 13 - Pontos de medição

<b>Conjunto</b>	<b>Componente</b>	<b>Dados técnicos</b>	<b>Técnica preditiva</b>	<b>Ponto de medição</b>
Eixo X do carro superior	Mancal do fuso	Rolamento 7303	Análise de vibração	1
Eixo árvore	Mancal da placa	Rolamento 71915	Análise de vibração	2
Eixo X do carro superior	Mancal do fuso	Rolamento 7303	Análise de temperatura	3
Eixo árvore	Mancal da placa	Rolamento 71915	Análise de temperatura	4

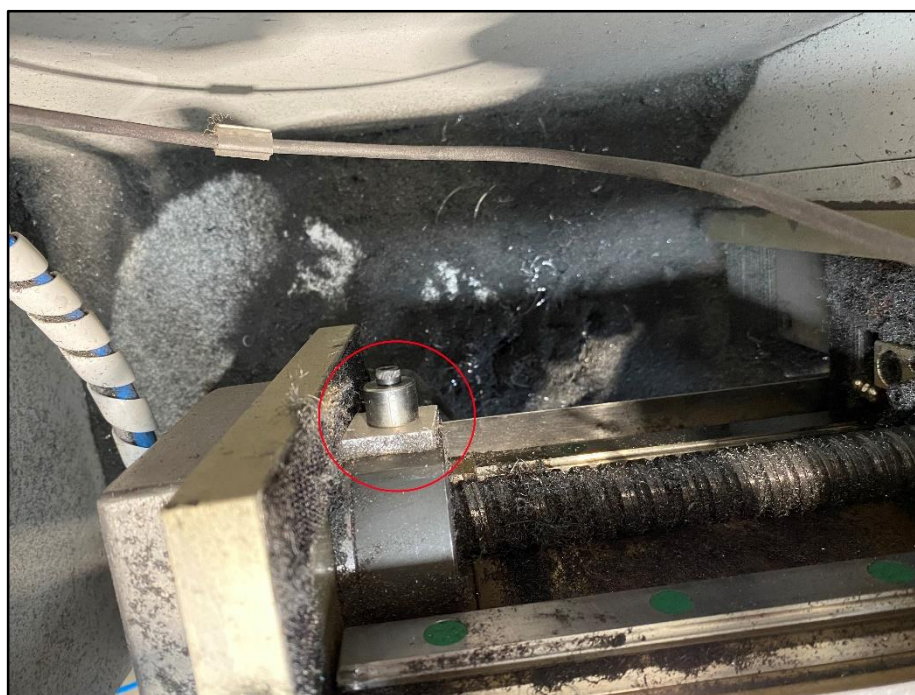
Fonte: Autor (2022).

Figura 19 - Ponto de fixação do sensor no eixo árvore



Fonte: Autor (2022).

Figura 20 - Ponto de fixação do sensor no eixo X do carro superior



Fonte: Autor (2022).



Estes pontos foram selecionados, pois são os principais conjuntos mecânicos que interferem diretamente na qualidade da usinagem do fundo da panela, e pelo fato do eixo X do carro superior apresentar problemas com frequência superior a três vezes em relação aos outros eixos desta mesma máquina.

A definição destes pontos para medição também teve influência de outros fatores, no caso do eixo árvore, em função do projeto e da estrutura da máquina, não permite acesso para medição do mancal inferior. No eixo X do carro superior, não é possível a medição do mancal oposto ao motor devido a sua proximidade a área de usinagem, colocando em risco de segurança o coletor de dados e o técnico.

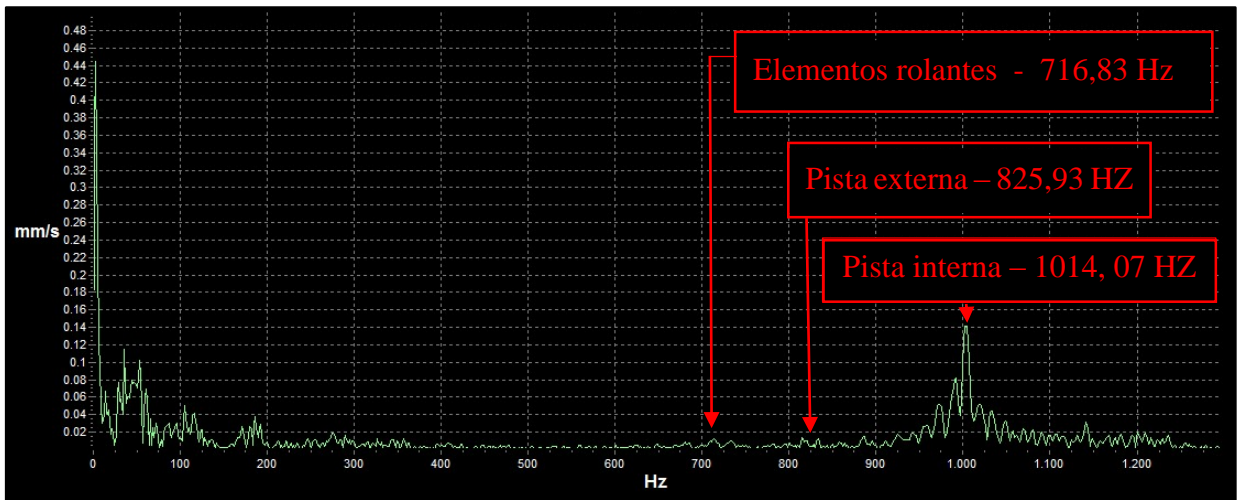
O Quadro 14 informa os valores obtidos através da aplicação das técnicas de monitoramento preditivo no torno, o intervalo de medição foi conforme a disponibilidade da empresa. Para a medição de temperatura, Figura 23, foi utilizada a mesma câmera termográfica em todas as medições e aferido nos mesmos pontos. Para a vibração, também foi utilizado o mesmo coletor e aferido nos mesmos pontos. Para fazer a leitura dos valores de vibração, foi analisada a frequência de cada espectro, Figuras 21 e 22.

Quadro 14 - Medições

<b>Data</b>	<b>Ponto 1 (mm/s)</b>	<b>Ponto 2 (mm/s)</b>	<b>Ponto 3 (°C)</b>	<b>Ponto 4 (°C)</b>
19/04	0,825	0,12	26,1	26,3
21/04	0,825	0,14	27,3	28,3
26/04	0,9	0,14	26,1	27,6
28/04	0,825	0,14	26,2	29,1
03/05	1	0,14	27,6	26,4
09/05	0,875	0,14	30,9	29,2
11/05	1,1	0,14	28,7	28,7
16/05	1,2	0,14	29,3	28,1
26/05	1,25	0,14	29,1	28,0

Fonte: Autor (2022).

Figura 21 - Espectro de vibração eixo árvore



Fonte: Autor (2022).

No espectro de vibração do eixo árvore, Figura 21, foi informado no *software* o modelo do rolamento 71915 e a velocidade de 4600 RPM. Com isso o *software* informou três números multiplicadores que definiram as frequências a serem analisadas:

- a) pista interna do rolamento tem multiplicador de 13,227;
- b) pista externa do rolamento tem multiplicador de 10,773;
- c) elementos rolantes do rolamento tem multiplicador de 9,35.

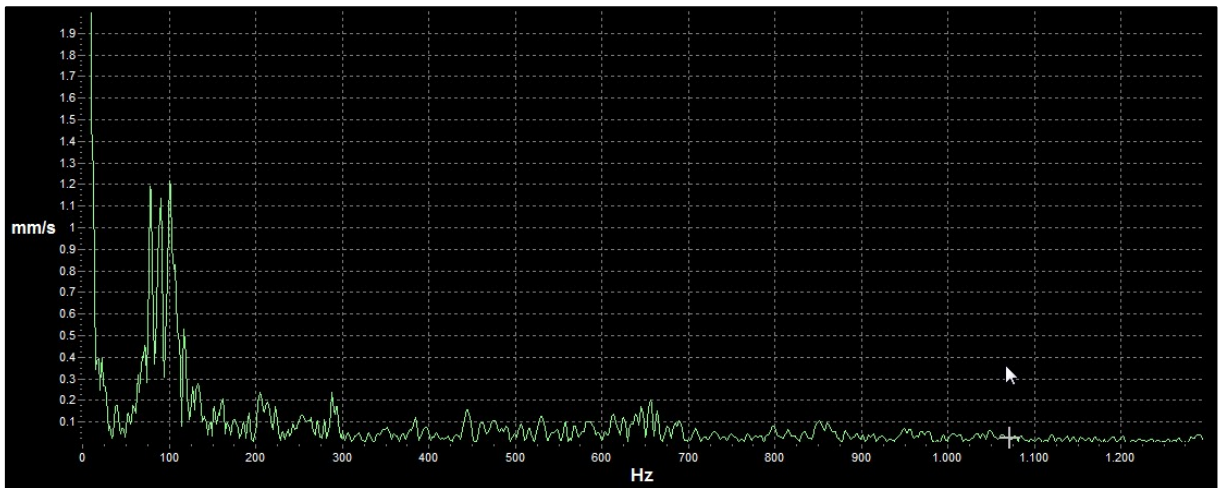
Com esses valores, foi possível calcular as frequências (Hz) de vibração do rolamento, conforme Quadro 15.

Quadro 15 - Frequências a serem analisadas do eixo árvore

Hz = RPM/60 * multiplicador	
Multiplicador	Frequência (Hz)
Pista interna	1014,07
Pista externa	825,93
Elementos rolantes	716,83

Fonte: Autor (2022).

Figura 22 - Espectro de vibração do eixo X do carro superior



Fonte: Autor (2022).

Para o espectro de vibração do eixo X do carro superior, Figura 22, foi informado no *software* os modelos de rolamento, que são 6003 e 7303, e a velocidade para ambos que foi 1800 RPM. Com isso o *software* informou três números multiplicadores que definiram as frequências a serem analisadas:

- a) rolamento 6003, pista interna do rolamento tem multiplicador de 5,92;
- b) rolamento 6003, pista externa do rolamento tem multiplicador de 4,08;
- c) rolamento 6003, elementos rolantes do rolamento tem multiplicador de 5,28;
- d) rolamento 7303, pista interna do rolamento tem multiplicador de 4,91;
- e) rolamento 7303, pista externa do rolamento tem multiplicador de 3,09;
- f) rolamento 7303, elementos rolantes do rolamento tem multiplicador de 3,19.

Com esses valores, foi calculado as frequências (Hz) de vibração deste rolamento, conforme Quadro 16.

Quadro 16 - Frequências a serem analisadas do eixo X do carro superior

Hz = RPM/60 * multiplicador	
Multiplicador	Frequência (Hz)
Rolamento 6003 (pista interna)	177,6
Rolamento 6003 (pista externa)	122,4
Rolamento 6003 (elementos rolantes)	158,4
Rolamento 7303 (pista interna)	147,3
Rolamento 7303 (pista externa)	92,7
Rolamento 7303 (elementos rolantes)	95,7

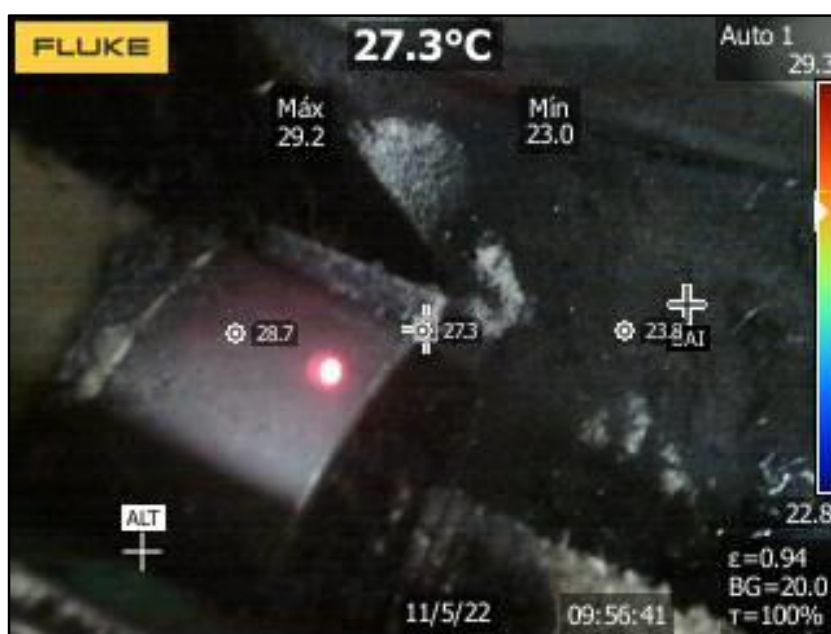
Fonte: Autor (2022).

Figura 23 - Medição de temperatura eixo árvore



Fonte: Autor (2022).

Figura 24 - Medição de temperatura do eixo X do carro superior

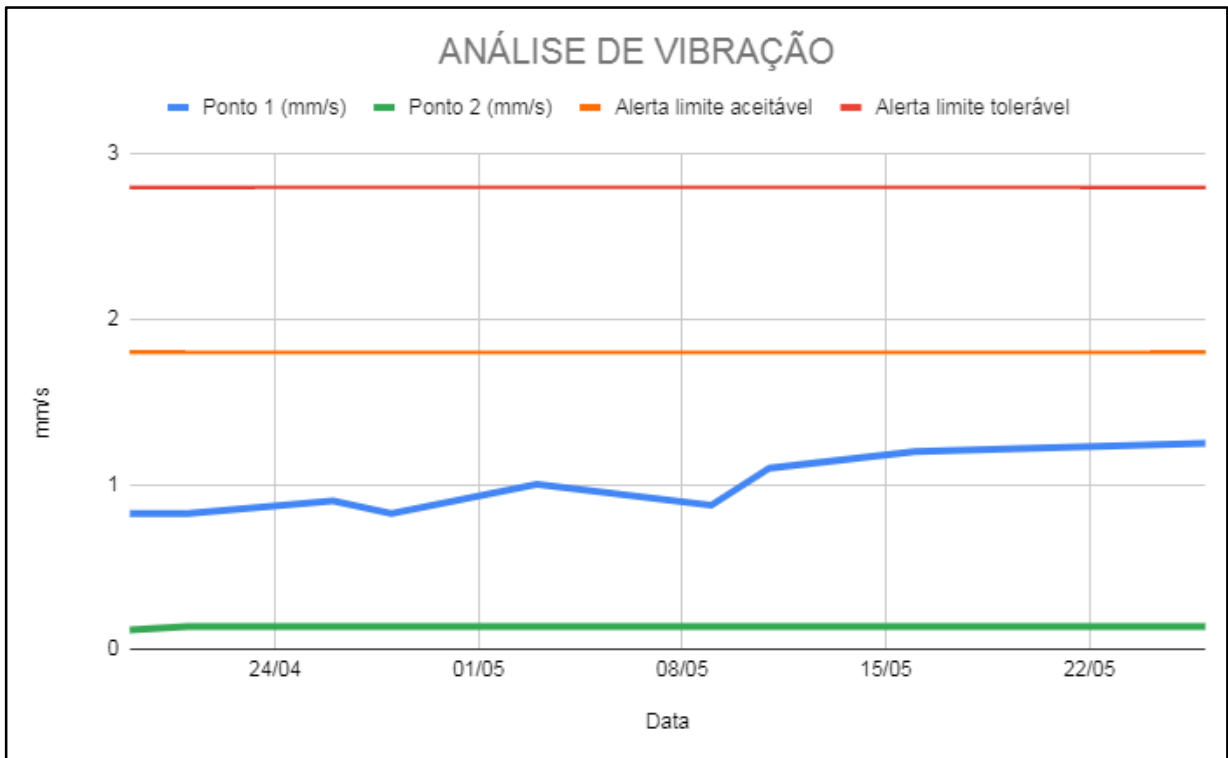


Fonte: Autor (2022).

#### 4.4 AVALIAR OS PARÂMETROS MEDIDOS

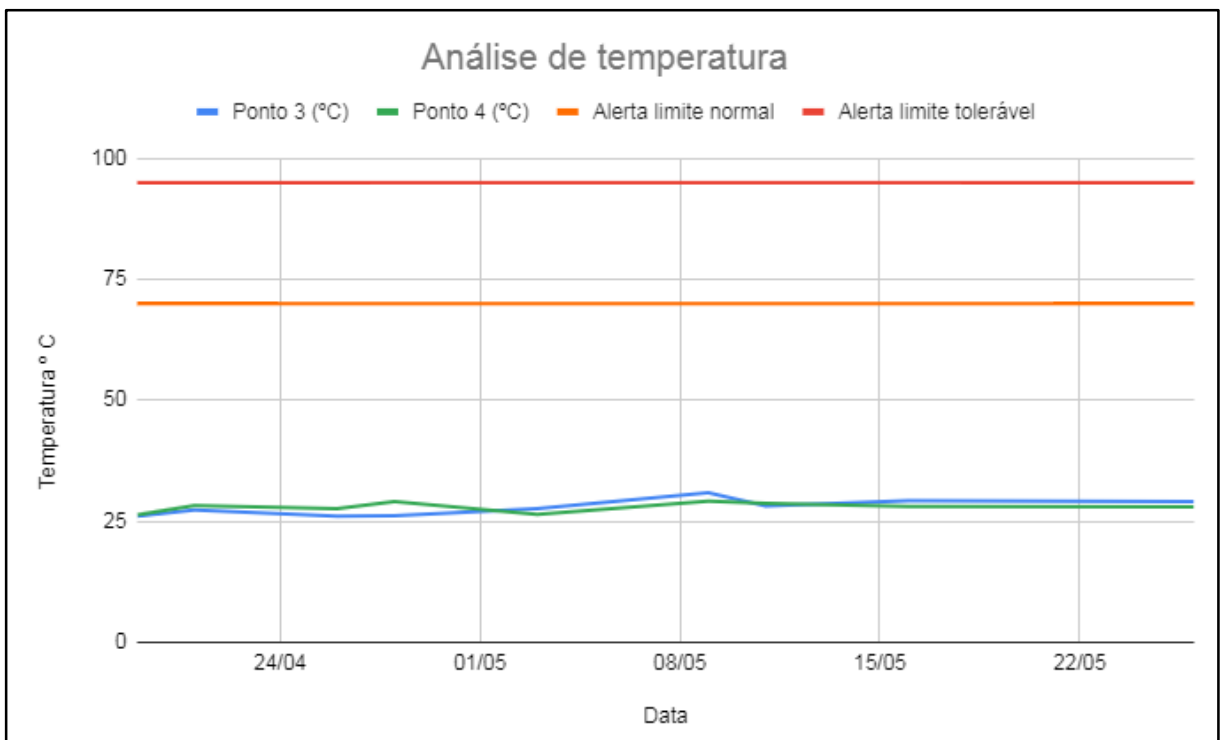
Com a aplicação de técnicas de manutenção preditiva no torno, foi possível gerar os gráficos globais de vibração e temperatura, com os respectivos alarmes definidos de acordo com a norma ISO 2372 para vibração e tabela de temperatura do fabricante de rolamentos SKF, conforme Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 - Gráfico global de análise de vibração



Fonte: Autor (2022).

Figura 26 - Gráfico global de análise de temperatura



Fonte: Autor (2022).

Neste turno, durante o período de aplicação das técnicas preditivas, pode-se concluir que a variação de temperatura não teve oscilações consideráveis. A vibração de eixo árvore manteve-se estável, já no eixo X do carro superior, notou-se uma crescente variação de vibração. Essa variação não atingiu as amplitudes dos alarmes de vibração definidos, ficando dentro da condição aceitável, que é igual ou inferior a velocidade de vibração de 1,8 mm/s para máquinas classe 1 (até 15kW), segundo norma ISO 2372, porém a tendência é que continue aumentando e logo atinja os alarmes definidos.

Nesta máquina, a variação de vibração se demonstrou muito mais sensível quando comparada a temperatura. Pelo fato que, ao longo de dois meses de monitoramento, a temperatura se manteve estável e abaixo dos limites de controle, enquanto que a vibração se apresentou mais instável e com um dos pontos demonstrando uma evolução dos níveis. Salientando que nesta máquina, a vibração é crucial para o processo de usinagem, interferindo diretamente na qualidade do acabamento.

A variação do eixo X do carro superior, permanece em monitoramento, pois historicamente é o eixo e carro que mais gera manutenções corretivas nesta máquina, aproximadamente três vezes mais do que os outros carros. Para o eixo árvore, ficou dentro do esperado, pois historicamente, este eixo é o que menos gera manutenções.

Como complemento e reforço deste estudo, mesmo estando todos os níveis dentro do aceitável, optou-se por apresentar o espectro de vibração do ponto com tendência de evolução, Figura 27, para efeito da prática de análise.

Figura 27 - Análise de espectro de vibração



Fonte: Autor (2022).

Na frequência de 10 Hz encontra-se a vibração ambiental. Esta vibração é gerada por outras máquinas que estão no ambiente próximo a máquina de interesse, propagando-se até o ponto de medição. Indiferente da rotação do eixo, este pico aparece em destaque, mesmo com a máquina desligada.

A frequência de funcionamento do ponto aferido, encontra-se em 30 Hz, sendo resultante da velocidade de trabalho de 1800 RPM, porém encontra-se em amplitude estável. Já a frequência de 95,7 Hz é dos elementos rolantes do rolamento 7303, sendo a frequência de interesse para monitoramento da evolução que indica falha. Na última medição, apresentou o valor de 1,2 mm/s, sendo que o alarme de alerta é de 1,7 mm/s, mesmo não atingindo o alerta, se mantém observando a tendência de evolução. As demais frequências demonstraram-se irrelevantes para análise, pois estão distantes dos alarmes definidos.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o estudo de técnicas de manutenção preditiva e análise do sistema eletromecânico de um torno CNC de usinagem de painelas, com o objetivo de aplicar estas técnicas no mesmo. Com base na literatura, foi direcionado o estudo para as técnicas de monitoramento de temperatura e vibração. Já com a utilização de *softwares* de desenhos e inspeção física na máquina, foi possível conhecer o sistema eletromecânico deste torno.

Após realizada e registrada as medições, foi gerado um gráfico global para análise de temperatura e um gráfico global para análise de vibração, com o intuito de avaliar os parâmetros medidos. Nestes gráficos, com base na norma ISO 2372 e tabela do fabricante de rolamentos SKF, foi definido os alarmes aceitável e tolerável, a fim de identificar se algum parâmetro medido estava evoluindo ou indicando alguma anomalia. Na análise realizada, os parâmetros não atingiram os alarmes definidos, porém, um dos eixos aferidos, a vibração mostrou-se uma tendência de falha, já a temperatura não demonstrou evolução, indicando que a falha por vibração é mais sensível. Neste eixo, foi realizado a análise do espectro de vibração.

Este trabalho foi dividido em etapas, visando atender o objetivo geral de avaliar parâmetros de manutenção preditiva no torno CNC de usinagem de painelas. Entende-se que este objetivo foi atendido, e este estudo servirá como base para ampliação do programa de manutenção preditiva para outras máquinas da empresa.

Estas etapas também visam cumprir a realização dos objetivos específicos inicialmente propostos, onde procurou-se analisar mais detalhadamente o equipamento estudado, conhecendo melhor seus componentes giratórios que sustentam a carga da usinagem, e conseqüentemente transmitem as informações necessárias para a posterior avaliação. Sendo realizado este objetivo, buscou-se então estudar e avaliar as técnicas voltadas a este tipo de equipamento, e a análise de vibrações mecânicas e análise termográfica se encaixaram devido aos tipos de problemas que mais se desenvolvem, como aumento da vibração que afeta a qualidade da usinagem, a quebra inesperada e preventiva precoce dos mancais de rolamentos.

Assim, pode-se aplicar as técnicas estudadas aos pontos da máquina que melhor transmitiriam os sinais, começou-se então a realizar as medições periódicas, para acompanhar os níveis de vibração e temperatura e compará-los as normas de referência. Pode-se desta forma, construir os objetivos específicos, visando atender ao objetivo macro de avaliar os parâmetros medidos.



Sugere-se para trabalhos futuros, dar continuidade neste estudo através da aplicação da manutenção prescritiva, viabilizando o uso de sensoriamento permanente e o monitoramento *on-line* das máquinas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462**. Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2014.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção mecânica industrial: princípios técnicos e operações**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2015.

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. **Manutenção Preditiva na indústria 4.0**. Scientia cun Industria, v.7, N.2, PP. 12 – 22, 2019.

BARBOSA, Frederico Celestino. **Engenharia de produção: produtividade e competitividade**. 2 ed. Piracajuba: Editora Conhecimento Livre, 2020.

FABRO, Elton. **Monitoramento das condições de equipamentos críticos através de técnicas de manutenção preditiva na empresa Fras-le S.A**. Caxias do Sul, RS: UCS, 1998.

CAMPOS, Diogo Carlos Melo de Pinho. **Implementação de técnicas e ferramentas para manutenção preditiva na Colep**. Porto, Portugal: FEUP, 2011.

FERNANDO, Paulo Henrique Lixandrão. **Máquinas operatrizes**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

FLUKE – Fluke Corporation. Disponível em: <https://www.fluke.com/pt-br/produto/cameras-termicas/tis55plus#>. Acesso em: 29 de setembro de 2021.

GIRDHAR, Paresch; SCHEFFER, Cornelius. **Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance**. Pondicherry, Índia: NEWNES, 2004.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Perreira et al. **Engenharia de manutenção**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Perreira; SILVEIRA, Aline Morais da. **Manutenção Industrial**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção Preditiva: Fator de Sucesso na Gestão Empresarial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de manutenção preditiva**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1989.

RAMOS, Bruno Felipe Videira Martins. **Gestão da manutenção de equipamentos indiretos numa empresa de mobiliário**. Porto, Portugal: FEUP, 2017.

ROMI. **Manual do Usuário - ROMI GL 240M / GL 280M v2.0**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/519488323/T48129D>. Acesso em: 4 set. 2021.

ROSSDEUTSCHER, Joe Luiz Junior. **Análise de vibração em rolamentos industriais**. Lajes, SC: UNIFACVEST, 2018.

SILVA, Sidnei Domingues da. **Torno CNC: programação e operação**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2015.