

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

**MAICO CRISTIANO BOFF**

**IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM**  
**EMPRESA FABRICANTE DE FECHADURAS**

**CAXIAS DO SUL**

**2021**

**MAICO CRISTIANO BOFF**

**IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM  
EMPRESA FABRICANTE DE FECHADURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Me. Eng. Elton Fabro

**CAXIAS DO SUL**

**2021**

**MAICO CRISTIANO BOFF**

**IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA EM  
EMPRESA FABRICANTE DE FECHADURAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Aprovado em**

**Banca Examinadora**

---

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

---

Prof. Dr. Eng. Carlos Roberto Altafini  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Dr. Eng. Rodrigo Panosso Zeilmann  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico este trabalho de modo especial aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando, para que este sonho pudesse se tornar realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A meus pais, por terem feito o possível e o impossível para que eu pudesse chegar até aqui, por todo amor, incentivo e dedicação para a minha formação pessoal e profissional. Por celebrarem minhas conquistas e me abraçarem nas adversidades.

Aos meus amigos, pelo apoio e companheirismo, por terem caminhado ao meu lado durante essa jornada, tornando-a mais leve e feliz.

Aos professores, que nos inspiram, que se doam, e compartilham atenciosamente seus conhecimentos: minha eterna admiração.

A Deus, por sempre colocar pessoas especiais e belas oportunidades em meu caminho.

“O fracasso é a oportunidade de começar de novo  
com mais inteligência e redobrada vontade”

**Henry Ford**

## RESUMO

Com a competitividade em alta, as organizações almejam reduzir custos nos processos, elevar a disponibilidade de seus ativos e agregar valor ao seu produto. Objetivos estes que vão ao encontro dos benefícios entregues pela manutenção preditiva. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o conceito de manutenção, ilustrando seus principais tipos, e evidenciando a implementação da manutenção preditiva, suas principais técnicas, para utilização em injetoras de zamac. A implementação das técnicas preditivas, surgiu como consequência das dificuldades apresentadas no setor de manutenção industrial, relacionadas a altas taxas de falha e baixa disponibilidade de equipamentos críticos devido a frequência de intervenções corretivas, que acabam diminuindo a competitividade. Devido a isso, desenvolveu-se uma metodologia que proporcionasse, um planejamento e controle da manutenção que melhor se adequasse a realidade da empresa. Foi descrita a implementação, de cada etapa desenvolvida pela metodologia, assim como os resultados obtidos com sua implementação. Ficou comprovado que a metodologia proposta é eficiente e gera ganhos significativos para a organização.

**Palavras-chave:** Manutenção Preditiva. Principais Técnicas Preditivas. Injetoras de Zamac.

## ABSTRACT

In a highly competitive market, companies aim to reduce the costs of their processes, elevate the availability of their assets and add value to their products. These goals can be reached with the benefits delivered by building maintenance. In this context, the present work shows a bibliographical review about the concept of maintenance, illustrating its main types, and highlighting the implementation of building maintenance, its main techniques, to be used in zamak injectors. The implementation of building maintenance techniques came up as a consequence of the difficulties found at the industrial maintenance department, related to high failure rates and low availability of critical equipments due to the frequent demand of repairs, that end up reducing the competitiveness. As a result, a methodology was developed to provide a maintenance planning and control that better adapted to the company's reality. Each step of the developed methodology was described, as were the results obtained with its implementation. It was confirmed that the proposed methodology is efficient and generates significant gains to the organization.

**Key-words:** Predictive Maintenance. Main Predictive Techniques. Zamak Injectors.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais produtos produzidos pela empresa .....	17
Figura 2 – Esquema de um acelerômetro.....	24
Figura 3 – Espectro eletromagnético.....	28
Figura 4 – Custo de manutenção x equipamento parado (Min).....	34
Figura 5 – Sistema de fechamento e sistema de injeção .....	36
Figura 6 – Sistema de fechamento .....	37
Figura 7 – Sistema de injeção câmara quente .....	38
Figura 8 – Sistema hidráulico .....	39
Figura 9 – Sistema elétrico .....	40
Figura 10 – Motobomba .....	41
Figura 11 – Sequência lógica de monitoramento .....	42
Figura 12 – Componentes hidráulicos .....	44
Figura 13 – Câmera termográfica .....	45
Figura 14 – Custos de manutenção .....	53
Figura 15 – Tempos de parada de equipamento .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução da Manutenção Industrial.....	19
Quadro 2 – Exemplo de algumas técnicas preditivas e suas aplicações.....	22
Quadro 3 – Modo de desgaste em função da morfologia das partículas de óleo .....	26
Quadro 4 – Controle básico em relação ao histórico dos equipamentos.....	31
Quadro 5 – Parâmetros da injetora .....	33
Quadro 6 – Etapas da proposta de trabalho.....	35
Quadro 7 – Classificação conforme equipamentos .....	42
Quadro 8 – Alarme estado do equipamento .....	43
Quadro 9 – Análise preditiva dos componentes .....	46
Quadro 10 – Relatório de controle de análise de vibração .....	48
Quadro 11 – Relatório de controle de análise de óleo .....	49
Quadro 12 – Relatório de análise do lubrificante .....	50
Quadro 13 – Relatório de análise termográfica .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro de ações em função do ( $\Delta T$ ), obtidas através da análise termográfica ...	29
Tabela 2 – Redução do tempo de paradas .....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBM	<i>Condition Based Maintenance</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
IA	Inteligência Artificial
MP	Manutenção Preditiva
ML	<i>Machine Learning</i>
NBR	Norma Brasileira
ppm	Partes por milhão
RMS	<i>Root Medium Square</i>

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	15
1.2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	15
1.3	ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	16
1.4	AMBIENTE DE TRABALHO.....	16
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
2.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	18
2.1.1	<b>Evolução da manutenção</b> .....	18
2.1.2	<b>Tipos de Manutenção</b> .....	20
2.1.2.1	Manutenção Corretiva.....	20
2.1.2.2	Manutenção Preventiva.....	20
2.1.2.3	Manutenção Prescritiva.....	20
2.1.2.4	Manutenção Preditiva.....	21
2.2	TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	21
2.1.3	<b>Análise de Vibrações</b> .....	23
2.1.4	<b>Análise dos Óleos</b> .....	25
2.1.5	<b>Termografia</b> .....	27
2.3	MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE ANÁLISE.....	30
2.4	INJETORAS DE ZAMAC.....	32
3	<b>PROPOSTA DE TRABALHO</b> .....	34
3.1	CENÁRIO ATUAL.....	34
3.2	PROPOSTA DE TRABALHO.....	35
3.2.1	<b>Etapa 1 - Avaliar sistema eletromecânico do equipamento</b> .....	35
3.2.1.1	Sistema de fechamento.....	36
3.2.2.2	Sistema de injeção.....	37
3.2.2.3	Sistema hidráulico.....	38
3.2.2.4	Sistema elétrico.....	39

<b>3.2.2</b>	<b>Etapa 2 - Estabelecer técnicas preditivas aplicáveis ao equipamento</b>	40
3.2.2.1	Análise de vibrações	40
3.2.2.2	Análise de óleo	43
3.2.2.3	Termografia	44
<b>3.2.3</b>	<b>Etapa 3 - Definir pontos, parâmetros e frequências de medição</b>	45
<b>3.2.4</b>	<b>Etapa 4 - Desenvolver relatórios de análise</b>	47
<b>3.2.5</b>	<b>Etapa 5 - Mensurar os ganhos do equipamento</b>	47
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	48
4.1	RESULTADO DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	48
4.2	RESULTADO DA ANÁLISE DE ÓLEO	48
4.3	RESULTADO NA ANÁLISE TERMOGRAFICA	50
4.4	RESULTADOS OBTIDOS	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	56
	<b>REFERÊNCIAS</b>	57
	<b>ANEXO A - PRINCIPAIS PARTES DE UMA INJETORA</b>	61

## 1 INTRODUÇÃO

Em um cenário atual, cada vez mais globalizado e competitivo entre os diferentes ambientes produtivos, a manutenção torna-se extremamente fundamental para as organizações, tendo função estratégica para garantir o funcionamento de máquinas, equipamentos e instalações, buscando maximizar sua disponibilidade e vida útil. Além disso, a manutenção deve prevenir falhas e não apenas envolver correções.

Para a empresa se manter competitiva, têm buscado cada vez mais diminuir seus tempos de inatividade, reduzindo seus custos, seja de mão de obra ou de seus ativos. Diante desta realidade, as organizações têm recorrido a conceitos mais complexos e modernos de manutenção, envolvendo técnicas que utilizam dispositivos de monitoramento e sensoriamento para coleta de dados, permitindo, análises preditivas do equipamento.

Segundo Kardec e Nascif (2009) classifica-se a manutenção preditiva como a primeira grande quebra de paradigma na manutenção, a qual se intensifica à medida que o conhecimento tecnológico está evoluindo, aprovando com isso avaliações confiáveis das instalações e sistemas operacionais em relação ao seu desempenho.

Com o advento da indústria 4.0, trazendo junto um pacote tecnológico para tornar nossas indústrias mais inteligentes e eficientes, o desenvolvimento de metodologias preditivas passa a se tornar uma realidade. A manutenção preditiva é um dos conceitos que tem grande correlação com esta nova onda, reconhecida como quarta revolução industrial.

Em consequência disso, a manutenção preditiva tornou-se de suma importância entre as principais atividades realizadas nas empresas atualmente. Uma vez implementado, este sistema irá possibilitar monitoramento dos ativos, melhorando as programações de manutenção, gerando alarmes ou avisos em tempo real dos riscos operacionais, o que vem ao encontro do que atualmente é exigido pelas organizações.

Pretende-se então, no presente trabalho, apresentar um estudo sobre manutenção preditiva, suas metodologias, conceitos e suas diferentes formas de aplicação.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento deste trabalho vem ao encontro da realidade atual, de demanda por materiais utilizados na construção civil. Neste contexto, a empresa em questão produtora de fechaduras, tem elevado consideravelmente seus volumes de produção.

Esta demanda produtiva tem provocado à formação de alguns gargalos na linha de produção, mais especificamente nas injetoras de zamac, que operam em 2 turnos 5 dias por semana e pelas quais passam, operam em média, 80% de toda produção atual, isso tem afetado as demais áreas internas, como o processo de galvanização e a montagem dos mecanismos e por consequência, comprometendo a entrega dos pedidos ao cliente final.

Entre vários problemas observados, nas injetoras de zamac, decorrentes de falhas ou quebras dos sistemas eletromecânicos tem se tornado visíveis à gestão da empresa, devido as constantes interrupções de todo processo produtivo. Além disso, os equipamentos possuem maior complexidade, por terem sistema de retirada de injeção e desgalhamento de rebarbas e cavacos de maneira automática, através de processo robotizado.

O Zamac pode ser utilizado para vários processos distintos, composto por uma liga de zinco com alumínio, magnésio e cobre. Tem dureza, alta resistência à tração e por isso é uma liga metálica bastante utilizada na produção de peças para indústrias dos mais variados segmentos.

Ainda, uma empresa de médio para grande porte, estar entre as principais fabricantes no ramo da construção civil, no Brasil, as exigências por alta eficiência produtiva e atingimento dos resultados são constantes e proporcionais ao tamanho da companhia. Tornando assim, um desafio constante buscar métodos e ferramentas que contribuam para a evolução e crescimento.

Com base nesses fatos, acredita-se que é possível melhorar os resultados de disponibilidade das injetoras de zamac, utilizando-se metodologias atualizadas como a manutenção preditiva, para o monitoramento das condições dos seus sistemas eletromecânicos.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho dividem-se em geral e específicos, apresentados a seguir.

### 1.2.1 Objetivo geral

Implementar técnicas de manutenção preditiva em injetoras de zamac.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Do objetivo geral derivam-se os específicos como sendo:

- a) avaliar o sistema eletromecânico do equipamento;

- b) estabelecer técnicas preditivas aplicáveis ao equipamento;
- c) definir pontos, parâmetros e frequências de medição;
- d) implementar relatório de análise;
- e) mensurar os ganhos no equipamento.

### 1.3 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho utilizará uma abordagem de pesquisa aplicada, para a realidade atual da empresa, Vergara (2005, p. 45) explica:

A pesquisa tem caráter qualitativo, utilizando o cenário atual na empresa, assim como referências bibliográficas, incluindo, documentos e relatórios de campo, que serão elaborados para equipamentos onde ocorrem os problemas, incluindo análises e aplicações.

Inserido na forma qualitativa, o método de pesquisa, foi o procedimento técnico que se utilizou para avaliar. O autor intervém no desenvolvimento de forma ativa para determinar as situações, tendo objetivo de aperfeiçoar seus conhecimentos e adotar estes na prática (MELLO, 2012).

Este trabalho é focado na análise de disponibilidade de equipamentos do setor de injeção, onde foram observadas várias opções de melhorias para aumento da eficiência e produtividade, através de métodos de controle e monitoramento, para diminuir o número de manutenções daqueles ativos.

### 1.4 AMBIENTE DE TRABALHO

A Empresa Soprano, comercializa uma ampla linha de produtos, por meio de cinco unidades de negócio: Fechaduras e Ferragens, Materiais Elétricos, Utilidades Térmicas, Componentes para Móveis e uma unidade comercial no México, com mais de 57 mil metros quadrados de área construída e três unidades localizadas em Farroupilha – RS, uma em Caxias do Sul – RS e uma em campo Grande – MS.

São milhares de itens produzidos, atendendo aos mercados de construção civil, materiais elétricos, moveleiro e de utilidades domésticas.

Uma Empresa sólida com aproximadamente 1.000 funcionários e um portfólio de 5 mil itens produzidos para o mercado brasileiro e países da América Latina.

O trabalho foi realizado na empresa Soprano Fechaduras e Ferragens Eireli, unidade localizada na cidade de Farroupilha, durante 2021, atuando no segmento da construção civil, utiliza a injeção de zamac, para produção de fechaduras.

A unidade é uma das maiores fabricantes de componentes e acessórios para o ramo da construção civil no cenário nacional, e possui um portfólio diversificado, de produtos. Entre eles, os principais produtos são as maçanetas sagaz e pali, (ilustração na figura 1), junto com seus mecanismos, que representam aproximadamente 80% da produção atual. Atualmente também conta com fechaduras digitais, proporcionando maior confiança e praticidade para as pessoas.

A Figura 1 apresenta, os principais produtos produzidos pela empresa.

Figura 1 – Principais produtos produzidos pela empresa



Fonte: Soprano (2021)

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo são abordados os principais conceitos, técnicas e métodos de manutenção, referentes ao tema do trabalho.

### 2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Monchy (1987), a manutenção dos equipamentos de produção é fator essencial para a produtividade e qualidade dos produtos nas empresas. É um desafio industrial que implica em discutir as estruturas inertes e promover métodos adaptados à nova natureza dos materiais.

#### 2.1.1 Evolução da manutenção

Segundo Tavares (1998), a manutenção sempre acompanhou o desenvolvimento técnico industrial da humanidade. A partir do século XIX, viu-se a necessidade dos primeiros reparos nas indústrias, até então sua importância era secundária. Com a primeira guerra mundial e a produção em série, sentiu-se necessidade de criar equipes de manutenção para conserto dos equipamentos no menor tempo possível. Esta situação se manteve, devido a segunda guerra mundial, onde nesse período notou-se a necessidade de desenvolver o processo de prevenção das máquinas juntamente com a correção, para assim formar uma estrutura tão importante quanto à operação.

Por volta de 1950 as indústrias começaram a selecionar especialistas para compor um órgão chamado de Engenharia de Manutenção, com o intuito de planejar, controlar e analisar causas e efeitos das avarias.

Nas décadas de 1960 a 1980 com a criação de computadores e instrumentos de medição e proteção a Engenharia de Manutenção passou a criar métodos de previsão de falhas, visando a otimização dos equipamentos e a melhoria de trabalho para suas equipes. A partir destas melhorias criou-se as manutenções preditiva e preventiva, juntando-se as já existentes.

Kardec e Nascif (2009), afirmam que nos últimos 30 anos, a manutenção passou por grandes mudanças, fatores como aumento da diversidade de itens, projetos com cada vez mais complexidade, novas técnicas de manutenção, foco na organização e suas responsabilidades, manutenção como função estratégica melhorando os resultados e por sua vez aumentando sua competitividade.

O Quadro 1 resume a evolução da manutenção durante as quatro gerações:

Quadro 1 – Evolução da Manutenção Industrial

	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
	1940 1950	1960 1970	1980 1990	2000 2010
<b>Aumento das expectativas em relação a manutenção</b>	- Conserto após falha	- Disponibilidade crescente - Maior vida útil do equipamento	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Melhor relação custo-benefício - Preservação do meio ambiente	- Maior confiabilidade - Maior disponibilidade - Preservação do meio ambiente - Segurança - Influir nos resultados dos negócios - Gerenciar os ativos
<b>Visão quanto a falha do equipamento</b>	- Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	- Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	- Existência de 6 padrões de falhas	- Reduzir drasticamente falhas prematuras
<b>Mudança nas técnicas de manutenção</b>	- Habilidades voltadas para o reparo	- Planejamento manual da manutenção - Computadores grandes e lentos - Manutenção Preventiva	- Monitoramento da condição - Manutenção Preditiva - Análise de risco - Computadores pequenos e rápidos - Softwares potentes - Grupos de trabalho multidisciplinares - Projetos voltados para confiabilidade	- Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da condição - Minimização nas manutenções Preventiva e Corretiva não planejada - Análise de Falhas - Técnicas de confiabilidade - Manutenibilidade - Engenharia da Manutenção - Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

## 2.1.2 Tipos de Manutenção

Os tipos de manutenção são caracterizados de acordo com a metodologia adotada para realizar os consertos necessários. A seguir são abordados os principais tipos de manutenção existentes.

### 2.1.2.1 Manutenção Corretiva

Segundo ABNT (1992, p.7), “Manutenção corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

Xavier (2005), porém, considera que a manutenção corretiva é a atuação para correção de falha ou do desempenho menor que o esperado.

### 2.1.2.2 Manutenção Preventiva

A Manutenção preventiva é um conjunto de medidas aplicadas obedecendo um planejamento baseado em períodos estabelecidos de tempo, para evitar custos com compra de novos equipamentos e manutenções corretivas nos equipamentos de um parque industrial ou linha de produção, XAVIER (2005).

Segundo ABNT (1992, p.7), “Manutenção preventiva é a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.”

### 2.1.2.3 Manutenção Prescritiva

Na área da Manutenção Industrial, conforme Venturelli (2019), a digitalização proporciona gerenciamento de ativos na rede, com a criação de métodos de predição, entre outras maneiras. Um aspecto da Indústria 4.0 é a criação de modelos virtuais para monitoramento dos equipamentos e dos sistemas produtivos, e isso vem ao encontro de um dos temas da atualidade: Manutenção Prescritiva. Segundo Nascif e Kardec (2019), a capacidade de análise instalada nos equipamentos e sistemas permite prever quais os sintomas que a máquina pode apresentar o que está para ocorrer, e oferecer alternativas para planejar o melhor momento para intervenção.

#### 2.1.2.4 Manutenção Preditiva

A utilização da manutenção preditiva (MP) é a grande quebra de paradigma entre os tipos de manutenção. Mirshawka (1991) aponta como seus maiores benefícios: a previsão de falhas de maneira antecipada, para que as máquinas possam ser desativadas com segurança, reduzir riscos de acidentes e paradas no sistema de produção; diminuição dos prazos e custos de manutenção por antecipação do conhecimento das falhas que precisam ser reparadas; melhor condição de operação das máquinas obtendo menor desgaste, maior rendimento e produtividade.

Segundo Nepomuceno (1989), a manutenção preditiva oferece muitas possibilidades ao parque fabril, proporcionando vantagens econômicas, com a diminuição dos custos de manutenção, e de falhas e paradas inesperadas. A manutenção preditiva indica o estado em que o equipamento se encontra e quando poderá apresentar falha, com margem de certeza adequada.

Manutenção preditiva consiste no acompanhamento das variáveis e parâmetros do desempenho das máquinas, definindo a melhor maneira de intervir, com o maior aproveitamento do ativo, COSTA (2013a).

Os métodos de manutenção corretiva e preditiva são utilizados de maneira conjunta, para proporcionar que os equipamentos possam trabalhar por mais tempo, e as intervenções sejam baseadas em dados e não apenas em suposições (LIMA; LIMA; SALLES, 2008).

Segundo Mirshawka (1991, p. 108), manutenção preditiva:

É uma expressão norte americana definindo um tipo de manutenção condicional que permita reajustar as previsões das operações de manutenção a efetuar, estimando-se a tendência evolutiva do funcionamento não adequado detectado no equipamento ou máquina e o tempo durante o qual é possível continuar a utilizá-lo antes da avaria.

Escolher a execução da MP segundo Mirshawka (1991), significa que se deve intervir em uma máquina unicamente se os parâmetros do equipamento demonstrarem evolução concreta para uma falha. A MP possui as 3 fases abaixo:

- a) a detecção do defeito que se desenvolve.
- b) estabelecimento de um diagnóstico.
- c) análise da tendência.

A detecção e acompanhamento de algum defeito deve ser realizada, com aparelhos que permitam registrar a variação das vibrações, pressões, temperaturas e acelerações e posteriormente compará-los.

A partir do momento em que o problema é detectado, o responsável tem que estabelecer um diagnóstico da origem do problema e a gravidade constatada do defeito apresentado, antecipando-se ao reparo.

Estabelecer o diagnóstico da análise de tendência, faz com que o engenheiro consiga prever o tempo necessário antes da falha permitindo que o equipamento, funcione sob monitoramento para programar o conserto.

Várias técnicas preditivas podem ser utilizadas para monitorar as condições de operação e eficiência de equipamentos e sistemas, na maioria dos casos recorre-se a mais de uma técnica para se ter um resultado mais completo dos aspectos críticos e maximizar sua utilização, (SMITH; MOBLEY, 2007).

O Quadro 2 apresenta algumas das técnicas mais utilizadas e as suas aplicações:

Quadro 2 - Exemplo de algumas técnicas preditivas e suas aplicações

<b>Técnicas\Aplicações</b>	<b>Bombas</b>	<b>Motores Elétricos</b>	<b>Geradores diesel</b>	<b>Disjuntores</b>	<b>Permutadores de calor</b>	<b>Sistemas elétricos</b>
Análise de vibrações	*	*	*			
Análise de partículas/lubrificação	*	*	*			
Monitorização do desempenho	*	*	*		*	
Análise por ultrasons	*	*	*		*	*
Termografia infravermelha	*	*	*	*	*	*
Inspeção visual	*	*	*	*	*	*

Fonte: NASA (2008)

Entre as técnicas apresentadas no quadro 2 as mais comuns são, estudo de vibrações, análise de óleos e termografia, conforme Mirshawka (1991), que são detalhadas a seguir.

### 2.1.3 Análise de Vibrações

Trata-se da técnica mais antiga da manutenção preditiva. Sua ideia inicial baseia-se nas estruturas dos equipamentos, que sofrem alterações, por ação de forças, emitindo sinais vibratórios. Estes sinais por sua vez devem apresentar frequências idênticas às daquelas dos esforços que provocam estas vibrações, chamados de agentes excitadores (WANG; WILLIANG, 1995).

A análise de vibração não conserta o equipamento, ou repara uma possível falha, apenas indica a provável origem da causa da vibração e quais as suas consequências, ficando sob a responsabilidade dos responsáveis executar ou não os reparos devidos, COSTA (2013b). A partir da análise de vibração, pode-se tomar decisões para se verificar um equipamento ou não, para que este fique disponível o tempo máximo possível, ou seja, reduzindo custo de manutenção, tempos de parada do equipamento e por consequência melhorando seu desempenho (KARDEC; NASCIF, 2009).

A medida de vibrações, conforme Nepomuceno (1989), basicamente é a transformação de um sinal mecânico originado pela vibração do equipamento em um sinal mensurável por métodos já conhecidos, como ópticos, analógicos ou digitais.

Segundo Mirshawka (1991, p. 114), “Pode-se, pois, graças a captadores colocados em pontos particulares, registrar as vibrações transmitidas pela estrutura à máquina, e graças, ainda, à sua análise, identificar a origem dos esforços aos quais ela está submetida”.

A natureza das vibrações mecânicas conforme Mirshawka (1991), são movimentos que oscilam em torno de uma posição média, e que podem ser vibrações periódicas e vibrações aperiódicas. Ou seja,

Vibração periódica: quando corresponde a um movimento senoidal, podendo ser decomposto basicamente em uma soma de movimentos senoidais elementares, podendo ser de fácil análise.

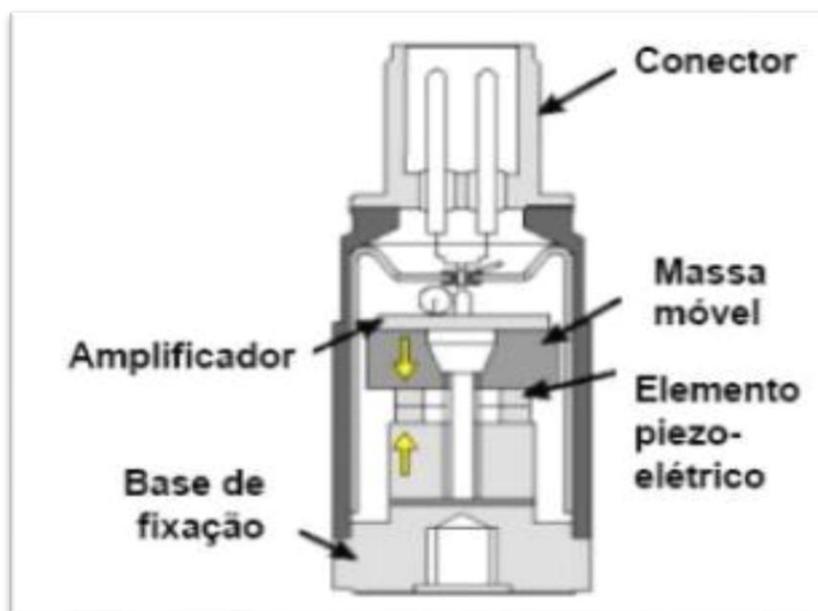
Vibração aperiódica transitória: gerado através de uma força não linear, podendo mostrar ou não aspecto de oscilação, conforme o amortecimento.

Vibração aperiódica aleatória: gerada a partir de um processo de cavitação sobre uma bomba, não produzindo movimento oscilatório a si mesmo, constituída por uma infinidade de funções senoidais, com frequência variando de maneira contínua.

Para se poder captar as vibrações de um equipamento, são utilizados sensores, também chamados de transdutores de vibração mecânica. O acelerômetro conforme (Rao, 2008), Figura

2, é muito utilizado, por ser um equipamento com enorme versatilidade, ao contrário de outros que são utilizados apenas para aplicações específicas.

Figura 2 – Esquema de um acelerômetro



Fonte: MGS (2013)

Segundo Arato (2004), o acelerômetro tem seu princípio de funcionamento baseando-se em cristais piezoelétricos, após sua compressão gera uma tensão elétrica proporcional a um sinal elétrico conforme a aceleração, este em funcionamento acompanha as vibrações emitidas pelo equipamento. Desta maneira são capturados os dados de vibração do equipamento, e pode-se realizar técnicas de processamento destes sinais vibratórios, como: a análise por nível global das vibrações, análise média temporal síncrona, análise através de espectro de vibração e com utilização de diagramas de órbita (ARATO, 2004).

Através destas técnicas pode se detectar os mais diversos tipos de problemas em máquinas elétricas, como: cavitação, defeitos em rolamentos, desalinhamento entre eixos, desgaste em mancais, desbalanceamento e até mesmo a má fixação (WANG; WILLIANG, 1995).

Atualmente são utilizados *softwares* que transcrevem, dados coletados para o coletor de vibração, modificando-os em dados legíveis para o analisador que deve reconhecer os elementos que devem compor a vibração das máquinas, (NASCIMENTO, 2016).

#### 2.1.4 Análise dos Óleos

Segundo Nepomuceno (1989), a análise de óleos lubrificantes tornou-se cada vez mais essencial entre os principais programas de manutenção. Adotou-se esta técnica principalmente em equipamentos e veículos. Devido à altos custos em componentes e da mão-de-obra, somando-se a prejuízos causados pelas paradas dos equipamentos, verificou-se a importância, para implementação de análises de óleo, contribuindo de maneira significativa aos programas de manutenção.

De acordo ainda com Nepomuceno (1989), embora sempre tenha sido recomendado pelos fabricantes, os equipamentos começaram a passar por análises de óleos lubrificantes nas últimas décadas. O que anteriormente, apenas algumas empresas de grande porte realizavam este tipo de análise.

A análise do óleo lubrificante e dos fluidos hidráulicos devem proceder a partir de técnicas simples e subjetivas, até técnicas mais complexas. As técnicas com maior complexidade são utilizadas quando se necessita de informações adicionais, a criticidade e custo do equipamento deverá justificar a utilização desta técnica (NASA, 2008).

Existem duas maneiras, conforme Baroni (2002), de se avaliar os resultados de uma análise de óleo:

- condição do lubrificante, que determina as propriedades físico-químicas dos lubrificantes, para que haja boa lubrificação;
- condições do equipamento, que analisa as substâncias encontradas no lubrificante, como partículas suspensas e gases.

De acordo com Nepomuceno (1989, p. 350), “para que os resultados das análises sejam válidos e tenham utilidade, as amostras devem ser colhidas com o óleo fluindo no sistema, na temperatura operacional, e depositadas em recipientes limpos”.

Através da análise físico-química conforme Mirshawka (1991), pode-se detectar alterações no lubrificante, controlando alguns parâmetros como:

- a) viscosidade;
- b) teor de água;
- c) coloração;
- d) índice de acidez ou alcalinidade;
- e) oxidação;
- f) etc

Nepomuceno (1989, p. 356), explica:

A viscosidade é a mais importante característica física de um óleo lubrificante. É uma medida de resistência ao escoamento e resulta do atrito interno das moléculas movendo-se entre si, sob tensão. É a única propriedade do lubrificante que influencia a espessura da película de óleo entre as partes móveis, que por sua vez influi no desgaste. Um óleo de viscosidade inadequada não formará películas suficientemente espessas, capazes de evitar ou minimizar o desgaste. Por outro lado, óleos com viscosidade excessiva geram demasiado calor e desperdício de energia. A viscosidade também é uma característica essencial ao adequado funcionamento de sistemas hidráulicos, transmissões automáticas, amortecedores, etc

Segundo Mirshawka (1991, p. 142), “O lubrificante é o vetor das partículas de desgaste geradas por uma máquina, visto que está necessariamente presente nas zonas de atrito”.

É importante ainda saber o ponto de origem que ocasiona o desgaste, muitas vezes causado pela contaminação do lubrificante. Para isso verifica-se a análise das partículas, identificando diferentes tipos de desgastes, obtidos através de estudo da dimensão das partículas sólidas e de sua morfologia, quanto maior for o desgaste maiores são as partículas encontradas.

O Quadro 3 mostra a definição do modo de desgaste em função da morfologia das partículas no óleo.

Quadro 3 – Modo de desgaste em função da morfologia das partículas de óleo.

<b>Forma das partículas</b>	<b>Tipo de desgaste</b>	<b>Importância do desgaste</b>
Pequenas plaquetas ( de 0,3 a 5 um)	Desgaste de adesão	Desgaste normal
Grandes plaquetas (5 a 150 um)	Atrito	Desgaste perigoso
Escamas (10 um a 1mm)	Escamação	Desgaste perigoso
Lascas enroladas ou encurvadas	Abrasão	Grave, sobretudo se as lascas forem numerosas
Esféras plásticas	Depósito de aditivos	
Esféras metálicas		
Pequenas ( 1 a 5 um)	Fadiga dos rolamentos	Ocorrência grave
Grandes (> 10 um)	Cavitação - erosão	Ocorrência grave
Magmas, aglomerados (2 a 150 um)	Corrosão - oxidação	Ocorrência grave

Fonte: Mirshawka (1991)

Existem equipamentos modernos que, proporcionam executar análises assertivas em um curto prazo de tempo, para que as informações sejam úteis à função manutenção (MIRSHAWKA, 1991).

Um dos equipamentos que realizam análises de óleo é o espectrômetro utilizado para espectrometria de emissão, que determina de forma rápida, comparando os padrões de referência, com as concentrações expressas em partes por milhão (ppm) na massa de elementos diferentes (metais) presentes no fluido.

### **2.1.5 Termografia**

A palavra termografia se origina do grego *therme*, e significa “calor”, e grafia, “escrita”. É uma ferramenta utilizada para as manutenções preditivas, através de suas imagens, pode-se visualizar, áreas com diferentes temperaturas (DIEGOLI; GAVLAKI, 2018).

A temperatura pode ser considerada uma das maneiras mais fáceis de interpretar os dados de um equipamento.

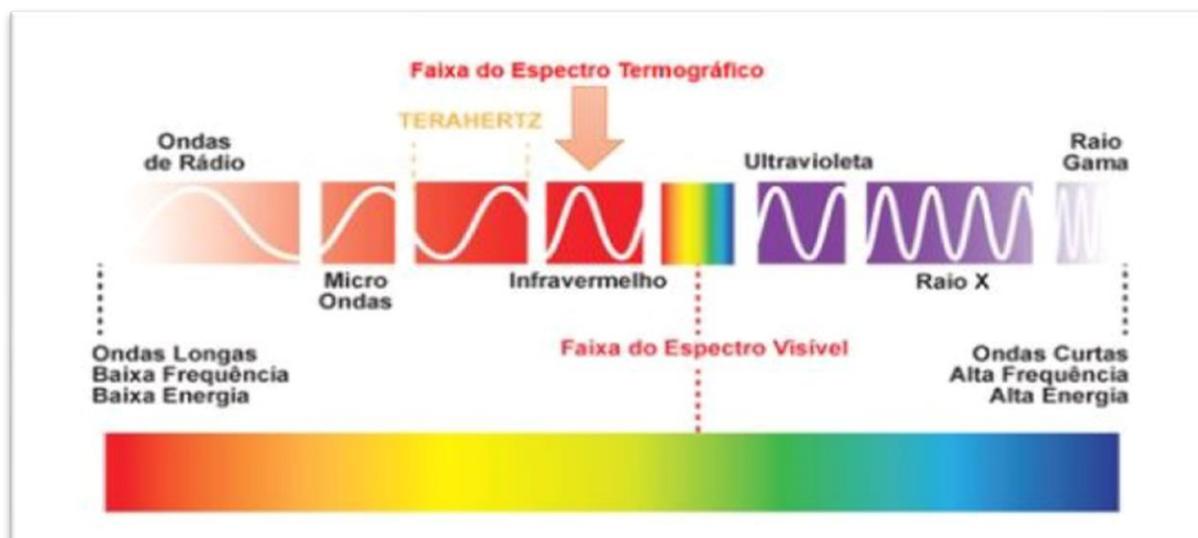
Nas últimas décadas a análise termográfica vem sendo cada vez mais utilizada na indústria, pela redução do custo para adquirir um equipamento termográfico. Este equipamento tornou-se cada vez mais acessível, com os avanços tecnológicos dos detectores infravermelhos e da eletrônica, (KARDEC; NASCIF, 2009).

A energia infravermelha foi descoberta por William Herschel, conforme Kaplan (2007). Aproximadamente no ano de 1800, Herschel testou a capacidade da luz, através de um prisma, para verificar seu aquecimento nas superfícies, constatando que os aquecimentos maiores ocorrem além da luz vermelha.

Quanto maior for a temperatura de um componente, maior será a radiação infravermelha emitida. A radiação tem por sua vez, comprimentos de onda impossíveis de serem vistos através do olho humano, mas pode-se sentir pelo calor emitido, (DIEGOLI; GAVLAKI, 2018).

Na Figura 3 são mostradas as faixas de frequência de um espectro eletromagnético.

Figura 3 – Espectro eletromagnético



Fonte: Diegoli e Gavlaki (2018)

Segundo Mirshawka (1991), a termografia é utilizada para medições de temperatura, através da emissão de radiação natural, nos componentes, onde a abrangência do campo infravermelho, possibilitando medições de temperatura a distância, e determinando imagens térmicas emitida pela radiação infravermelha.

A termografia baseia-se na medida da radiação eletromagnética emitida por corpos com temperaturas maiores que o zero absoluto. O calor tem por objetivo, informar as condições operacionais, seja de um equipamento, componente ou processo, (KARDEC; NASCIF, 2013).

Para realizar análises termográficas, precisa-se seguir algumas regras, melhorando assim os resultados. O *Infraspection Institute* explica alguns procedimentos que deve-se seguir:

- a) os equipamentos a serem feitas as análises termográficas, devem ter carga compatível, com a carga de funcionamento;
- b) o equipamento a ser analisado não poderá ser retirado e também, quaisquer tipos de isolamentos ou proteções, que possam variar alguma medida durante a análise;
- c) painéis de comando, após serem verificados, devem sempre estar acessíveis fornecendo boa visão dos componentes elétricos contidos nele;
- d) sempre deve-se comparar, as medidas com componentes similares e com carga semelhantes;
- e) pode-se utilizar vários critérios para definir as prioridades a serem tomadas, ações, em relação aos componentes analisados, (INFRACTION, 2008).

De acordo com Abreu, Soares e Souza (2012), pode-se configurar a termografia em dois métodos: método qualitativo e método quantitativo. O método qualitativo foca as análises

nas interpretações seja, visual ou comparativa entre equipamentos semelhantes, com característica de se obter laudos instantâneos. Enquanto no método quantitativo, os valores de temperatura são apresentados em cada ponto do equipamento, para poder definir a gravidade de uma anomalia.

A partir da monitorização dos equipamentos a partir de termografia, define-se um critério de avaliação das análises termográficas executadas. Um critério de avaliação é analisar a diferença de temperaturas ( $\Delta T$ ), que define a velocidade da intervenção a efetuar a partir do valor obtido, subtraindo o maior valor de temperatura em relação a temperatura de referência, utilizando a temperatura do ar ambiente, (HITCHCOCK, 2003).

Além destes métodos geralmente é utilizado o histórico do equipamento, para identificar variações, que possam ter ocorrido na temperatura medida ao longo do tempo.

Na Tabela 1 são apresentados valores do ( $\Delta T$ ), para avaliar o estado de um equipamento.

Tabela 1 - Ações em função do ( $\Delta T$ ) obtidas através da análise termográfica

<b>Prioridade</b>	<b><math>\Delta T</math> entre componentes similares sob a mesma carga (°C)</b>	<b><math>\Delta T</math> sobre a temperatura do ar ambiente (°C)</b>	<b>Ação recomendada</b>
1	1 a 3	1 a 10	Possível deficiência, garantir investigação
2	4 a 15	11 a 20	Indica provável deficiência, reparar quando tempo permitir
3	–	21 a 40	Monitorar até medidas corretivas serem aplicadas
4	> 15	> 40°	Maior discrepância, reparar imediatamente

Fonte: Neta (1999)

Segundo Mirshawka (1991, p.213), “A medição é realizada com instrumento denominado termovisor e são comparados os resultados entre as radiações emitidas pelo objeto observado e a radiação de uma temperatura de referência que, normalmente, é a do meio ambiente”.

## 2.2 MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE ANÁLISE

Segundo Mirshawka (1991), para implementarmos a MP precisa-se levar em conta algumas bases:

- a) os preceitos da MP teriam que ser retraídos às máquinas e componentes, para que o benefício do método seja maximizado, ou ainda, que possam reduzir os custos de manutenção presentes;
- b) nunca a instrumentação, por mais volumosa que seja, nos permite solucionar os problemas. Os problemas são solucionados pelo ser humano. A tecnologia por mais avançada que possa ser, nunca irá suprir o ser humano, quando o trabalho necessitará de lógica, experiência e de intuição.

De acordo com Mirshawka (1991, p.169):

O sucesso do método não está necessariamente ligado a um investimento importante em um equipamento complexo. Os programas bem sucedidos da M.P. começam com pequenos instrumentos indicadores e analisadores do que está acontecendo, sobre um grupo de máquinas representativo.

As informações obtidas nos equipamentos, são estudadas, possibilitando armazená-las e analisá-las. A periodicidade é determinada em relação:

- a) número de máquinas controladas;
- b) duração do uso da instalação;
- c) do caráter estratégico da máquina;
- d) dos materiais colocados para executar o trabalho.

A partir do momento em que a organização já tem os equipamentos a serem medidos, e a frequência de medição, deve-se assegurar da pessoa que irá analisar essas medições.

Segundo Azure (2020), o histórico de manutenção de um equipamento, deve compreender sobre atividades de conserto executados. Essas ocorrências registram modelos de degradação, ou seja, fornecem informações importantes para determinar um modelo preditivo de maneira correta. A não existência destes históricos, estimula a resultados errados do modelo.

O Quadro 4 conforme Mirshawka (1991), mostra um controle básico em relação ao histórico dos equipamentos.

Quadro 4 – Controle básico em relação ao histórico dos equipamentos

Métodos utilizados	Equipamentos vigiados	Equipamentos necessários	Periodicidade verificação
Medida de vibração	Todas as máquinas giratórias de potência média ou máxima e equipamentos críticos: motores, redutores, compressores, bombas, ventiladores	Medidor de Vibração Analisador Sistema de vigilância permanente	3.000 a 1.500 horas
Medição das falhas de rolamentos	Todos os rolamentos	Medidor especial ou analisador	500 horas
Análise estroboscópica	Todos os lugares onde se quiser estudar um movimento, controlar a velocidade ou medir os planos.	Estroboscópico do analisador de vibrações	Segundo a necessidade
Detecção de ultrassons	Localização de fugas	Detector ultrassônico	Segundo a necessidade
Análise dos óleos	Redutores e circuitos hidráulicos; Motores	Feita pelo fabricante	6 meses
Termografia	Equipamentos alta tensão; distribuição baixa tensão; eletrônico; equipamentos que tem refratários	Sub-contratação	12 meses
Exame endoscópico	cilindros de compressores; aletas; engrenagens danificadas	Endoscopia + fotos	Todos os meses

Fonte: Mirshawka (1991)

Atualmente há várias opções de *software* ou metodologias, para analisar dados, a inteligência artificial (IA), traz um procedimento totalmente novo para a incessante necessidade de as empresas aumentarem a eficiência, segurança e qualidade dos negócios, (RICHTER, 2018).

Um método muito utilizado atualmente é *Machine Learning* (ML), que significa Aprendizagem de Máquinas, preceito de autoconhecimento computadorizado, que se encontra no centro da maior parte dos aplicativos de IA. Os modelos de ML estabelecem inteligências avançadas do padrão de aprendizado, com a habilidade de se adaptar conforme a precaução que as mudanças podem ocorrer na entrada de dados (EZRA, 2018).

Segundo Gonfalonieri (2019), as ferramentas de manutenção preditiva empregam algoritmos de ML que alcançam objetivos de análise a um grande acervo de dados em tempo

real. A partir destes, pode-se testar relações a procura de padrões, detectar anomalias e distinguir o grau de danificação do ativo. Para poder-se identificar, são concretizadas duas abordagens do ML: aprendizado supervisionado e não supervisionado. Ou seja,

- a) aprendizado supervisionado, que tem por objetivo utilizar variantes de entrada para anunciar variáveis de saída, por um processo um tanto didático. Os principais métodos supervisionados utilizados são a classificação e a regressão (RAMOS, 2019);
- b) aprendizado não supervisionado, a qual tem por objetivo permitir abordar problemas com pequenas ideias do que as soluções devem apresentar. Deriva-se a partir de uma estrutura de dados, não sabendo o efeito das variantes, não havendo necessidade de condicionar o algoritmo com a saída esperada. Isso, pois o algoritmo deve descobrir a estrutura do conjunto de dados, modelando-os e entregando de maneira automática as informações necessárias sobre os padrões e relações adquiridas. A separação em grupos e associação são os principais métodos de aprendizado não supervisionado (RAMOS, 2019).

Na manutenção preditiva, as divisões de dados recebidos dos ativos obtêm grande volumetria. A partir destas características alguns algoritmos de aprendizado profundo adequam-se para prover a falta de análises preditivas (BUHL; HJERTÉN, 2018).

Finalizando os blocos estruturais de Manutenção Preditiva 4.0, conforme Seebo (2018), tem-se o processo de enxergar os resultados. Nesta etapa os resultados são demonstrados através de uma interface de usuário da solução, gráfica e intuitiva, o que se chama de painel de controle, onde os usuários podem enxergar e monitorar os equipamentos, através de indicadores e predições de falhas que podem ocorrer.

Um sistema de Manutenção Preditiva 4.0, funcionando, faz com que a manutenção seja chamada apenas quando necessário, ou seja, pouco antes da falha. Isso faz com que a Manutenção Preditiva tenha a capacidade de modificar, não apenas a equipe, como também as organizações de modo geral. Esta implementação faz com que, os ativos aperfeiçoem os resultados, igualando as prioridades, de maneira que aumente a confiabilidade e lucratividade (DILMEGANI, 2018).

### 2.3 INJETORAS DE ZAMAC

Segundo a NR12 (Anexo IX, item 1), entende-se que uma injetora é utilizada para fabricação descontínua de produtos moldados, através do processo de injeção de material no

molde. Este processo pode abranger uma ou mais cavidades, compreendendo basicamente da unidade de fechamento – área do molde e sistema de fechamento, unidade de injeção.

O trabalho aqui apresentado foi voltado para aplicação de alguns métodos das manutenções preditivas em injetoras hidráulicas, nas quais, seus acionamentos são exercidos por circuitos hidráulicos, composto por motores elétricos, bomba hidráulica e cilindros hidráulicos (NR 12 – ANEXO IX).

As injetoras LK280, possuem parâmetros estabelecidos pelo manual do fabricante, para fins de controle de aplicação durante trabalho no equipamento, conforme descrito no Quadro 5.

Quadro 5– Parâmetros da injetora LK280

Item	Capacidade	Unidade de Medição
Força de travamento	2800	kN
Força de extração	155	kN
Força de injeção	155	kN
Pressão de linha	140	kg/cm <sup>2</sup>
Potência do motor	25	HP
Reservatório de óleo	500	L
Peso da máquina	10.26	TON

Fonte: Autor (2021)

O fabricante também salienta que ao longo do tempo, a contaminação do óleo, os desgastes mecânicos, o conjunto do fechamento fora de paralelo, o desnivelamento da máquina, o desgaste do conjunto cilindro e rosca, assim como problemas de ordem eletrônica, costumam ser os principais vilões para o mal desempenho das máquinas injetoras, ocasionando a queda da produtividade da indústria.

A injetora executa todas as etapas de maneira automática, havendo o início de um novo ciclo sem a necessidade de comando do operador. O equipamento só paralisa a operação se houver uma intervenção ou condição de alarme no processo.

As principais partes de uma injetora estão sendo demonstradas no Anexo A.

### 3 PROPOSTA DE TRABALHO

Nesta etapa do trabalho abordou-se sobre as condições do processo atual, descrevendo o contexto da empresa em que foi aplicado, através de uma descrição breve sobre sua história, mercado e ramo de atuação. Aborda-se também sobre as etapas realizadas para atingir os objetivos propostos.

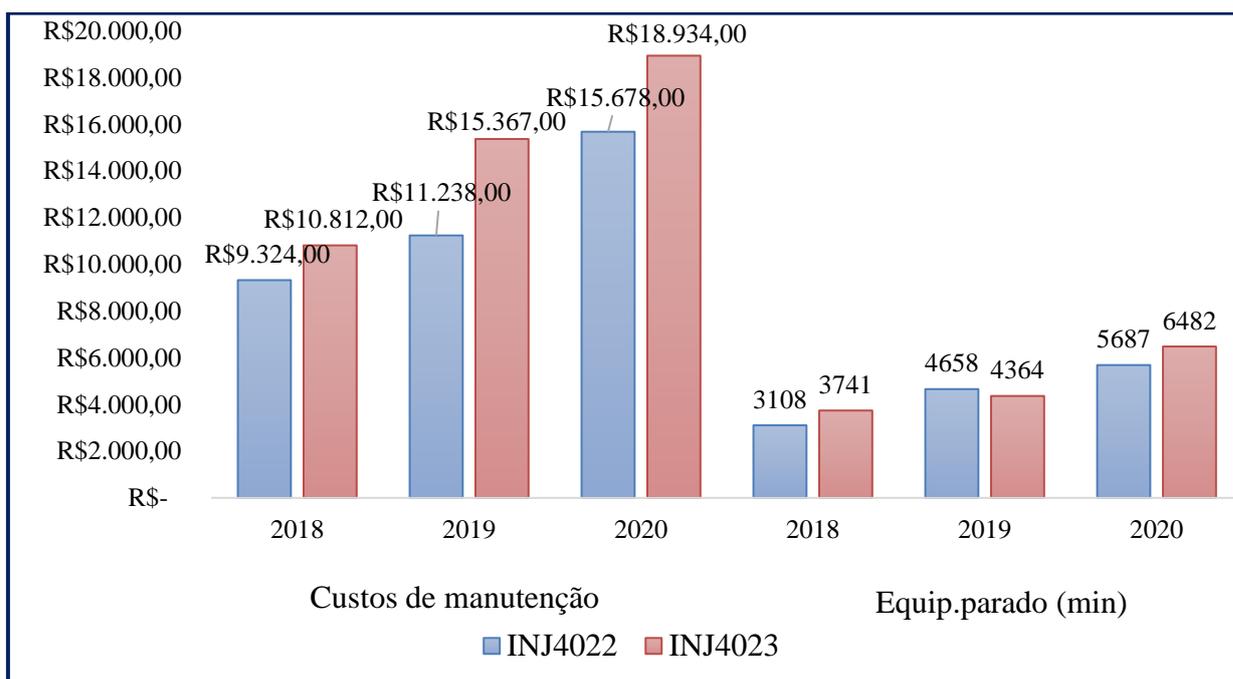
#### 3.1 CENÁRIO ATUAL

Este trabalho foi realizado na área de injeção da empresa, e refere-se à implementação do sistema de manutenção preditiva em duas injetoras de zamac. Atualmente estes equipamentos possuem alta demanda de produção e são responsáveis pela fabricação dos tipos de maçanetas com maior saída.

Por outro lado, as injetoras vêm tendo muitas paradas para manutenção, que afetam diretamente na produção diária.

Outra questão relevante é o aumento dos custos de manutenção, falta de controle e gestão, uma vez que se for comparado com os últimos anos, o valor do custo, mostra uma tendência de crescimento, sem ter sido gerado ações para a diminuição dos problemas apresentados (vide Figura 4).

Figura 4 – Custo de manutenção x equipamento parado



Fonte: autor (2021)

## 3.2 PROPOSTA DE TRABALHO

O trabalho proposto visou implementar o sistema de manutenção preditiva em injetoras de zamac. Para tanto, foram estabelecidas algumas etapas para auxiliar no seu desenvolvimento, sendo detalhadas na sequência. O Quadro 6 apresenta isso.

Quadro 6– Etapas da proposta de trabalho

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>
1	Avaliar sistema eletromecânico do equipamento
2	Estabelecer técnicas preditivas aplicáveis ao equipamento
3	Definir pontos, parâmetros e frequências de medição
4	Desenvolver relatório de análise
5	Mensurar os ganhos no equipamento

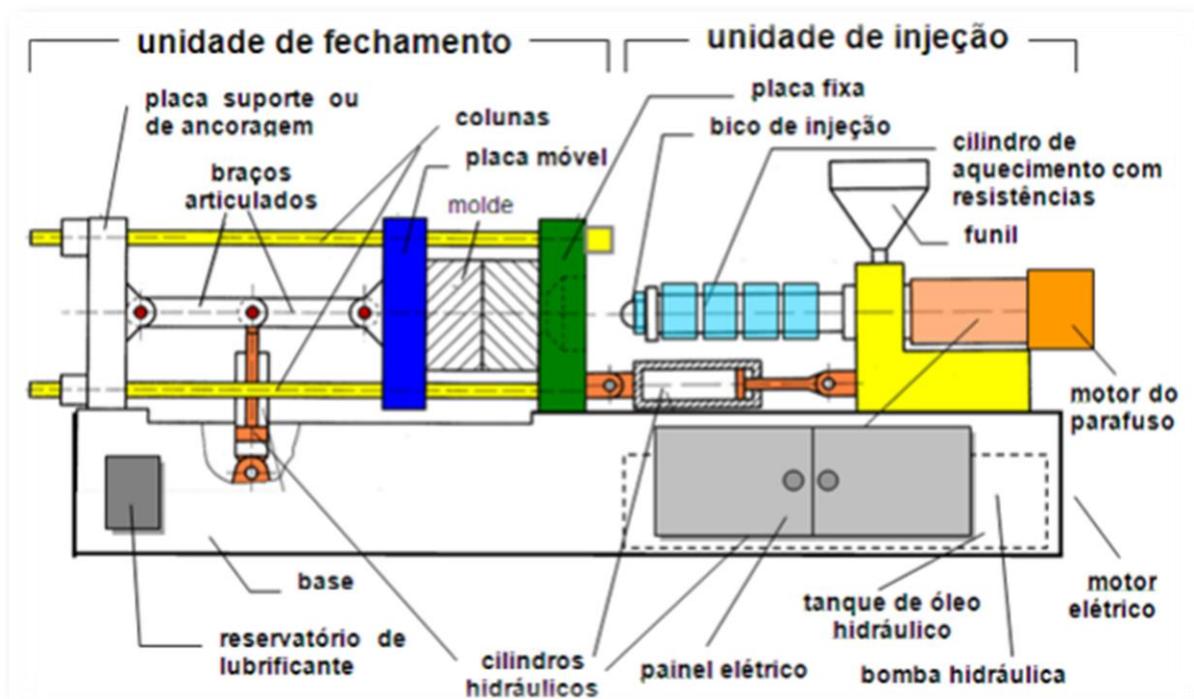
Fonte: autor (2021)

### 3.2.1 Etapa 1 – Avaliar sistema eletromecânico do equipamento

Através do manual do fabricante e verificando o histórico de paradas do equipamento, notou-se a importância do entendimento funcional da injetora. O conjunto de fechamento e a unidade de injeção podem ser considerados como os dois principais subsistemas a serem avaliados. O primeiro é composto por subconjuntos de fechamento e de extração, enquanto a unidade de injeção é composta pela injeção e unidade de injeção, por acionamentos hidráulicos, comandados através de sistemas eletromecânicos e por controlador lógico programável (CLP).

A força de fechamento e a capacidade de injeção são os principais fatores a serem avaliados. Isso porque, as injetoras são formadas por dois conjuntos: o do fechamento e o da injeção conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Sistema de fechamento e sistema de injeção



Fonte: Cefet (2004)

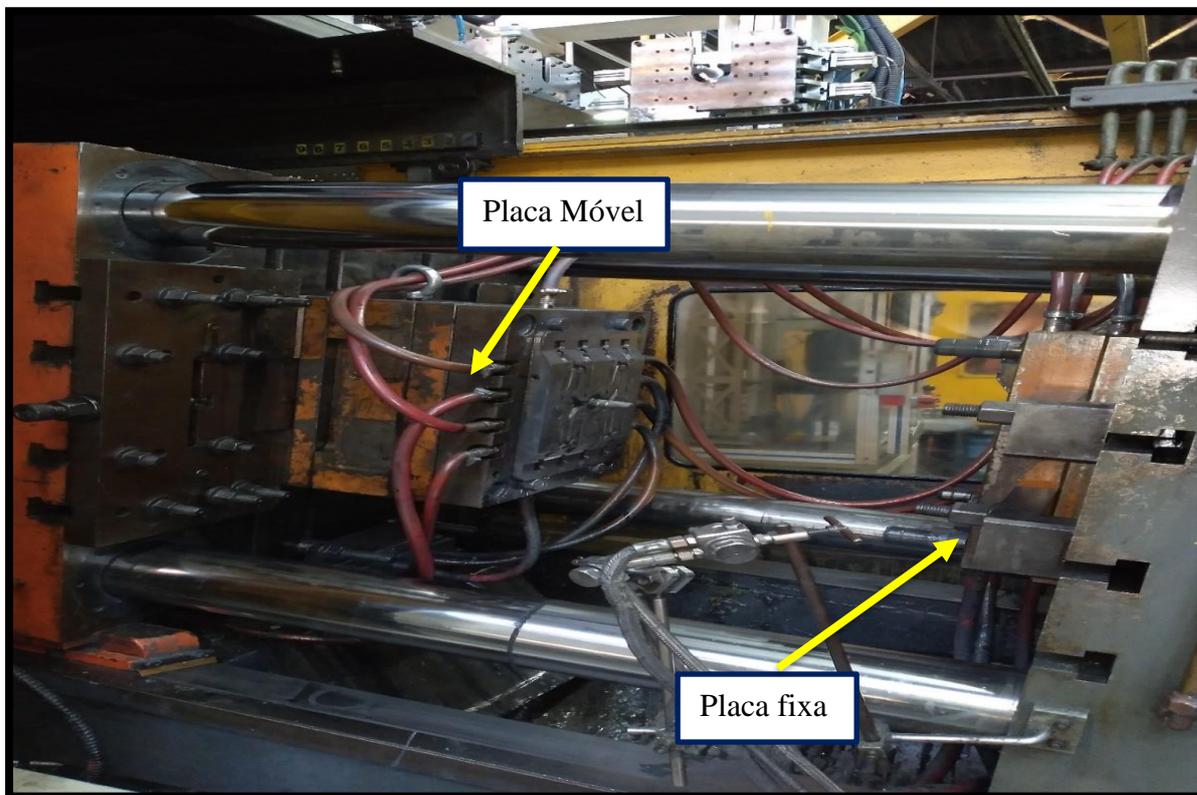
O conjunto do fechamento é composto pelos subconjuntos fechamento e extração. Já o da injeção, é composto pela injeção e a unidade de injeção. O fechamento é responsável por receber a ferramenta de moldagem por injeção, comumente chamada de molde. Já o extrator é responsável por executar a expulsão da peça para fora do molde após o processo de injeção. Ainda existem alguns subconjuntos no conjunto do fechamento, denominados extratores pneumáticos, machos hidráulicos e pneumáticos, além de outros que auxiliam em alguns processos de moldagem que exigem recursos específicos, conforme verificado no manual do fabricante.

### 3.2.1.1 Sistema de fechamento

O sistema de fechamento é composto por um cilindro e um pistão hidráulico que estão ligados a um sistema de articulação que movimentam a placa móvel, fechando ou abrindo o molde. A pressão do óleo, faz com que as articulações se travem, gerando a força de fechamento. Por outro lado, existe a placa fixa que permite a fixação e centralização do molde, a qual deve suportar a força exercida no molde no momento do fechamento, conforme a Figura 6. O sistema de extração localizado praticamente com o sistema de travamento, é o responsável

pelo acionamento da placa impulsora do molde e conseqüentemente a extração do produto, que geralmente é utilizado um acionamento hidráulico.

Figura 6 – Sistema de fechamento



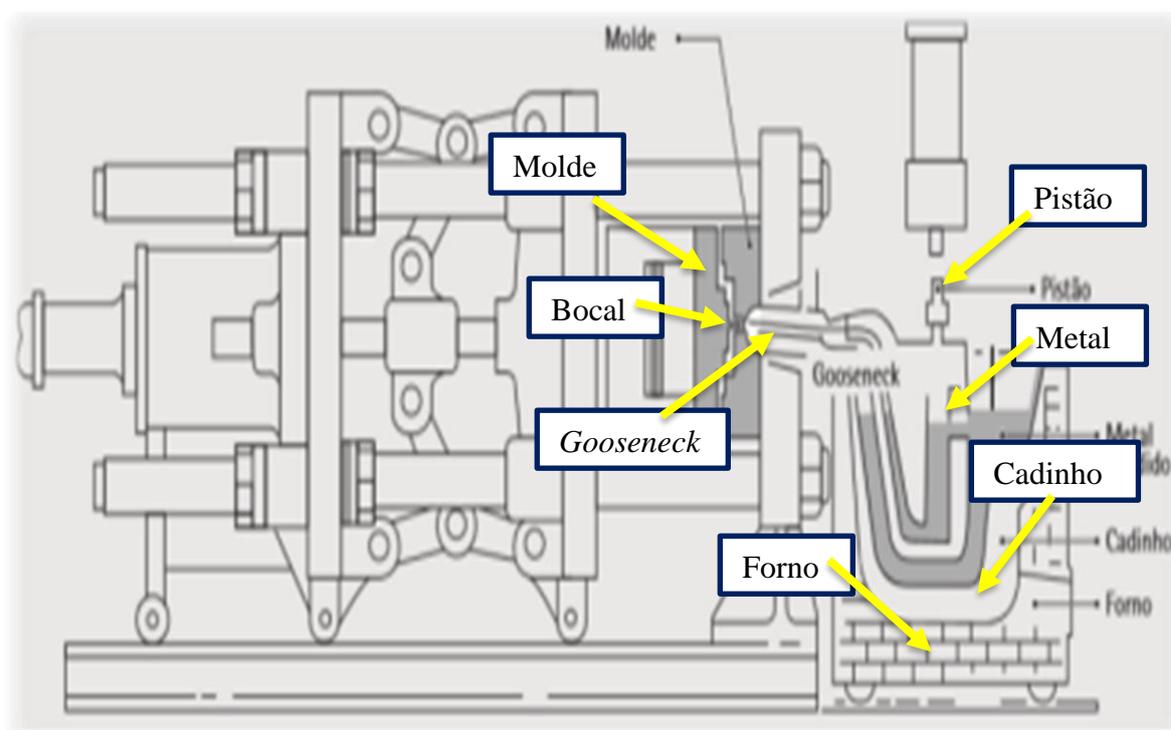
Fonte: Autor (2021)

### 3.2.1.2 Sistema de Injeção

O forno, juntamente com a câmara de injeção, está acoplado à injetora (Figura 7), formando um só conjunto. No interior de um forno aquecido por resistências elétricas, estão submersos, no metal líquido, o pistão e a câmara de injeção (*Gooseneck*). Quando o pistão está retraído, o metal líquido entra na câmara de injeção, através de orifícios, preenchendo toda a sua cavidade.

À medida que o pistão é acionado, estes orifícios são bloqueados confinando determinado volume de metal líquido que, por sua vez, é forçado a percorrer toda a extensão da câmara e preencher a cavidade do molde.

Figura 7 – Sistema de injeção câmara quente



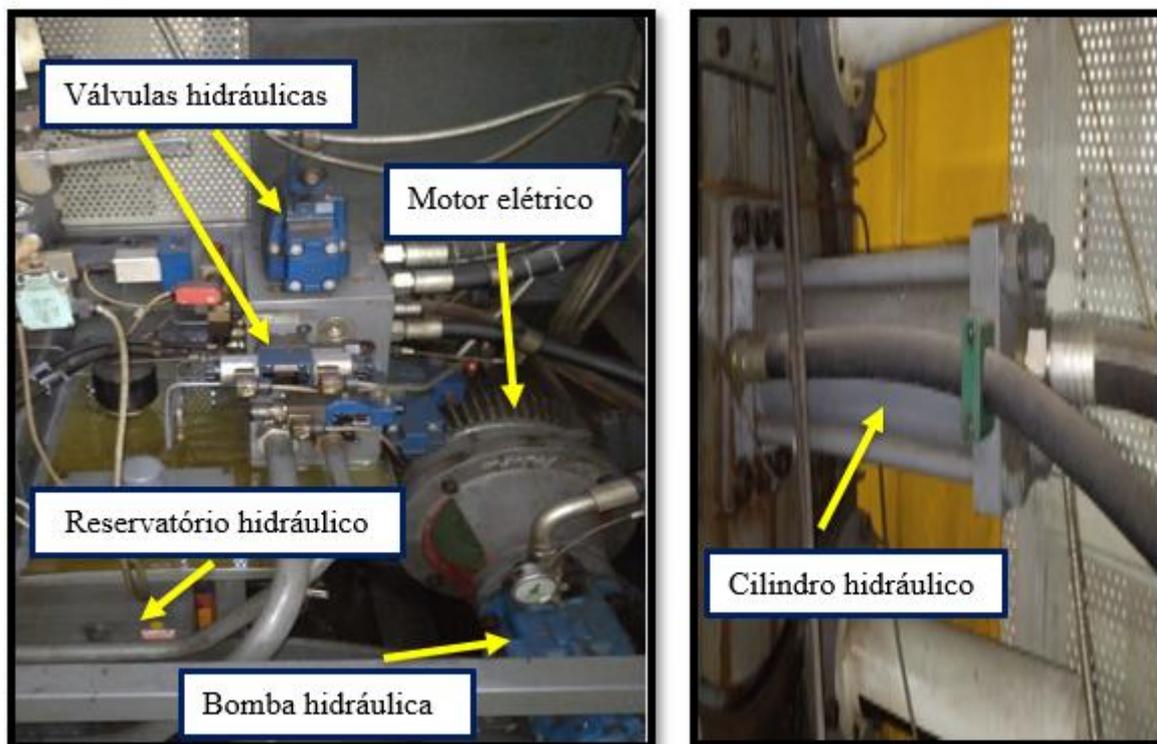
Fonte: Malavazi (2010)

### 3.2.1.3 Sistema hidráulico

Em injetoras convencionais, praticamente todos os movimentos são realizados através de válvulas de vazão e pressão e atuadores hidráulicos (pistões, êmbolos e outros) acionados por bombas hidráulicas, (máquinas responsáveis pela circulação de óleo no circuito hidráulico das injetoras). Por sua vez, estes atuadores são acionados por motores elétricos, responsáveis por aproximadamente 80% do consumo de energia elétrica do equipamento.

Os principais elementos do sistema hidráulico, conforme a Figura 8, são os conjuntos motobomba, reservatório de óleo, manômetro para controle de pressão de trabalho, válvulas reguladoras de vazão, as reguladoras de pressão e as direcionais, além de cilindro hidráulico.

Figura 8 – Sistema hidráulico



Fonte: Autor (2021)

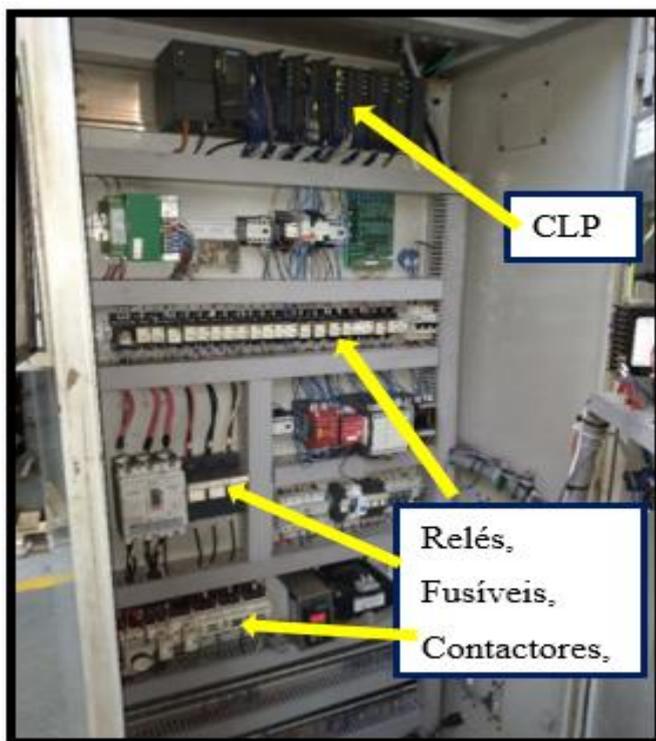
#### 3.2.1.4 Sistema elétrico

O sistema elétrico também deve ser avaliado, pois é ele que contém os comandos e acionamentos da máquina. Este recebe a energia elétrica e através de condutores distribui para aparelhos dando condições para que os comandos possam acionar seus elementos.

Esse sistema permite o acionamento automático via painel de controle e programação de todos os movimentos e demais recursos da injetora, controlar sistema de aquecimento do cilindro de injeção, molde, entre outros.

O painel elétrico normalmente deve-se encontrar fechado, seu acesso é frontal e dentro dele tem-se todos os comandos necessários para funcionamento do equipamento, conforme Figura 9, como: contactores, relés, fusíveis, sistema de controle da máquina (CLP), CPU, IHM, fonte, etc.

Figura 9 – Sistema elétrico



Fonte: Autor (2021)

### 3.2.2 Etapa 2 – Estabelecer técnicas preditivas aplicáveis ao equipamento

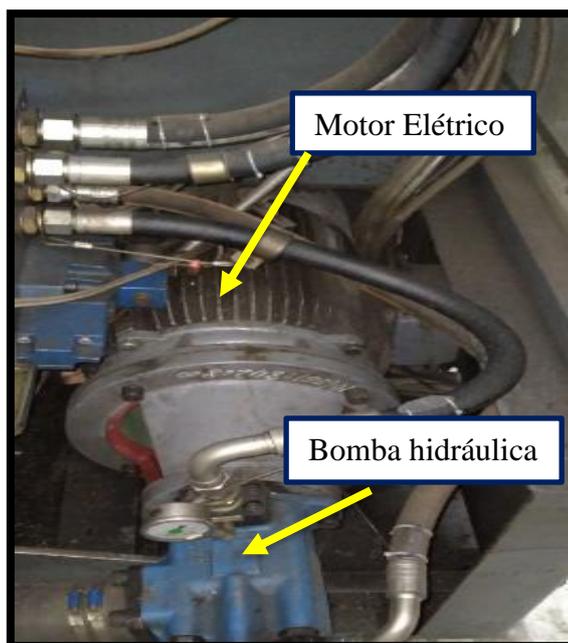
Com base na avaliação do sistema eletromecânico do equipamento, foi estabelecido qual a técnica preditiva mais indicada para cada subsistema do equipamento, para diminuirmos o número de paradas inesperadas, uma vez que a utilização destas técnicas nos ajuda a indicar falhas e detectar mudanças no estado físico da máquina. Em outras palavras, é o serviço de manutenção em máquinas injetoras com a antecedência necessária para evitar quebras ou estragos maiores.

#### 3.2.2.1 Análise de vibrações

Para o conjunto motobomba mostrado na Figura 10 definiu-se como a técnica de análise de vibrações como a mais indicada para monitoramento e análises a serem feitas, pois essa técnica indica possíveis problemas como: desalinhamento, desbalanceamento, folgas e falhas nos rolamentos, além de problemas mais complexos: falha em engrenagens, eixo empenado, cavitação em bombas e até problemas elétricos em motores. O equipamento utilizado foi o coletor de dados Movipack Advanced 01DB, que utiliza o software XPR-300

01DB, que utiliza um acelerômetro ASH 201-A 100 mv/g. As técnicas utilizadas por esse coletor são: Espectro de velocidade, espectro de aceleração, envelope de aceleração, sinal no tempo, medições de nís globais de velocidade e de aceleração e alarmes por bandas de frequência.

Figura 10 - Motobomba



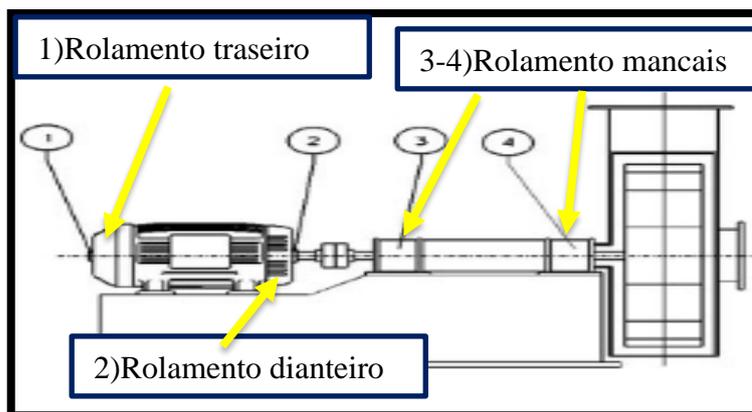
Fonte: Autor (2021)

A avaliação do estado geral dos equipamentos sujeitos a medições de vibração é efetuada através da comparação dos valores obtidos, com os valores existentes na norma ISO 10816-3 e norma ABNT NBR 10082.

Esta norma utiliza a amplitude em velocidade (RMS) como forma de avaliar a gravidade geral do equipamento. As medições da amplitude foram efetuadas na unidade de mm/s. Sempre que possível, as medições foram verificadas segundo três direções, vertical, horizontal e axial. Efetuou-se a medição permanentemente nos mesmos pontos, e no futuro será efetuada uma marcação física dos pontos de medição em todos os equipamentos, para que as medições não sejam influenciadas por essa causa.

Os pontos de medição de vibração de cada equipamento são definidos conforme recomendações e normas, (Figura 11)

Figura 11 – Sequência lógica de monitoramento do motor



Fonte: Autor (2021)

Relativamente à avaliação do estado dos rolamentos, a amplitude das medições é realizada na forma de aceleração, pois os problemas associados a rolamentos encontram-se fundamentalmente a altas frequências.

Os equipamentos foram avaliados conforme norma ISO 10816, que estabelece os limites de vibração aceitáveis para equipamentos rotativos, assim como a forma correta de medição. Na rotina da monitoração de falhas em mancais de rolamento o acompanhamento do valor eficaz da velocidade ao longo do tempo é comparado aos limites operacionais da norma, que estabelece os limites de vibração aceitáveis para equipamentos rotativos, assim como a forma correta de medição, sendo classificados conforme Quadro 7 abaixo:

Quadro 7 – Classificação conforme os equipamentos

Limites das Zonas	Zonas	Avaliação	Velocidade [R.M.S.] mm/s				
			Grupo 2 15kW a 300kW	Grupo 4 Acima de 15 kW acionamento integrado	Grupo 1 300kW a 50mW	Grupo 3 acima de 15kW acionamento separado	
			Rígido	Flexível	Rígido	Flexível	
	A	BOM					N
A/C			1,4	2,3	2,3	3,5	
	B	ACEITÁVEL					A1
B/C			2,8	4,5	4,5	7,1	
	C	INSATISFATORIO					A2
C/D			4,5	7,1	7,1	11	
	D	SEVERO					

Fonte: Adaptado da norma 10816 (2021)

As zonas no Quadro 7 apresentam os seguintes significados:

- zona A (seguro), na qual a vibração de máquinas através de operações irrestritas por longos períodos;
- zona B (seguro), máquinas com vibração dentro desta zona são aceitáveis para operações irrestritas a longos períodos;
- zona C (alarme), que referem-se à máquinas com vibração insatisfatórias para operações contínuas a longos períodos;
- zona D (perigo), referentes aos valores de vibração severos suficientes para causar danos a máquina.

O Quadro 8 mostra os alarmes utilizados para definir o status do equipamento.

Quadro 8 – Alarmes de estado do equipamento

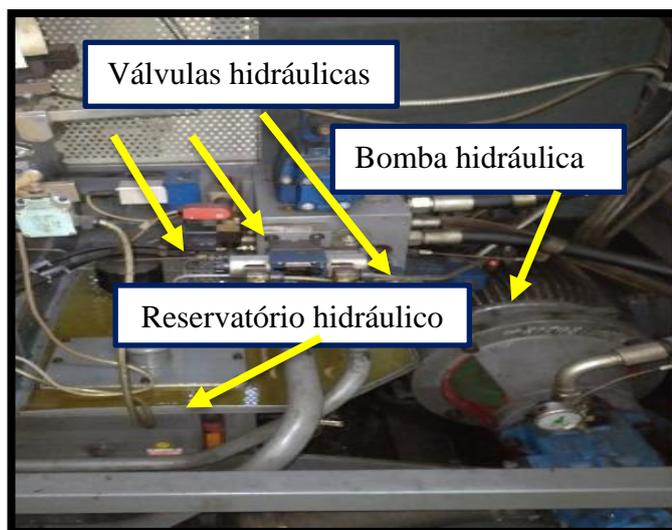
<b>SEGURO</b>
<b>ALARME P4 - ACOMPANHAMENTO</b>
<b>ALARME P3 - INTERVENÇÃO EM 15 DIAS</b>
<b>PERIGO P2 - INTERVENÇÃO EM 15 DIAS</b>
<b>PERIGO P1 - INTERVENÇÃO IMEDIATA</b>

Fonte: Autor (2021)

### 3.2.2.2 Análise de óleo

Definiu-se que para detectar problemas relacionados ao sistema hidráulico da injetora, foi utilizado a técnica preditiva de análise de óleos, realizada em laboratório por empresa terceirizada através de laudos técnicos emitidos pelo fornecedor. Esse deve analisar de diferentes formas todo o circuito hidráulico e os componentes envolvidos: reservatório de óleo, válvulas de pressão, proporcionais e direcionais (Figura 12).

Figura 12 – Componentes hidráulicos das injetoras



Fonte: Autor (2021)

A avaliação do estado geral dos equipamentos sujeitos a análise de óleos é realizada através da comparação dos valores obtidos, com os valores existentes na norma NM NAS 1638.

A norma NAS 1638 avalia o nível de contaminação de fluidos, por meio da contagem de partículas em 100 mL. Assim como essa norma para contagem de partículas, há ISO 4406 e a SAE 4059, que por exemplo, dependendo do fluido, o número ideal de partículas deve ser abaixo de 4, 6 ou 14 microns por 1 mililitro, a depender do tipo de sistema.

A norma ISO 4406 é conhecida internacionalmente por estabelecer parâmetros técnicos que expressam o nível de contaminação de óleos e fluidos, bem como, especifica o nível de limpeza de óleo exigido para componentes de sistema hidráulicos, lubrificantes e de combustão.

Agentes contaminantes nos fluidos podem acarretar significativa diminuição de produtividade, por meio de um processo lento e gradual, no qual tal perda pode passar despercebida em muitos casos.

### 3.2.2.3 Termografia

Para identificar problemas relacionados a aquecimentos elétricos do equipamento, foi utilizado a termografia, que por sua vez, proporciona identificar pontos de aquecimento nos mancais do motor elétrico, componentes elétricos e temperatura de barramentos e ligações elétricas.

Durante a utilização da câmara termográfica foi necessário ajustar a emissividade. A

emissividade definida foi 0,8. Com esta emissividade é possível medir grande parte dos equipamentos. Não é aconselhável efetuar medições com valores de emissividade inferiores a 0,7 pois, o resultado da medição é influenciado pela radiação refletida pelas superfícies circundantes.

A diferença entre os valores quantitativos obtidos a partir das análises termográficas são comparados com os valores fornecidos através das normas NBR. A norma fornece valores de diferença de temperatura e recomenda qual a ação a ser executada em função dessas diferenças.

A medição da temperatura foi realizada através de uma câmera termográfica, capaz de identificar, qualquer mau contato elétrico existente no circuito, através de seu termovisor. (Figura 13).

Figura 13 – Câmera termográfica



Fonte: Fluke (2021)

### 3.2.3 Etapa 3 – Definir pontos, parâmetros e frequência de medição

Nesta etapa definiu-se, os principais pontos de medição, as periodicidades e os parâmetros para a realização de cada uma das técnicas preditivas que foram utilizadas nas injetoras de zamac.

Alguns parâmetros foram definidos, como os dados históricos de manutenções preventivas, auxiliados pelo manual do fabricante, que orienta sobre a importância de verificação de alguns componentes da máquina, além do conhecimento técnico e com auxílio de especialistas que, fornecem serviços de manutenção preditiva.

Para realização e monitoramento de forma adequada das manutenções preditivas foi utilizado informações técnicas, para cada componente de maneira individual, conforme o Quadro 9.

Quadro 9 – Análise preditiva dos componentes

Componente	Foto	Método utilizado	Parâmetros técnicos, conforme fabricante	Equipamento necessário para análise	Periodicidade de
Cabos elétricos		Análise termográfica em barramento e cabos trifásicos 16 mm, tensão de 380Vac	Faixa de temperatura de trabalho: 0 °c a 70 °C. Conforme NBR NM 247-3	 Camera termografica	Semestral
Fusíveis		Análise termográfica em porta fúsivel 125 A	Faixa de temperatura de trabalho: - 20 °C a 60 °C. Grau de proteção IP20, IEC 60695-2-1	 Camera termografica	Semestral
Disjuntores		Análise termográfica em disjuntor tripolar 250 A	Faixa de temperatura de trabalho: - 5 °C a 60 °C. Grau de proteção IP20, conforme NBR IEC 60947-2.Tensão de Isolamento: 800Vac	 Camera termografica	Semestral
Contatores		Análise termográfica em contatores 24Vdc/12A	Faixa de temperatura de trabalho: - 40 °C a 60 °C. Grau de proteção IP20, IEC60529	 Camera termografica	Semestral
Relés		Análise termográfica em relés 24Vdc/3A conforme IEC	Faixa de temperatura de trabalho: - 40 °C a 55 °C. Grau de proteção IP40, EM/IEC60529	 Camera termografica	Semestral
Componentes eletrônicos		Análise termográfica nos equipamentos eletrônicos( CLP,IHM)	Faixa de temperatura de trabalho: - 40 °C a 75 °C. Grau de proteção IP20, IEC60529	 Camera termografica	Semestral
Resistências elétricas		Análise termográfica em resistências de aquecimento do gooseneck 1200W/220Vac	Faixa de temperatura de trabalho: até 500 °C	 Camera termografica	Bimestral
Motor elétrico		Análise de vibração na tampa frontal e posterior para verificar sobrecargas, desgastes e ruídos nos rolamentos do motor durante trabalho e Análise termográfica para identificar possíveis pontos de aquecimento	Análise de vibrações realizada conforme norma ABNT NBR 10082 e NBR 10273.Faixa de temperatura de trabalho: -20 °C até 40 °C, conforme norma ABNT NBR 17094	 Acelerômetro/Camera termografica	Trimestral
Bomba hidráulica		Análise de vibração na bomba hidráulica, para detectar, possíveis ruídos e oscilações causados pelo desgaste e má circulação do fluido e Análise termográfica para identificar possível aquecimento	Análise de vibrações realizada conforme norma ABNT NBR 10082 e NBR 10273. Faixa de temperatura de trabalho: até 70 °C máximo.	 Acelerômetro/Camera termografica	Trimestral
Reservatório de óleo		Análise de óleo através de coleta realizado no bocal de abastecimento do reservatório	Óleo hidráulico utilizado AW68 - faixa de temperatura de trabalho: 50 °C a 60 °C, conforme NM NAS1638.	 Espectrômetria	Trimestral

Fonte: Autor (2021)

### **3.2.4 Etapa 4 – Desenvolver relatório de análise**

Uma vez que os equipamentos, apresentem melhoras em seu desempenho e atingindo os objetivos, é papel fundamental controlar estas ações e os investimentos, garantindo que estes equipamentos continuem apresentando os resultados esperados.

À medida que as técnicas preditivas fossem implementadas, foram desenvolvidos relatórios e laudos para identificar além das melhorias, os pontos que apresentaram avarias fora das especificações técnicas.

Uma das ferramentas utilizadas nesta etapa foi a geração de planos de ação, sempre que diagnosticados problemas posteriores a execução das análises.

A monitorização dos equipamentos foi efetuada durante aproximadamente 10 meses e meio.

Na fase inicial não foi estabelecido nenhum critério para o intervalo entre medições, pois só através da tendência das primeiras medições é que foi possível estimar o intervalo de tempo em que as medições devem decorrer.

### **3.2.5 Etapa 5 – Mensurar os ganhos no equipamento**

Nesta etapa criou-se maneiras de mensurar, através de novas práticas e novas definições, prevendo as variações admissíveis. Ao passo que os equipamentos estejam apresentando os resultados de maneira sustentável, gerou-se gráficos de custos de manutenção, e indicadores de disponibilidade dos equipamentos que foram sendo monitorados através da implementação das técnicas preditivas, para analisar os ganhos de maneira rápida, eficaz, propondo maior vida útil aos equipamentos.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são descritas as atividades realizadas e apresentam-se os principais resultados obtidos com as melhorias implantadas através do sistema de manutenção preditiva em injetoras de zamac. Apresentam-se também os controles criados para se manterem os resultados obtidos ao longo do tempo.

### 4.1 RESULTADO DA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

Com base nos dados e identificações conforme a norma, foi criado um modelo de relatório para controle e monitoramento do estado de conservação dos equipamentos, onde este mostra o histórico do equipamento como o período de análises que foram realizadas, Quadro 10 abaixo.

Quadro 10 – Relatório de controle de análise de vibração

Relatório de análises de vibrações		
Setor	Injetoras Convencionais	
Equipamento	Data das análises	Status do Equipamento (alarme)
INJ4023	22/02/2021	SEGURO
	07/05/2021	SEGURO
	17/08/2021	SEGURO
INJ4022	22/02/2021	SEGURO
	07/05/2021	SEGURO
	17/08/2021	SEGURO

Fonte: Autor (2021)

### 4.2 RESULTADO DA ANÁLISE DE ÓLEO

Para controlar e monitorar de maneira mais eficaz os equipamentos criou-se um relatório baseado nas análises de óleo realizadas, conforme o Quadro 11, que mostra a real situação dos equipamentos e os planos de ação que foram realizados.

Quadro 11 – Relatório de controle de análise de óleo

Relatório de análise de óleo			
Setor	Injetoras Convencionais		
Equipamento	Data das análises	Status do equipamento	Plano de ação
INJ4023	03/11/2020	Carga de óleo apresenta níveis altos de metais e ametais, partículas de água, recomenda-se a troca do óleo	Foi realizada a limpeza do reservatório e feita a troca do óleo hidráulico
	06/04/2021	A carga de óleo analisada apresentou taxas de desgastes normais para o equipamento	Acompanhar e verificar possíveis desgastes e vazamentos
	13/08/2021	A carga de óleo e o sistema representados por esta amostra estão em condições de permanecer em serviço	Acompanhar comportamento do equipamento
INJ4022	03/11/2020	Carga de óleo apresenta níveis altos de metais e ametais, partículas de água, recomenda-se a troca do óleo	Foi realizada a limpeza do reservatório e feita a troca do óleo hidráulico
	06/04/2021	A carga de óleo analisada apresentou níveis de particulados em atenção. Recomenda-se verificar as vedações e possíveis desgastes metálicos	Foi realizada a retirada de diversas válvulas para revisão, assim como troca de vedações reparos do cilindro de extração e de fechamento do molde
	13/08/2021	A carga de óleo e o sistema representados por esta amostra estão em condições de permanecer em serviço	Acompanhar comportamento do equipamento

Fonte: Autor (2021)

Alguns agentes lubrificantes foram avaliados, durante a última análise realizada, em laboratório especializado, por empresa autorizada, para obter os resultados do lubrificante, verificados no Quadro 12, que se refere ao óleo hidráulico AW68. Um dos fatores de maior importância é a viscosidade que para de óleo AW68 tem escala aceitável de 58 a 78 cSt, em trabalho na temperatura de 40 °C. O óleo AW 68 por sua vez, proporciona um bom desempenho antidesgaste, boa resistência a oxidação, o que reduz a formação de borras acumulados no fundo do reservatório.

Quadro 12 – Relatório da análise do lubrificante AW68

Relatório dos agentes lubrificantes atual				
Setor	Injetoras convencionais			
Equipamento	Data da análise	Agente a ser analisado	Faixa de trabalho aceitável	Plano de ação
INJ4023	23/07/2021	Viscosidade	70,8	Níveis de viscosidade dentro da escala aceitável para óleo AW68
		Oxidação (água)	NIL (nada/zero)	Estado de trabalho conforme necessário
		Insolúveis metálicos	LT (leves traços)	Verificar desgastes de válvulas, bomba e cilindros
		Insolúveis não metálicos	LT (leves traços)	Verificar possíveis vazamento no sistema de nitrogênio
INJ4022	23/07/2021	Viscosidade	66,2	Níveis de viscosidade dentro da escala aceitável para óleo AW68
		Oxidação (água)	NIL (nada/zero)	Estado de trabalho conforme necessário
		Insolúveis metálicos	T (traços)	Verificar desgastes de válvulas, bomba e cilindros, além de trocar reparos se necessários
		Insolúveis não metálicos	P (presença)	Abrir verificar e trocar as vedações do sistema de nitrogênio, verificar possíveis vazamentos no circuito

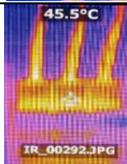
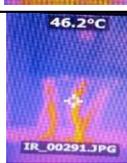
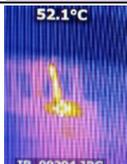
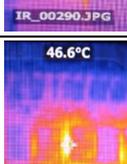
Fonte: Autor (2021)

#### 4.3 RESULTADO DA ANÁLISE TERMOGRÁFICA

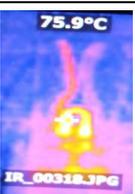
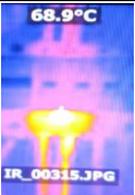
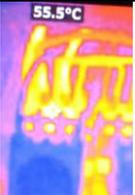
Foi criado um modelo de relatório para monitorar e controlar, as análises termográficas periodicamente, onde ao verificar que a temperatura do componente, não estiver de acordo com a especificada, deve-se tomar uma ação corretiva, para que o problema seja sanado de maneira correta. No Quadro 13, é apresentado um resumo dos resultados obtidos para os equipamentos que foram realizados análise termográfica.

Quadro 13 – Relatório de análise termográfica

(continua)

Resultado análise termografica							
Equipamento	Componente	Foto do Componente	Foto ponto de aquecimento	Mapeamento do componente	Temperatura Máxima de trabalho (°C)	Temperatura medida (°C)	Plano de ação
INJ4023	Barramento/ cabos elétricos			Fios elétricos contadoras K01 e K02	≤ 70	62.3	Reapertar cabos elétricos na entrada do barramento principal
	Porta Fusíveis			PF 02	≤ 60	45.5	OK
	Disjuntores			DIS 01	≤ 60	46.2	OK
	Contatores			K03	≤ 60	52.1	OK
	CPU			CLP	≤ 75	38.9	OK
	Relés			RL05	≤ 55	46.6	OK
	Fontes/ eletrônicos			F01	≤ 75	47.6	OK
	Motor/ bomba hidráulica			M01	≤ 40	41.7	OK

(conclusão)

INJ4022	Barramento/ cabos elétricos			Fios elétricos contatora K07	$\leq 70$	75.9	Providenciar a revisão do componente, reaperto dos fios elétricos e realizar a medição novamente
	Porta Fusíveis			PF01	$\leq 60$	38,3	OK
	Disjuntores			DIS03	$\leq 60$	68.9	Providenciar a revisão do componente, reaperto dos fios elétricos e realizar a medição novamente
	Contatores			K01	$\leq 60$	55,5	OK
	CPU			CLP	$\leq 75$	43.9	OK
	Relés			RL03/RL04/ RL05	$\leq 55$	60.2	Providenciar a revisão do componente, reaperto dos fios elétricos e realizar a medição novamente
	Fontes/ eletrônicos			PL02	$\leq 75$	63.2	OK
	Motor/ bomba hidráulica			M01	$\leq 40$	67.5	Providenciar a revisão e se necessário troca dos rolamentos, fiação elétrica

Fonte: Autor (2021)

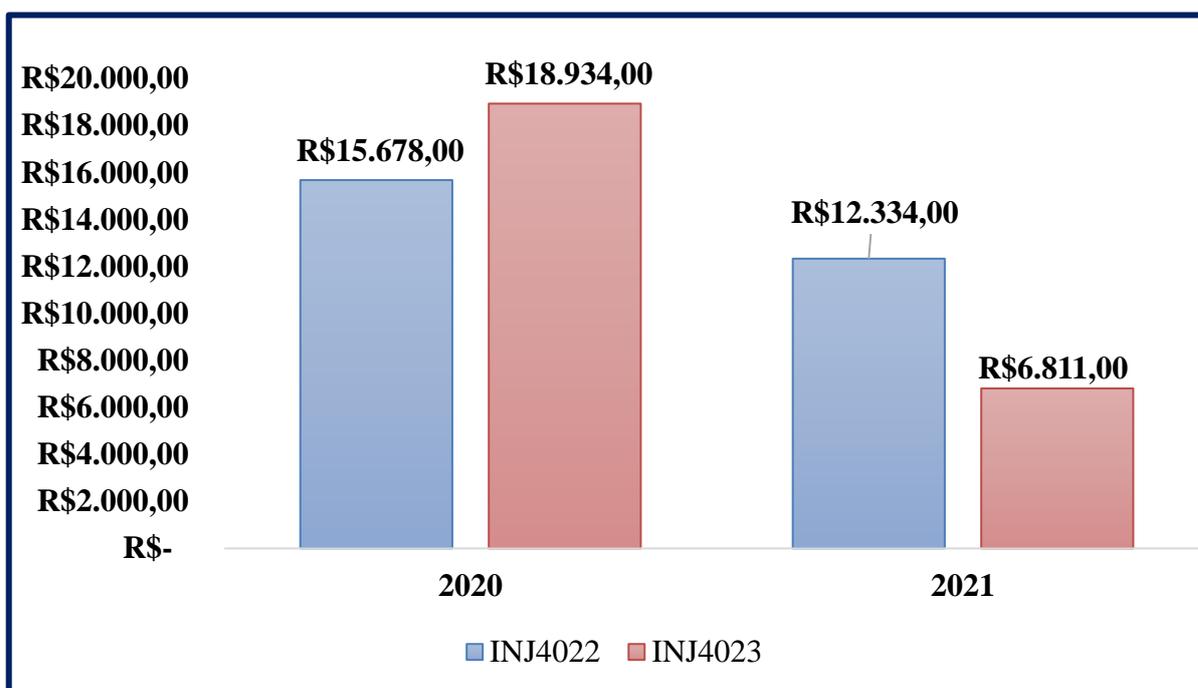
Legenda	Descritivo
Seguro	Componente com 10 °C abaixo da temperatura máxima de trabalho
Atenção	Componente apresenta temperatura bem próxima a máxima de trabalho
Perigo	Temperatura do componente acima da temperatura de trabalho

#### 4.4 RESULTADOS OBTIDOS

Por fim mensurou-se os ganhos, em relação as melhorias que foram implementadas, devido ao alto custo que se tinha anteriormente nas duas injetoras de zamac, que apresentavam alto número de manutenções corretivas, relacionadas a problemas hidráulicos e eletromecânicos. Outro ponto que se analisou, foi a disponibilidade destes equipamentos, que se obteve após as aplicações das manutenções preditivas adotadas.

Em relação aos custos de manutenção, com o início de monitoramento e realização das manutenções preditivas, obteve-se uma diminuição em ambos os equipamentos, se comparados aos custos de 2020, custos estes que são de materiais e peças, aplicados exclusivamente na execução da manutenção preditiva (Figura 14).

Figura 14 – Custos de manutenção



Fonte: Autor (2021)

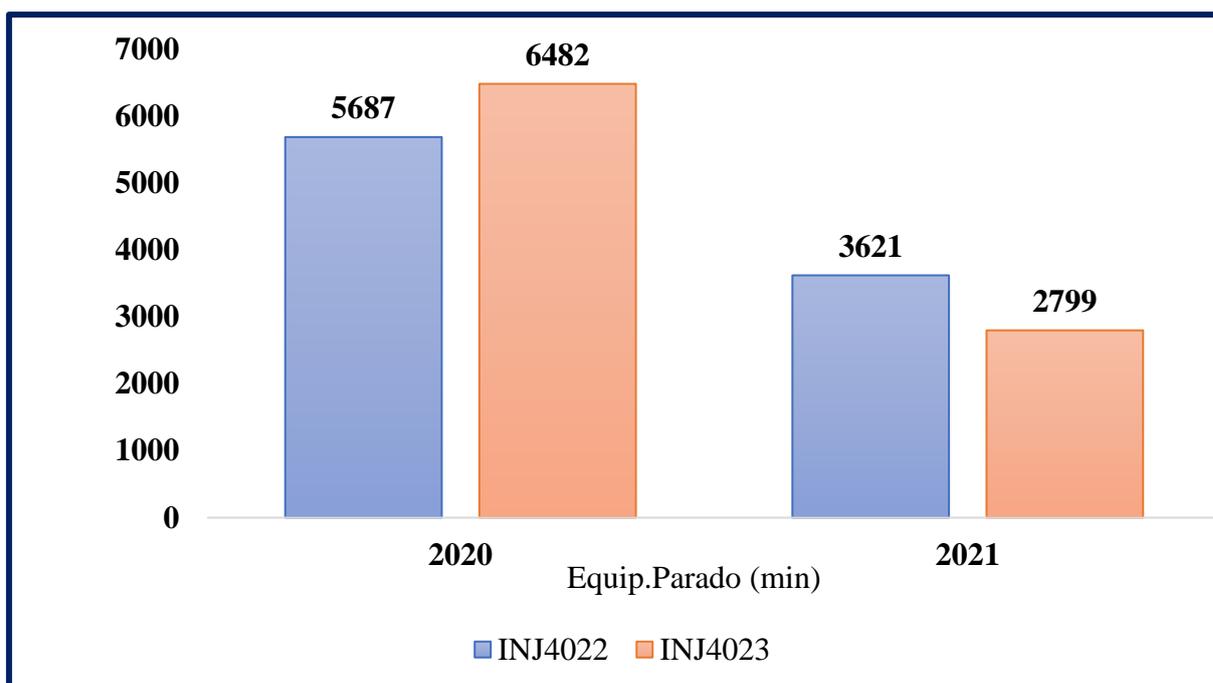
Com a execução das manutenções preditivas obteve-se, redução de custo em relação ao ano de 2020 de aproximadamente 22% para a injetora 4022 e de 64% para a injetora 4023.

A realização das manutenções preditivas também trouxe outros benefícios além da diminuição dos custos, como a diminuição das falhas nos equipamentos, o que nos proporcionou redução do número de paradas, aumentou a vida útil das peças e/ou componentes

da máquina, assim como se reduziu o estoque de peças sobressalentes, antes necessário, por consequência do número de manutenções existentes.

O tempo de parada das máquinas também foi menor se comparado com o ano de 2020, conforme Figura 15.

Figura 15 – Tempo de parada dos equipamentos



Fonte: Autor (2021)

O aumento da produção nas injetoras ficou notável, a partir do momento que se realizou o plano preditivo de maneira completa, incluindo até mesmo monitoramento de parâmetros de processo, melhorando o rendimento operativo. A Tabela 2 mostra o aumento da produção efetiva, que foi possível produzir, após a implementação das manutenções preditivas, considerando a maçaneta sagaz, que hoje é o carro chefe nestes equipamentos.

Tabela 2 – Redução do tempo de paradas

Equipamento	Paradas 2020 (Min)	Paradas 2021 (Min)	Percentual de redução de paradas
INJ4022	5687	3621	36,33%
INJ4023	6482	2799	56,82%

Fonte: Autor (2021)]

Analisando os resultados obtidos com a execução das manutenções preditivas, podemos verificar, que o custo benefício se torna muito viável, uma vez que o resultado, pode ser muito eficaz, proporcionando condições de trabalho e monitoramento muito mais eficientes e assertivos, então porque não adotarmos em todos os equipamentos, para se obter um resultado geram ainda melhor.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a metodologia da manutenção preditiva e buscou aplicá-la em equipamentos industriais de injeção de zamac. Através dos objetivos específicos buscou-se avaliar o sistema eletromecânico destas máquinas, e as técnicas preditivas aplicáveis as mesmas. A partir daí foram definidos os pontos, parâmetros e frequências de medição, desenvolvido relatório de análise e por fim mensurados ganhos no equipamento.

Com o início do monitoramento e realização das manutenções preditivas, foram obtidos os resultados das análises, para as injetoras de zamac. A quantidade de tempo de parada teve uma redução de até 56%, isso faz com que, atualmente se tenha um tempo total de equipamento parado menor, quando se leva em consideração anos anteriores, onde não se tinha as técnicas preditivas aplicadas, podendo hoje atuar no monitoramento e não apenas na correção.

Através da realização das técnicas preditivas, também se obteve, redução de gastos com componentes de manutenção, chegando ao percentual de 64% em uma das máquinas. Além destes ganhos mensuráveis, obteve-se um desenvolvimento da equipe e gestores envolvidos neste processo, onde a partir do estudo realizado e da aplicação prática da metodologia pode-se aperfeiçoar o conhecimento nesta área.

Considerando os resultados obtidos e os benefícios que a aplicação das técnicas preditivas proporcionou, fica a oportunidade e sugestão para futuros trabalhos a implementação e monitoramento para os demais equipamentos da fábrica. Assim como a instalação permanente de sensores nos equipamentos rotativos, para a análise de vibrações, onde possibilitaria acompanhar em tempo real, o comportamento dos equipamentos, através de um aplicativo e *software* específico.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A. M.; SOARES, I. M; SOUZA, O. Termografia em manutenção preditiva: conceitos e aplicabilidades em máquinas e equipamentos industriais. Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 89-94, 2012.

ARATO, JR. A. **Manutenção preditiva usando análise de vibrações**. Barueri: Manole, 2004.

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

AZURE. **Predictive Maintenance**. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/pt-br/use-cases/predictive-maintenance/>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. Manutenção Preditiva na Indústria 4.0. **Scientia cum indústria**, v.7, n.2, p. 12-22, 2019.

BARONI, T. **Gestão estratégica e técnicas preditivas**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12, Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/imagens/Documentos/SST/NR/NR12/NR-12.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2021.

BUHL, A.; HJERTÉN, H. **Evaluation of Artificial Neural Networks for Predictive Maintenance**. Master's Thesis. LUND University, Department of Computer Science Faculty of Engineering LTH, 2018.

CEFET-RS/UNED Sapucaia do Sul. Introdução a Transformação de Termoplásticos, 2004. Disponível em: [http://tecomplasticos.com.br/PDF\\_Injetoras/Aut\\_Injetoras.pdf](http://tecomplasticos.com.br/PDF_Injetoras/Aut_Injetoras.pdf) . Acesso em: 18 ago. 2021.

COSTA, M. A. **Gestão estratégica da manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. 2013. 103 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013a.

Costa, G. A. S. "**Análise vibratória de fundações de máquinas sobre estacas**". 2013. X f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013b.

DIEGOLI, B. B.; GAVLAKI, D. Termografia – aplicações além da manutenção elétrica. In: **INDÚSTRIA 4.0: MANUFATURA AVANÇADA**. 21 nov. 2018. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/17360-termografia-aplicacoes-alem-da-manutencao-eletrica>. Acesso em: 12 abr.2021.

DILMEGANI, C. **Predictive Maintenance**: In-depth Guide. In: AI MULTIPLE., 27 mar. 2018. Disponível em: <https://blog.aimultiple.com/predictive-maintenance/>. Acesso em: 10 abr.2021

EZRA, O. **Achieving Manufacturing Excellence with Predictive Maintenance and Machine Learning**. In: INDUSTRY 4.0 INSIGHTS, 27 mar. 2018. Disponível em: <https://blog.seebo.com/predictive-maintenance-machine-learning/>. Acesso em: 11 abr.2021

FLIR Systems Inc. **Thermal Camera**. 2018. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/t1010/>. Acesso em: 27 abr.2021

GONFALONIERI, A. **How to Implement Machine Learning For Predictive Maintenance**. In: TOWARDS DATA SCIENCE, 7 nov. 2019. Disponível em: <https://towardsdatascience.com/how-to-implement-machine-learning-for-predictive-maintenance-4633cdbe4860>. Acesso em: 23 abr.2021.

HIDRAMAT. **Informativo Técnico**. 2021. Disponível em: <http://www.hidramat.com.br/aux-instalacao-bombas.pdf>. Acesso em: 23 set. 2021

Hitchcock, L., (2003) Using Thermal Imaging To Help Solve Lubrication Problems, SKF. Disponível em: <http://www.skf.com/portal/skf/home/aptitudexchange?contentId=0.237932.237937.237980.237988.238905>. Acesso em: 20 abr.2021.

Infraspection Institute. **Infrared Training & Infrared Certification** from Infraspection Institute, 2008. Disponível em: [http://www.infraspection.com/useful\\_guidelines.html](http://www.infraspection.com/useful_guidelines.html). Acesso em: 19 abr.2021.

ISO (International Standard) 10816-3:1998 Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. International Organization for Standardization

Kaplan, H. **Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment**, Society of Photo Optical, 2007.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica**, 2. ed, Rio de Janeiro: Editora Quality Mark, 2013.

LIMA, W. C.; LIMA, C. R.; SALLES, A. A. **Manutenção preditiva: o Caminho para a Excelência - Uma Vantagem Competitiva**, 2008.

MALAVAZI, J. **Manual de Fundição sob Pressão**. Presidente Altino, SP. Votorantim Metais, 2010. 21 p.

MELLO, F. A. O.; SANTOS, A. R.; HAYASHIDA, M. C. B. P.; MACAHDO, T. F. A. **Influência da Gestão de Pessoas no Desempenho Empresarial através do perfil do Líder**. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO TECNOLOGIA – Seget IX. **Anais**, 2012.

MONCHY, F. **A Função manutenção**: formação para a gerência da manutenção industrial. São Paulo: Ed. Durban, 1987.

MIRSHAWKA, V.; **Manutenção preditiva**: caminho para zero defeitos. São Paulo: Makron Books, McGraw-Hill, 1991.

MGS TECNOLOGIA. 2013. Disponível em: <http://www.mgstecnologia.com.br/>. Acesso em: 18 abr.2021

NASA (National Aeronautics and Space Administration). 2008. Reliability Centered Maintenance Guide. Disponível em: <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/NASARCMGuide.pdf>. Acesso em: 16 abr.2021.

NASCIF, J.; KARDEC, A. **Manutenção como Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2019.

NASCIMENTO, B. A. do. "**Eixo empenado em máquinas rotativas, mais uma maneira de detecção**". 2016, 45 páginas. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Maurício de Nassau, Recife, 2016.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: E. Blücher, 1989.

NETA. (Inter National Electrical Testing Association). Acceptance Testing Specifications for Electric Power Distribution Equipment and Systems, 1999. Disponível em: <http://www.codecheck.com/cc/pdf/electrical/Testing/NETA..pdf> Acesso em: 27 abr.2021.

RAMOS, A. **A diferença entre Inteligência Artificial, Machine Learning e Deep Learning**. In: ENGENHARIA É, 01 out. 2018. Disponível em: <https://engenhariae.com.br/tecnologia/a-diferenca-entre-inteligencia-artificial-machine-learning-e-deep-learning>. Acesso em: 18 abr.2021.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

RICHTER, I. Demystifying IoT Communication Protocols for Industry 4.0. In: INDUSTRY 4.0 PRODUCTION, 4 mar. 2018. Disponível em: <https://blog.seebo.com/demystifying-iot-communication-protocols-for-industry-4-0/>. Acesso em: 21 abr.2021.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Todos os Produtos**. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/all-products/> . Acesso em: 23 set, 2021.

SEEBO. **Why Predictive Maintenance is Driving Industry 4.0**: The definite Guide. In: SEEBO, 20 out. 2018. Disponível em: <https://www.seebo.com/predictive-maintenance/>. Acesso em: 25 abr.2021.

SMITH, M.; MOBLEY, R. K. Rules of thumb for Maintenance and Reliability Engineers System 38: 1 ed. 2007.

SOPRANO. **Fechaduras Manuais e Digitais**. 2021. Disponível em: <https://www.soprano.com.br/produtos/fechaduras-cadeados-e-ferragens/fechaduras-digitais-para-portas/fechaduras-smart>. Acesso em: 19 jun. 2021

SPECTROGREEN. **Espectrômetro ICP-OES**. 2021. Disponível em: <https://pensalab.com.br/produto/espectrometro-icp-oes-spectrogreen/>. Acesso em: 21 abr.2021

TAVARES, L. **Administração moderna de manutenção**. New York: Ed. Novo Pólo Editora, 1998.

TELANG, A. **Comprehensive Maintenance Management: Policies, strategies and Options**, PHI Learning Private Limited, 2010.

UNICBRASIL. **Injetora de Zamac**. 2021. Disponível em: <https://www.unicbrasil.com.br/injetora-zamac>. Acesso em: 10 abr.2021

VENTURELLI, M. **Manutenção 4.0**, 2019. Disponível em: <https://marcioventurelli.com/2019/05/16/manutenção-4-0/>. Acesso em: 25 abr,2021.

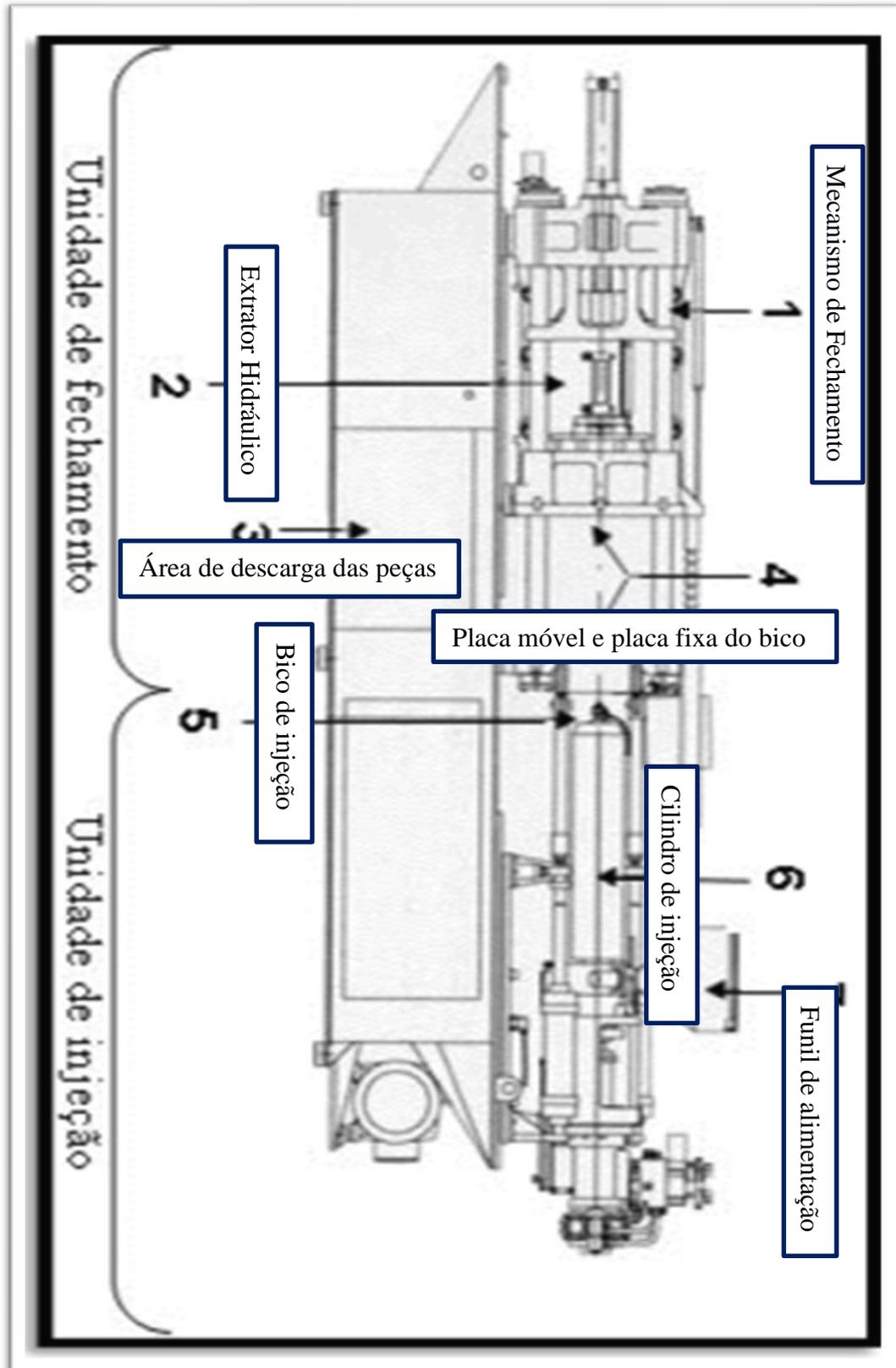
VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2005.

WANG, H.; WILLIAMS, K. **The Vibrational Analysis and Experimental Verification of a Plane Electrical Machine Stator Model**. Mechanical Systems and Signal Processing, p.429-438, 2003.

WEG. Guia de Especificação de motores elétricos. 2021. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Bombas/Bomba-Monobloco/W22-Bomba-Monobloco-JM> . Acesso em: 23 set, 2021.

XAVIER, J. N. **Manutenção: tipos e tendências**, 2005. Disponível em: <http://www.engeman.com.br/site/ptb/artigostecnicos.asp/manutencaotiposetendencias.zip>, Acesso em: 23 abr.2021.

## ANEXO A – PRINCIPAIS PARTES DE UMA INJETORA



Fonte: Brasil (2009)