



**FELIPE BELLA DE CASTRO JUNQUEIRA  
FILIPE GIACCHERO LIMA  
VITOR RABELO**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PDCA PARA REDUÇÃO DOS  
CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM UM EQUIPAMENTO  
DE TEMPERAR HASTES: UM ESTUDO DE CASO NA  
INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS**

**LAVRAS – MG  
2022**

**FELIPE BELLA DE CASTRO JUNQUEIRA  
FILIPE GIACCHERO LIMA  
VITOR RABELO**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PDCA PARA REDUÇÃO DOS  
CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM UM EQUIPAMENTO  
DE TEMPERAR HASTES: UM ESTUDO DE CASO NA  
INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia  
Mecânica, para a obtenção do título de  
Bacharel.

Victor Buono da Silva Baptista  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Junqueira, Felipe Bella de Castro.  
Lima, Filipe Giacchero.  
Rabelo, Victor.

Aplicação do método PDCA para redução dos custos de  
manutenção em um equipamento de temperar hastes : um estudo de  
caso na indústria de autopeças / Felipe Junqueira, Filipe Lima e  
Victor Rabelo. - 2022.

98 p.

Orientador(a): Victor Baptista.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2022.  
Bibliografia.

1. Kaizen. 2. Manutenção. 3. Planejamento. I. Baptista, Victor  
Buono da Silva. II. Título.

## RESUMO

Este trabalho se trata de um estudo de caso das necessidades de melhorias das atividades de manutenção em uma empresa do segmento automotivo. Observou-se a importância do planejamento da manutenção e aplicabilidade de uma metodologia e de suas ferramentas, visto que falhas e quebras em máquinas afetam a produtividade de forma direta. Na definição e implementação de uma estratégia competitiva na indústria, a manufatura pode ser considerada uma das mais importantes áreas. Assim, cabe a ela o papel de estabelecer uma cultura de melhoria contínua que possa servir como elemento norteador de toda a organização visando a qualidade dos produtos. Uma das principais finalidades deste trabalho é o envolvimento da manutenção com as células produtivas, podendo aplicar seus conhecimentos técnicos no processo de fabricação com o objetivo de melhorar a qualidade, aprimorar o produto, minimizar os custos de fabricação, e atingir a quebra zero, a fim de torná-lo mais competitivo no mercado automotivo. A partir da metodologia aplicada, baseada no ciclo PDCA, foi possível obter melhoria nos índices de rendimento do setor além de atingir um dos objetivos principais de quebra zero. Para isso foi investido um valor de \$44.806,70 com um retorno de \$60.293,90, colaborando também para o aumento dos lucros da empresa.

**Palavras-chave:** Kaizen. Manutenção. Planejamento. Análise de Causa Raiz.

## **ABSTRACT**

This work is a case study of the needs for improvement of maintenance activities in a company in the automotive segment. The importance of maintenance planning and applicability of a methodology and its tools was observed, since failures and breaks in machines affect productivity directly. In defining and implementing a competitive strategy in the industry, manufacturing can be considered one of the most important areas. Thus, it is up to it to establish a culture of continuous improvement that can serve as a guiding element for the entire organization, aiming at product quality. One of the main purposes of this work is the involvement of maintenance with the production cells, being able to apply their technical knowledge in the manufacturing process with the objective of improving quality, improving the product, minimizing manufacturing costs, and achieving zero breakage, in order to make it more competitive in the automotive market. From the applied methodology, based on the PDCA cycle, it was possible to obtain an improvement in the sector's performance indexes, in addition to achieving one of the main goals of zero breakage. For this, an amount of \$44,806.70 was invested with a return of \$60,293.90, also collaborating to increase the company's profits.

**Key Words:** Kaizen. Maintenance. Planning. Root Cause Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Principais elementos de um sistema de gerenciamento da manutenção.....	14
Figura 2	- Combinação dos modelos de falhas.....	17
Figura 3	- Círculo vicioso das falhas.....	18
Figura 4	- Fluxograma de tratamento de falhas.....	19
Figura 5	- Fluxograma detalhado do sistema de tratamento de falhas.....	23
Figura 6	- Atividades de manutenção e o ciclo PDCA.....	25
Figura 7	- Estrutura dos padrões de manutenção.....	27
Figura 8	- Tipos de padrões de manutenção.....	28
Figura 9	- Fluxograma para atualização dos padrões de manutenção.....	29
Figura 10	- Fluxograma de inclusão de material no estoque.....	31
Figura 11	- Elaboração do orçamento anual da manutenção.....	32
Figura 12	- Índice de OEE.....	34
Figura 13	- Ciclo do programa 5S.....	36
Figura 14	- PDCA – Método de controle de processos.....	38
Figura 15	- O PDCA para atingir metas de melhoria.....	39
Figura 16	- O SDCA para atingir metas padrão.....	40
Figura 17	- PDCA aplicado com os objetivos de manter e melhorar.....	41
Figura 18	- Conceito de melhoramento contínuo na manutenção de equipamentos.....	41
Figura 19	- Custo Total de Manutenção por equipamento.....	43
Figura 20	- Têmpera Politron.....	44
Figura 21	- Gráfico de quebras por componente.....	45
Figura 22	- Disponibilidade do equipamento.....	46
Figura 23	- Número de quebras do equipamento.....	47
Figura 24	- MTTR do equipamento.....	47
Figura 25	- MTBF do equipamento.....	48
Figura 26	- Organograma time de projeto.....	49
Figura 27	- Pirâmide de falhas da máquina.....	50
Figura 28	- Análise da causa raiz.....	51
Figura 29	- Custo total do planejamento.....	53

Figura 30	- Gráfico de priorização das atividades de melhoria no equipamento.....	54
Figura 31	- Kaizen desenvolvido para aumento da vida útil dos cabos de alta tensão.....	57
Figura 32	- Kaizen desenvolvido para tubulações do sistema de refrigeração.....	58
Figura 33	- Kaizen desenvolvido para aumento da vida útil dos rolamentos dos rolos.....	58
Figura 34	- Filtro para definição do tipo de manutenção.....	59
Figura 35	- Acompanhamento do número de quebras no período da aplicação da metodologia PDCA .....	61
Figura 36	- Acompanhamento do MTTR no período da aplicação da metodologia PDCA.....	62
Figura 37	- Acompanhamento do MTBF no período da aplicação da metodologia PDCA.....	62
Figura 38	- Acompanhamento da Disponibilidade no período da aplicação da metodologia PDCA.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Divisão básica de trabalho entre os departamentos de Manutenção e Produção.....	12
Tabela 2	- Lista de verificação para busca das causas fundamentais das falhas.....	21
Tabela 3	- Passos para implantação do conceito 5S.....	37
Tabela 4	- Custo total de manutenção por equipamento.....	43
Tabela 5	- Número de quebras e hora total de parada por componente.....	45
Tabela 6	- Indicadores de performance mensal.....	46
Tabela 7	- Investimento na etapa planejamento.....	52

## LISTA DE SIGLAS

3 Gen - Genba, Genbutsu e Gensho - ir ao local da ocorrência, observar a máquina e o fenômeno.

4M - Ferramenta da qualidade utilizada para analisar a falha. Quatro M significa máquina, mão de obra, material e método.

5 Por quês - Técnica de análise sobre determinada necessidade, buscando identificar a “causa-raiz” de um problema.

5S - Seiri (organização), Seiton (arrumação), Seiso, (limpeza), Seiketsu (limpeza pessoal ou padronização) e Shitsuke (disciplina).

5W1H - Who, What, Where, When, Why + How - Quem, O Que ou Qual, Onde, Quando, Porque e Como.

Brainstorming - São reuniões realizadas por um grupo de pessoas que tem um objetivo pré-determinado, definindo assim planos de ação indo de encontro ao objetivo.

CMMS - Computerized Maintenance Management System – Sistema Computadorizado de Gerenciamento da Manutenção

Kaizen - Busca do melhoramento contínuo em todos os aspectos, refletindo na produtividade, na qualidade sem gasto ou com mínimo investimento.

Kanban - Cartão de sinalização que controla os fluxos de produção

KPI - Indicadores Chaves de Performance.

MTBF - Mean Time Between Failures, traduzido como Tempo Médio entre Falhas.

MTTR - Mean Time to Repair, traduzido como Tempo Médio para Reparo

NBR 5462/1994 – Norma brasileira que aborda sobre “Confiabilidade e Manutenibilidade”.

OEE - Overall Equipment Effectiveness, traduzido como Eficiência Global do Equipamento.

OPL - Lição de um Ponto.

PCM – Planejamento e controle da manutenção

PDCA - P (*Plan* – Planejar), D (*Do*- Executar), C (*Check* – Verificar) e A (*Act* – Agir), método que permite o controle do processo.

SDCA - Standard-DO-Check-Action

SMP - Procedimento Padrão de Manutenção.

## LISTA DE ANEXOS

Figura 1	- Exemplo de formulário para análise de causa raiz.....	71
Figura 2	- Passo a passo de preenchimento do formulário de análise de causa raiz.....	72
Figura 3	- Formulário de Procedimento Padrão de Manutenção.....	73
Figura 4	- Formulário OPL – Lição de Um Ponto.....	74
Figura 5	- Mapa de Quebras.....	75
Figura 6	- Kaizen para redução do tempo de limpeza do chuveiro da têmpera.....	76
Figura 7	- Kaizen para confeccionar e instalar proteção para corrente de transmissão dos rolos.....	76
Figura 8	- Kaizen para mudança no comando elétrico do equipamento.....	77
Figura 9	- Desenvolvimento e implantação do plano de ação para execução do projeto.....	78
Figura 10	- Eliminação da deterioração acelerada nos componentes.....	79
Figura 11	- Eliminação da deterioração acelerada nos componentes.....	79
Figura 12	- Eliminação da deterioração acelerada nos componentes.....	80
Figura 13	- Decomposição do equipamento em componentes e classificação quanto a criticidade.....	81
Figura 14	- Mapa de lubrificação.....	82
Figura 15	- Sistemática para atendimento de manutenção corretiva (não planejada).....	83
Figura 16	- Exemplo de SMP – Procedimento Padrão de manutenção.....	84
Figura 17	- Exemplo de OPL – Lição de Um Ponto.....	86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>1.1</b>	<b>Apresentação.....</b>	<b>01</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>02</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>02</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivos Gerais.....</b>	<b>02</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>02</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>04</b>
<b>2.1</b>	<b>A origem e a evolução dos métodos de manutenção.....</b>	<b>04</b>
<b>2.2</b>	<b>Manutenção: uma visão geral.....</b>	<b>05</b>
<b>2.3</b>	<b>Tipos e métodos de manutenção.....</b>	<b>06</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Manutenção corretiva.....</b>	<b>07</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Manutenção preventiva.....</b>	<b>07</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Manutenção preditiva.....</b>	<b>08</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Manutenção Produtiva Total .....</b>	<b>08</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Manutenção de melhoria.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.6</b>	<b>Escolha do método de manutenção.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4</b>	<b>A Relação entre manutenção e produção.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5</b>	<b>Planejamento e controle da manutenção.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Como ocorrem as falhas e as efetivas tratativas dos equipamentos .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.1.1</b>	<b>Definição de falhas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.1.2</b>	<b>Modelo de ocorrência de falhas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.1.3</b>	<b>Reincidência das falhas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.1.4</b>	<b>Tratamento de falhas.....</b>	<b>18</b>

2.5.2	Planejamento de manutenção.....	23
2.5.3	Padronização da manutenção.....	25
2.5.4	Gerenciamento do estoque de peças de reposição.....	30
2.5.5	Orçamento e custos da manutenção.....	31
2.6	Índices da manutenção.....	33
2.7	Práticas e metodologias de manutenção para melhoria.....	35
2.7.1	Programa 5S.....	35
2.7.2	PDCA – Método de controle de processos.....	37
3	MÉTODOS.....	42
3.1	Materiais.....	42
3.2	Métodos.....	42
3.2.1	Execução do plano de ação - Restauração e eliminação da degradação acelerada da máquina.....	53
3.2.2	Verificação dos resultados.....	55
3.2.3	Padronização.....	57
4	RESULTADOS.....	60
5	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
6	CONCLUSÃO.....	65
7	REFERÊNCIAS.....	66
	ANEXOS.....	71
	Anexo I.....	71
	Anexo II.....	73
	Anexo III.....	75
	Anexo IV.....	76
	Anexo V.....	78
	Anexo VI.....	79

<b>Anexo VII.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo VIII.....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo IX.....</b>	<b>84</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

Nos últimos anos, as atividades de manutenção alcançaram um nível de interesse para as empresas de manufatura, especialmente após as interações entre diferentes atividades de produção se tornarem mais complexas e cada vez mais extensas (SEZER *et al.*, 2018).

Em paralelo a isso, a gestão em manutenção tem se concentrado na manutenção como uma contribuição para a valorização do produto e, conseqüentemente, do negócio (HOLGADO *et al.*, 2015).

A perspectiva emergente era que a manutenção não fosse vista apenas como um nível operacional e técnico, representando uma função não produtiva. A manutenção vai além e, representa uma visão estratégica em longo prazo. Esse papel estratégico pode, portanto, ter como objetivo geral da manutenção avaliar a eficácia de todo o processo (AL-TURKI., 2011).

A concorrência cada vez maior no mercado tem colocado enormes pressões nas organizações para aprimorar continuamente a qualidade dos produtos e serviços para crescimento organizacional, a fim de melhorar sua posição e reputação. Isso exige um desempenho organizacional com foco na qualidade e excelência, otimização de custos, aumento da produtividade, flexibilidade, segurança e garantir entregas atempadas. Assim, a economia orientada para o mercado justifica a organizações a adotar as práticas, programas ou métodos que facilitam o contínuo melhoria na organização (PATRA *et al.*, 2005).

Hoje, a manutenção é claramente vista como uma fonte de valor agregado, com o papel fundamental para impulsionar a melhoria do desempenho. A aplicação de métodos modernos de manutenção para melhoria associada a um planejamento efetivo direciona e alinha o setor de manutenção para a redução das perdas e número de falhas em máquinas, transformando-as em oportunidade de ganho (SEZER *et al.*, 2018).

O emprego de ferramentas de gestão no planejamento e gerenciamento da manutenção destes sistemas, além de reduzir o número e ocorrências de falhas, também diminuem custos com as operações, aplicando planos de ação que direcionam o caminho do operador. Ao implementar um sistema de gestão de manutenção, é eficiente o emprego de uma técnica e um roteiro para que consiga atingir o resultado desejado. Em

muitos casos, as indústrias optam por ferramentas com características do ciclo PDCA - Plan, Do, Check, Act (JAQIN *et al.*, 2020).

O ciclo PDCA é uma das principais ferramentas de qualidade e, pode ser aplicada em diversos segmentos da indústria (ZÓIA., 2018). Dessa forma, a aplicação do PDCA para a redução de custos com a manutenção pode ser uma alternativa em potencial para as companhias no mercado automotivo.

## **1.2 Justificativa**

Pretende-se desenvolver um estudo de caso numa empresa de fabricação de amortecedores que está localizada em Lavras - Minas Gerais. Devido ao aquecimento atual do mercado consumidor de automóveis no Brasil, faz-se necessário a aplicação de métodos de manutenção para melhoria na indústria de autopeças, visando reduzir as perdas geradas pela falta de condições básicas do equipamento através da utilização plena de manutenção profissional.

A utilização e prática dessas metodologias modernas de manutenção serão essenciais para atingir o cenário ideal e o setor alcançar os padrões de excelência de manutenção profissional.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivos Gerais**

Este trabalho tem como objetivo geral estruturar o sistema de manutenção em uma empresa do segmento automotivo e aplicar o método PDCA, tornando-se uma referência para planos de manutenção que garantam que os equipamentos atinjam níveis de desempenho e disponibilidade de Classe Mundial.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Enfatizar a aplicação da manutenção profissional;
- Maximizar a confiabilidade do equipamento, com a abordagem de baixo custo;
- Introduzir a cultura de “Quebra Zero”;

- Desenvolver as competências do pessoal da manutenção e dos operadores;
- Elaborar um plano de manutenção para minimizar o tempo de parada dos equipamentos baseando na metodologia PDCA e difundir como filosofia de trabalho para a planta.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 A origem e a evolução dos métodos de manutenção

O desenvolvimento da manutenção na história acompanha o desenvolvimento industrial da humanidade. A necessidade de se adequar e utilizar novas tecnologias estimulou a evolução da indústria, tornando-a mais apta no processo produtivo e na competitividade empresarial (ZONTA *et al*, 2020). Dado que o crescimento da complexidade das interações entre diferentes atividades de produção estende cada vez mais os ecossistemas de manufatura, a manutenção atingiu importância crítica para as indústrias. (SEZER *et al*, 2018).

Os primeiros registros de manutenção foram no século X, pelo povo Viking. Os vikings utilizam navios para navegar do Oriente Próximo até o extremo ocidente e, para reparar suas embarcações e manter em condições para as guerras e os mares tempestuosos do Norte, os vikings realizavam manutenções (TAKAHASHI, 1993).

Com a Revolução Industrial, ocorreu uma progressiva evolução; porém, ainda era tratada com pouca relevância. A indústria era pouco mecanizada e a manutenção era executada pelos próprios operadores. Ao final do século XIX, com a mecanização das indústrias, houve a necessidade dos primeiros reparos. Em 1914, foi instituída por Henry Ford a implantação da produção em série. As fábricas passaram a estabelecer programas de produção e, conseqüentemente, foi inevitável a criação de equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operantes no menor tempo possível. O propósito foi a realização da manutenção corretiva (TAVARES, 2005).

Essa situação perdurou até o início da Segunda Guerra Mundial. Nesse período, a demanda por produtos de todas as categorias aumentou, enquanto que a mão de obra industrial diminuiu consideravelmente. As intervenções corretivas, aquelas que ocorrem após a falha ou quebra do ativo, não eram mais satisfatórias. Desse modo, a manutenção preventiva objetivava não só para corrigir as falhas, mas também evitá-las. A partir deste ponto, a manutenção se tornou tão importante quanto à operação (PINTO; XAVIER, 2007).

No pós-guerra, observou-se que o tempo gasto para diagnosticar as falhas era superior ao tempo de reparo, o que ocasionou na elevação dos custos com manutenção em relação aos outros custos operacionais. Logo, percebeu-se a necessidade da criação da Engenharia de Manutenção, setor composto por um grupo de especialistas

responsáveis pelo Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) e análise de causas e efeitos das avarias. Essa fase foi marcada pelo conceito de manutenção preditiva (PINTO; XAVIER, 2007).

O crescimento da mecanização e da automação expôs que a disponibilidade e a confiabilidade se tornaram pontos cruciais em setores completamente distintos, como na saúde e processamento de dados. Dessa forma, o setor de manutenção passa a desempenhar um papel importante e fundamental equivalente ao praticado pela produção. A manutenção mais organizada vinculada ao sistema de Planejamento e Controle de Manutenção colabora com as decisões de produção e negócio. A garantia da disponibilidade do maquinário e qualidade dos produtos impacta direta e indiretamente nos resultados da empresa (JAQIN *et al*, 2020).

## **2.2 Manutenção: Uma visão geral**

A diversificação do mercado conduz os clientes a buscarem mais sofisticação e qualidade nos produtos. A qualidade, por sua vez, é o elemento fundamental de muitas empresas para se destacarem dentre os seus concorrentes. Logo, é de suma importância manter a máquina trabalhando de forma efetiva e em condições ideais nas operações de produção (KURNIAT *et al*, 2015).

Nesse caso, a manutenção influencia significativamente na eficiência da fabricação de manufaturas, uma vez que meios de produção consistentes são fornecidos por equipamentos confiáveis (BEN-DAYA, 2009).

A manutenção abrange medidas necessárias para a conservação ou a permanência de algo; ou ainda, os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas (XENOS, 2004). De forma geral, o seu conceito inclui todas as ações técnicas e administrativas, operações de controle e monitoramento, visando manter ou restaurar um elemento em um estado circunstanciado (NBR-5462, 1994).

O termo manutenção comumente é interligado ao conserto ou reparo de algum equipamento ou maquinário quebrado. Isso atesta que as atividades que envolvem a manutenção ainda não são bem compreendidas. Com o propósito de expandir a disponibilidade dos equipamentos, a manutenção evita as falhas antes mesmo que elas ocorram (MILEHAM *et al*, 1997). Essas medidas incluem inspeção, reparo, detecção e investigação da matriz de causa. Dessa forma, garante a alimentação adequada de

qualquer máquina e, previne a deterioração originada de seu desgaste natural ou o uso em condições inadequadas do maquinário (XENOS, 2004).

A produtividade de manutenção tem uma influência relevante na economia e no desempenho da produção em empresas, dado que há correlação com importantes tarefas que operam com inspeções, limpeza programada, ajustes, reparos e substituições de máquinas a fim de garantir confiabilidade funcional e qualidade do produto final (RATNAYAKE; ANTOSZ, 2017).

O aumento da taxa de rejeição caracteriza frequentemente a qualidade reduzida do produto e, portanto, a performance da máquina. O produto rejeitado pode apresentar a deterioração por consequência do processo. Logo, a manutenção não pode ser segregada da produção como um todo. Ademais, a manutenção é crucial para a restauração de equipamentos ou máquinas de forma efetiva. O melhor equipamento não funcionará de forma satisfatória se não for cuidado. A ISO 9000 afirma que a manutenção dos processos e equipamentos deve ser realizada de forma planejada, garantindo o desempenho contínuo (KURNIATI *et al*, 2015).

Com a crescente conscientização de que a manutenção gera valor para o processo de produção, a análise da literatura aponta que a implementação de soluções de manutenção preventiva na indústria é frequentemente discutida; ou o desenvolvimento de métodos e ferramentas para apoiar a manutenção (SEZER *et al*, 2018).

Neste contexto, deve-se considerar não simplesmente manter ou reparar as condições físicas do equipamento, mas também se faz necessário preservar as suas capacidades funcionais e introduzir melhorias, caso necessário. Isso garante a qualidade do produto acabado, segurança do meio ambiente e o aumento da produtividade (XENOS, 2004).

### **2.3 Tipos e métodos de manutenção**

Os tipos de manutenção são as formas de conduzir as intervenções nos instrumentos de produção. Há diferentes métodos de manutenção aplicáveis para identificar os efeitos das falhas e cada um deles é indispensável na gestão de uma indústria (LEE *et al.*, 2020). A seguir, serão discutidos quatro tipos de manutenção, são elas: manutenção corretiva, preventiva, preditiva, produtiva total e de melhoria.

### 2.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é a estratégia mais simples dentre as outras, uma vez que as ações são realizadas como consequência de uma falha. Levando em consideração somente ao custo em curto prazo, a manutenção corretiva é uma alternativa mais barata. No entanto, pode causar grandes prejuízos por estar associada a imprevistos e interrupção da produção. Portanto, torna-se economicamente inviável em casos de paradas muito longas (LEE *et al.*, 2020).

Mesmo que em certos momentos seja uma escolha mais vantajosa, não se pode permitir que se torne rotineiro ocorrências de falhas. Identificar a causa raiz da falha e atuar evitando reincidência é o método mais efetivo (XENOS, 2004).

### 2.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva se caracteriza por evitar ou eliminar a ocorrência de falhas fornecendo inspeção, avaliação e prevenção, a fim de prever quando deve ser realizada a manutenção. A vida útil das máquinas e ferramentas pode ser avaliada por meio do histórico de produção ou de experimentos. A realização de ações periódicas com base no comportamento dos equipamentos é uma implementação prática de manutenção preventiva. (LEE *et al.*, 2020).

Dessa forma, a manutenção das instalações em intervalos pré-planejados deve reduzir ao máximo o surgimento de falhas (SLACK *et al.*, 2008). Além disso, prevenir a inatividade inesperada encurta o intervalo de tempo para a efetuar a manutenção preventiva. Análise de causa raiz juntamente com a manutenção preventiva abrangente são cruciais para o andamento de processos críticos em relação aos equipamentos (ALLEN, 2015).

A manutenção preventiva se divide em manutenção de rotina, periódica e preditiva. A manutenção de rotina é realizada em intervalos de tempo predeterminados e inclui intervenções leves. A manutenção periódica implica em um processo programado de acordo com o histórico avaliado. A manutenção preditiva é uma operação preventiva baseada na condição do equipamento e, merece ser mais detalhada no tópico 2.3.3 (XENOS, 2004).

As vantagens da manutenção preventiva é manter continuamente o funcionamento das máquinas, facilidade de conclusão dos programas de produção e

previsibilidade de consumo de materiais. Porém, os materiais que são trocados antes do seu limite de vida útil podem aumentar o custo. Esse processo exige um programa bem estruturado e uma equipe de técnicos capacitados (PINTO; XAVIER, 2005). Ainda assim, evitar paradas de produção inesperadas torna a manutenção preventiva mais viável do que a manutenção corretiva, levando em consideração ao custo total e ao domínio das paradas dos equipamentos (XENOS, 2004).

### **2.3.3 Manutenção preditiva**

Existem falhas que não estão relacionadas com o envelhecimento da máquina e seus componentes, portanto, os meios tradicionais de manutenção são ineficientes. Nessas situações, buscam-se ações preventivas conforme as condições do equipamento. O conjunto dessas ações preventivas baseadas na condição caracteriza a manutenção preditiva (XENOS, 2004).

Seu conceito visa descobrir a origem das falhas e como elas influenciam os componentes de um sistema, analisando o desempenho dos equipamentos. Por conseguinte, define o instante correto da intervenção e evita operações de manutenção desnecessárias. Todo esse processo diminui significativamente as quebras desnecessárias e estende a vida útil da máquina (OTANI; MACHADO, 2008).

Embora a manutenção preventiva esteja associada à preditiva, a forma de atuação da equipe de trabalho, os treinamentos e capacitações diferem os dois conceitos. O embasamento no comportamento dos equipamentos por meio de dados estatísticos e análises de indícios prevê a manutenção precedentemente à quebra (SAULO, 2018).

A manutenção preditiva aperfeiçoa a troca ou reforma dos componentes e aumenta o intervalo de manutenção. Essa prática deve integrar ao planejamento de manutenção preventiva. Contudo, devido a algumas limitações tecnológicas, a manutenção preditiva ainda não é possível ser adotada para todo tipo de componente (XENOS, 2004).

### **2.3.4 Manutenção produtiva total**

Inicialmente, a manutenção produtiva total deve ser encarada como uma filosofia de gestão empresarial que objetiva a total disponibilidade do equipamento para a produção. Essa filosofia necessita ser seguida por todos os segmentos da empresa

(NOGUEIRA *et al.*, 2012).

A atribuição estratégica da manutenção ganhou força após a Segunda Guerra Mundial com a Total Productive Maintenance (TPM), no Japão. As empresas japonesas tinham a reputação de fabricar produtos com baixa qualidade. Com o propósito de reverter o quadro econômico no pós-guerra, os japoneses buscaram alternativas na excelência da qualidade e, implementaram a TPM. Seus primeiros registros foram desempenhados pelo grupo Toyota. No Brasil, somente em 1986 as práticas da TPM ocorreram (NOGUEIRA *et al.*, 2012).

O conceito TPM une o método de manutenção a um sistema de gestão empresarial integral. Para que sua implementação seja bem-sucedida, as organizações exigem apoio e compromisso inequívoco de todos os funcionários da empresa (MUNIR *et al.*, 2019).

Os objetivos principais da TPM são maximizar a confiabilidade dos equipamentos, eliminar quebras e melhorar a relação de disponibilidade das máquinas. A efetivação da TPM é sustentada em oito pilares que podem variar conforme o autor: educação e treinamento, manutenção autônoma, manutenção planejada, melhorias específicas, segurança e meio ambiente, manutenção da qualidade, controle inicial e gestão administrativa. Na base da TPM se encontram as pessoas de todos os níveis hierárquicos da empresa. Em seguida, a filosofia 5S, que é necessária em qualquer processo de continuidade (SHINDE, 2018).

Verifica-se, portanto, que a TPM compreende um sistema integrado que tem o envolvimento dos operários nos trabalhos de prevenção e correção dos defeitos em seus equipamentos e, deve proporcionar lucros para a empresa (JIPM, 2011).

### **2.3.5 Manutenção de melhoria**

A manutenção de melhoria está presente nas inspeções de manutenção preventiva e corretiva. Outras ações de reparo praticadas inclui facilitar a inspeção e o reparo, eliminar fontes de contaminação, melhoria dos sistemas de lubrificação e facilitar acesso aos componentes (TAKAHASHI, OSADA 1993).

A ideia de kaizen se refere as práticas de melhoria continua. Nesse contexto, a manutenção é empregada para aprimorar as máquinas além das suas especificações originais de forma gradativa e constante. Não basta restabelecer as máquinas em suas condições padrão, é preciso otimizar e alterar seu projeto inicial e operações (XENOS,

2004).

### **2.3.6 Escolha do método de manutenção**

Os métodos de manutenção apresentam pontos positivos e negativos, desde o mais simples ao mais sofisticado. O método ideal de manutenção é aquele que apresenta melhor relação custo/ benefício. Para definir o melhor modelo para cada equipamento ou cenário, é necessário avaliar fatores de segurança, ambiente, condições de operação e de entrega, confiabilidade e os riscos para cada um deles. Há casos em que são aplicados dois ou mais métodos em conjunto devido aos custos e aspectos econômicos (DARESTANI *et al.*, 2020).

Devem ser consideradas as prioridades para garantir o sucesso e o desenvolvimento da empresa. Os fundamentos de pesquisa e a posição da estratégia de manutenção em empresas de manufatura formam o alicerce para a realização dos objetivos a longo prazo e do crescimento estável da companhia. Dada a priorização obtida a partir da comparação dos principais parâmetros que afetam a escolha de estratégia de manutenção, o critério com maior prioridade nas dimensões de custo e valor agregado deve ser utilizado na implementação de estratégias de manutenção. (DARESTANI *et al.*, 2020).

### **2.4 A relação entre manutenção e produção**

A crescente competição global desenvolveu um ambiente de manufatura que resulta no produto configurado em melhores padrões de qualidade e custos, com *lead time* reduzido. De modo paralelo a esse progresso, a fabricação deve ser planejada para enfrentar novos desafios e se manter no mercado (NALLUSAMY, 2016).

A manutenção tem sido vista como uma função de suporte não produtiva, uma vez que não é diretamente rentável. Porém, para uma empresa entregar um produto de qualidade aos clientes, suas máquinas precisam trabalhar de forma precisa e eficiente. Em um ambiente de produção, o rendimento normalmente é definido pela porcentagem de produtos que emergem do processo. A incerteza do rendimento é amplamente estudada em problemas de produção e manutenção. O objetivo de toda indústria é a lucratividade. O emprego da manutenção eficaz maximiza a disponibilidade dos equipamentos, reduz paradas desnecessárias e favorece o alcance desse propósito (EKIN,

2018).

A ausência de um sistema efetivo de manutenção economicamente favorável interfere na confiabilidade do equipamento e conduz a uma baixa disponibilidade e aumento do tempo de inatividade. Como consequência, há restrição da capacidade da produção da empresa (NALLUSAMY, 2016).

Os indicadores de baixo desempenho podem ser fruto de más condições da máquina e, muitas vezes, desmotivação dos funcionários. A eficácia operacional de uma empresa é, em sua maioria, influenciada negativamente pelos custos com horas extras e menor disponibilidade de planta na indústria. Sendo assim, torna-se importante o projeto eficaz de manutenção para a planta e suas máquinas.

Comumente, em muitas indústrias de peças automotivas, é possível identificar altas taxas de desvio da qualidade e paradas consequente à mão de obra não qualificada e treinada. Logo, é viável o monitoramento adequado da produção para evitar rejeições de peças e quebra ou o tempo de inatividade (NALLUSAMY, 2016).

As empresas têm buscado referências no passado para tentar unir o departamento de produção ao bom funcionamento dos equipamentos. Essa aproximação objetiva um fortalecimento da manutenção eficiente por meio da redução das falhas e tempo de manutenção, otimizando a produtividade. Modelos com taxas de rendimento interligadas a produção podem ser aplicáveis em sistemas com equipamentos de vida útil longa, resultando em alto rendimento e baixa periodicidade de manutenção (XENOS, 2004).

O rendimento da produção é discutido pela literatura por meio de modelos que consideram o número de produtos de trabalho e a manutenção. A presença do operador da máquina durante a execução da manutenção facilita o processo de compreensão do problema devido ao seu conhecimento e contado direto com o equipamento. Adicionalmente, a manutenção simultânea e a tomada de decisões de produção mostraram-se mais economicamente viável em comparação com as abordagens sequenciais tradicionais (EKIN, 2018).

Cada vez mais se torna comum nas empresas a manutenção e a produção atuarem em paralelo. A produção se responsabiliza pelo produto final enquanto a manutenção se responsabiliza pela disponibilidade e capacidade produtiva da empresa. A gestão da produção passa a incentivar o interesse dos operadores pelo bom desempenho e funcionamento das máquinas por meio de atividades rotineiras de manutenção, como limpeza, lubrificação e inspeção diária (XENOS, 2004).

A divisão básica de trabalho entre os departamentos de manutenção e produção é apontada pela Tabela 1. Tal modelo exemplifica as atividades inerentes à produção e as de responsabilidade da manutenção. O principal resultado desta divisão de trabalho, segundo Xenos, foi o aumento da eficiência das ações preventivas (XENOS, 2004).

Tabela 1 – Divisão básica de trabalho entre os departamentos de Manutenção e Produção.

<b>Divisão Básica de Trabalho entre os Departamentos de Manutenção e de Produção</b>		
<b>Item</b>	<b>Departamento de produção</b>	<b>Departamento de manutenção</b>
<b>Inspeção</b>	Verificação externa diária dos equipamentos em funcionamento; Verificação detalhada das partes que afetam a qualidade, rendimento e poluição ambiental; Verificação de ferramentas e dispositivos relacionados com a produção.	Verificação detalhada dos equipamentos (inclui medições); Inspeção detalhada das peças de reposição (inclui inspeção de recebimento); Verificação de itens regulamentados por legislação; Planejamento e registro das verificações detalhadas.
<b>Reforma (não está relacionado a falha)</b>	Pequenos reparos e ajustes fáceis; Ajustes que afetam a qualidade; Troca de peças que afetam a qualidade; Controle de troca das peças que afetam a qualidade; Avaliação das melhorias dos equipamentos (melhoras que afetam somente a produção).	Serviços de grandes reparos, reparos periódicos ou difíceis de executar; Manutenção e melhoras da capacidade dos equipamentos; Controle das peças de reposição dos equipamentos; Planejamento e registro dos reparos.
<b>Limpeza</b>	Limpeza geral externa dos equipamentos (limpeza interna quando não exigir desmontagem); Limpeza de filtros;	Limpeza de partes internas que exigem desmontagem dos equipamentos; Limpeza associada aos serviços de manutenção.
<b>Lubrificação</b>	Lubrificação diária e periódica; Troca de lubrificantes; Participa da retirada de amostras de lubrificantes para análise; Elabora e controla a planilha de controle de lubrificação.	Reparo em dispositivos de lubrificação (exclui ferramentas de lubrificação); Reposição ou troca de lubrificantes utilizados nos reparos; Verificação do consumo de lubrificantes; Amostragem de lubrificantes para análise e avaliação de contramedidas.
<b>Ocorrência de falhas</b>	Relato da ocorrência de falhas para a manutenção; Contramedidas preliminares (início da remoção do sintoma); Avaliação inicial das causas da falha sob o ponto de vista da operação.	Eliminação da falha (remoção total do sintoma); Elaboração do relatório de falha; Projeto de contramedidas para a reincidência de falha. Implementação e avaliação das contramedidas.
<b>Peças, instrumentos e materiais</b>	Registros dos estoques e controle de reposição de peças, materiais e instrumentos relativos à produção.	Registros dos estoques e controle de reposição de peças, materiais e instrumentos relativos à manutenção.

Fonte: Adaptado de Xenos, Harilaus, G. (2004)

## 2.5 Planejamento e controle da manutenção

Como já discutido, o gerenciamento de sistemas de manufatura tenta melhorar a eficiência dos processos de produção. Diferentes fatores afetam a produtividade e a eficiência dos processos e, para atingir o objetivo, diferentes políticas podem ser aplicadas para a mesma finalidade. Os aspectos mais relevantes que afetam a produtividade dos processos de produção englobam a produção/ controle de estoque, planejamento de manutenção e controle de qualidade (LOPES, 2018).

Por anos, a manutenção, a produção e o controle de qualidade foram analisados separadamente, mas a inter-relação desses fatores é de extrema importância para adotar ações precisas para a gestão de sistemas de manufatura (RASAY; MEHRJERDI, 2017).

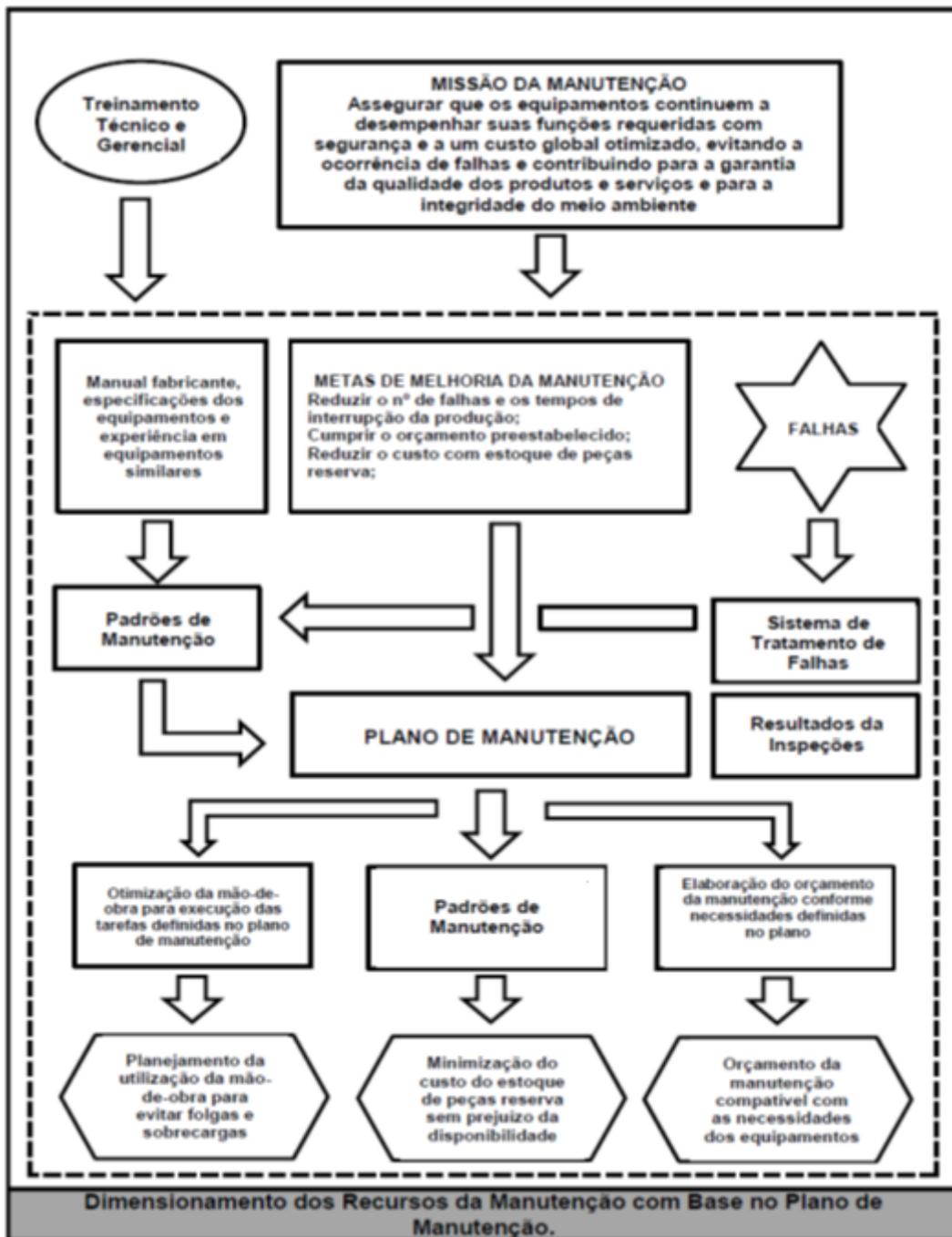
A elaboração e cumprimento do plano de manutenção permite a empresa atingir seus objetivos de lucratividade e, adicionalmente, que as máquinas não apresentem falhas e o produto mantenha uma boa qualidade (TAVARES, 1999).

Para consolidar o planejamento e o controle da manutenção no meio operacional, o conhecimento dos modelos aplicáveis torna-se imprescindível. Dessa forma, a gestão da manutenção deve ter ampla visão e atuação em suas organizações. O registro dos equipamentos contendo planos de manutenção e lubrificação e mão de obra especializada maximiza a disponibilidade de equipamentos, bem como a rentabilidade da empresa (BARBOSA; ANDRADE, 2019).

A elaboração e contínua revisão do plano de manutenção resulta no direcionamento adequado dos recursos de manutenção de modo que as necessidades de manutenção dos equipamentos sejam atendidas (XENOS, 2004).

A Figura 1 apresenta resumidamente os principais elementos de um sistema de gerenciamento da manutenção.

Figura 1 – Principais elementos de um sistema de gerenciamento da manutenção.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

O plano de manutenção é o ponto de partida para o dimensionamento dos recursos de manutenção e para a elaboração do orçamento de manutenção. O planejamento eleva a importância de realizar um controle de qualidade para aumentar o desempenho da planta e evitar o custo indireto de manutenção. Logo, deve ser uma das principais atividades do departamento de manutenção (DUFFUAA; MOHAMMED, 2020).

### **2.5.1 Definição de falhas**

A análise de falhas é uma ação planejada que tem como finalidade prevenir e avaliar as não conformidades dos processos. Portanto, ela visa identificar os desvios do planejamento, compreendê-los para então tratá-los. O entendimento dos mecanismos por trás das falhas é imprescindível para que a ação seja concreta a fim de prevenir ocorrência das falhas (XENOS, 2004).

A NBR 5462-1994 define os termos relacionados com a confiabilidade e manutenibilidade de equipamentos. O primeiro conceito de falha, segundo a norma, é descrito pela incapacidade de um componente em desempenhar uma função requerida (NBR-5462, 1994).

A classificação da falha, segundo Xenos, é a perda parcial ou total do desempenho do equipamento e de suas funções. Um item pode desempenhar diferentes funções, e sempre que acontece algo que interrompe qualquer função, declara-se que esse evento se trata de uma falha. (XENOS, 2004).

#### **2.5.1.1 Causas das falhas e como elas ocorrem**

As falhas ocorrem por razões distintas, como projeto inadequado, falta de resistência e uso incorreto do equipamento ou ausência de manutenção (Slack, 2008), falta ou excesso de lubrificação, contaminação, vazamentos e oscilações de temperatura e pressão (TAKAHASHI; OSADA 1993).

Adicionalmente, o equipamento, durante uma operação, fica sujeito a esforços, conduzindo a deterioração e diminuindo da resistência, resultando na falha (XENOS, 2004).

A lubrificação possui um papel vital em vários equipamentos e na manutenção preventiva, pois evita o desgaste por atrito, superaquecimento, vibrações e ruídos (TAKAHASHI; OSADA 1993).

A contaminação por sujeira, além de prejudicial ao funcionamento do equipamento pode afetar a qualidade do produto. Essa contaminação aumenta o atrito ocasionando a falha. Como a sujeira oculta os sinais de falha, é necessário manter as máquinas sempre limpas (TAKAHASHI; OSADA 1993).

Por último, falhas decorrentes as folgas devido ao excesso de vibração, má fixação ou impactos, por exemplo, podem prevenidas adotando medidas de controle de

vibrações (TAKAHASHI; OSADA 1993).

### **2.5.1.2 Modelos de ocorrência das falhas**

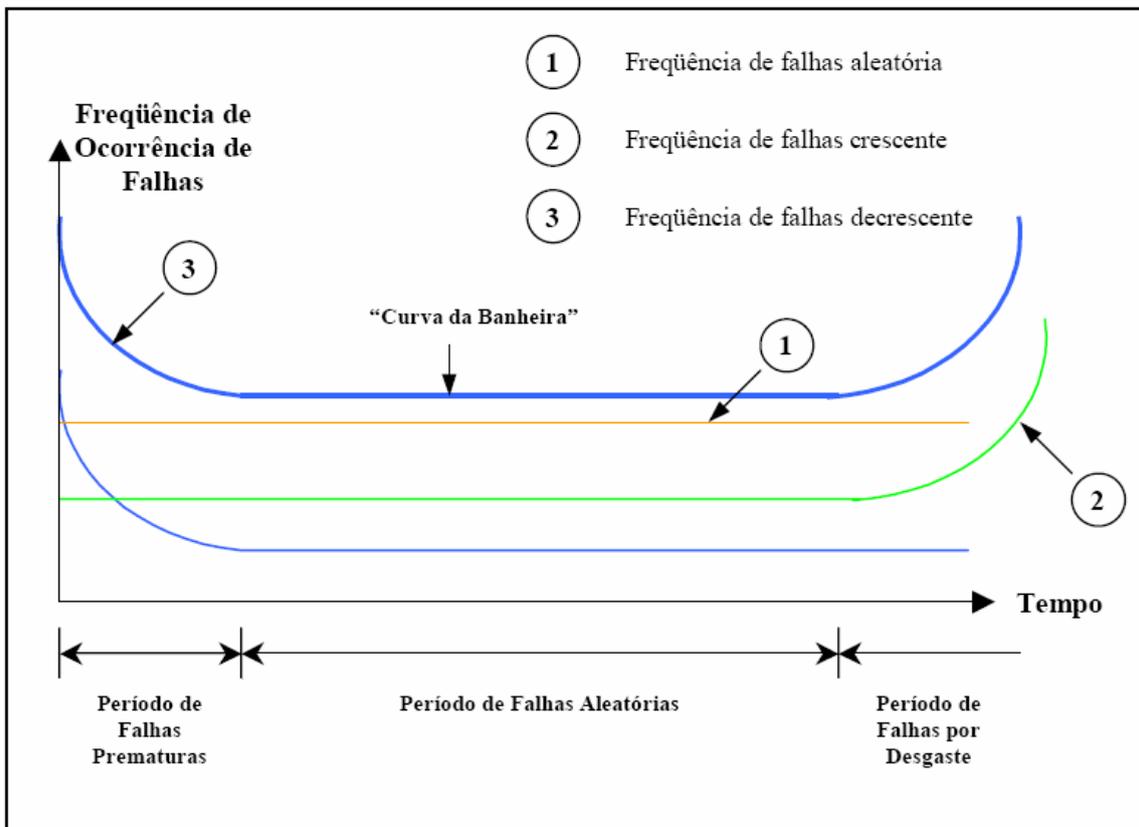
O processo natural de falha de um componente/sistema mecânico está associado ao ciclo de vida da máquina, especificamente aos efeitos do desgaste. Muitas vezes, o envelhecimento aumentado é seguido pela degradação do componente. As consequências da redução do desempenho cria um impacto econômico (AHMAD *et al.*, 2012).

Nas indústrias manufatureiras, as falhas da máquina de produção podem criar muitos inconvenientes, como a inatividade da máquina, baixa disponibilidade, insatisfação do cliente, aumento do tempo de manutenção e custos de produção, menor qualidade do produto e prazo de entrega (AHMAD *et al.*, 2012).

O processo de tomada de decisão para a melhoria de um componente ou sistema se inicia com a análise das falhas. Para o componente/ sistema em fase operacional, essa análise se baseia nos dados da falha em questão e, são úteis para identificar, classificar e calcular a criticidade das falhas físicas e funcionais (AHMAD *et al.*, 2012).

A combinação dos modelos de falhas exemplificada por Xenos dá origem a um modelo de falhas denominados curva da banheira, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Combinação dos modelos de falhas.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

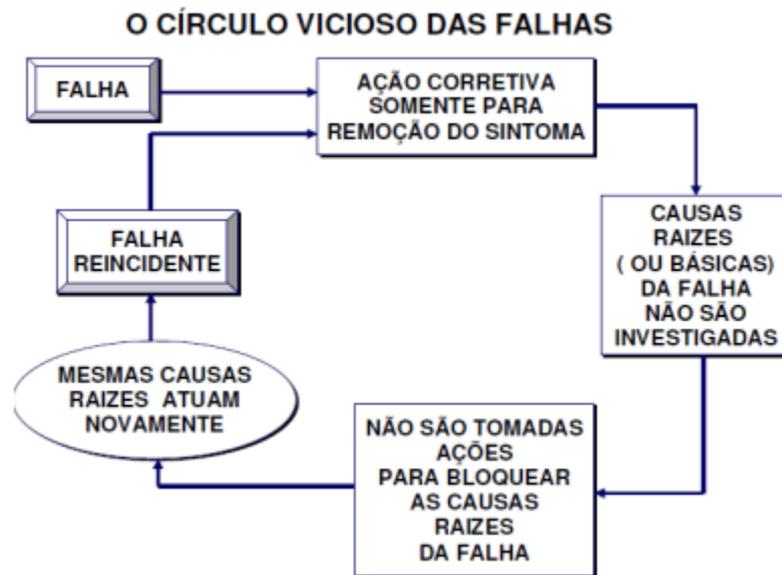
As falhas decrescentes, apontada pelo número 3, são prematuras e causadas por erros de projetos, peças defeituosas ou uso inadequado. As falhas constantes ou aleatórias, número 1, referem-se ao período de estabilidade da máquina e, podem ser causadas por esforços e erro de manutenção ou a falta dela. Por fim, a etapa de desgaste ou falha crescente, número 2, ocorrem quando os componentes estão próximos do fim da vida útil, portanto, a máquina entra em estado de desgaste e fadiga (XENOS, 2004).

### 2.5.1.3 Reincidência das falhas

Toda falha é um evento indesejável que precisa de tratamento apropriado para não ocorrer novamente (XENOS, 2004). A eliminação definitiva de qualquer falha caracteriza o princípio básico da manutenção. Nesse caso, é necessário identificar as causas raízes das falhas evitando sua reincidência (SLACK *et al.*, 2008).

Quando esse princípio não é respeitado e nem aplicado ocorre o “círculo vicioso” da falha, demonstrado na Figura 3:

Figura 3 – Círculo vicioso das falhas.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

A reincidência da falha, quando não é corrigida, acumula e sai do controle. É preciso conciliar as ações corretivas com medidas precisas para evitar as causas fundamentais das falhas. Dessa forma, uma boa manutenção é aquela que se dedica a evitar falhas inesperadas e introduz continuamente melhorias nos equipamentos (XENOS, 2004).

Para romper esse ciclo é necessário empregar a manutenção para recuperar o equipamento e atuar à medida que as falhas vão ocorrendo, evitando a parada abrupta das máquinas (SLACK *et al.*, 2008).

#### 2.5.1.4 Tratamento de falhas

O processo, quando é designado como tratamento de falhas, caracteriza o gerenciamento eficaz de uma falha além da sua recuperação, estabelecendo mecanismos para que ela não aconteça novamente (CAITANO *et al.*, 2009).

As falhas fazem parte do cotidiano das mais variadas empresas, e, ignorá-las, pode ser o ponto chave para o insucesso. É importante estar atento às falhas e, quando uma falha ocorrer é necessário corrigí-la de modo a recuperar a confiabilidade dos clientes perante a empresa. Existe uma relação entre: recuperação de falhas, lealdade de clientes, e entre lealdade e lucratividade. Portanto, as organizações que garantirem o tratamento eficaz de quaisquer problemas ou falha se destacarão no mercado em relação

às empresas concorrentes (CAITANO *et al.*, 2009).

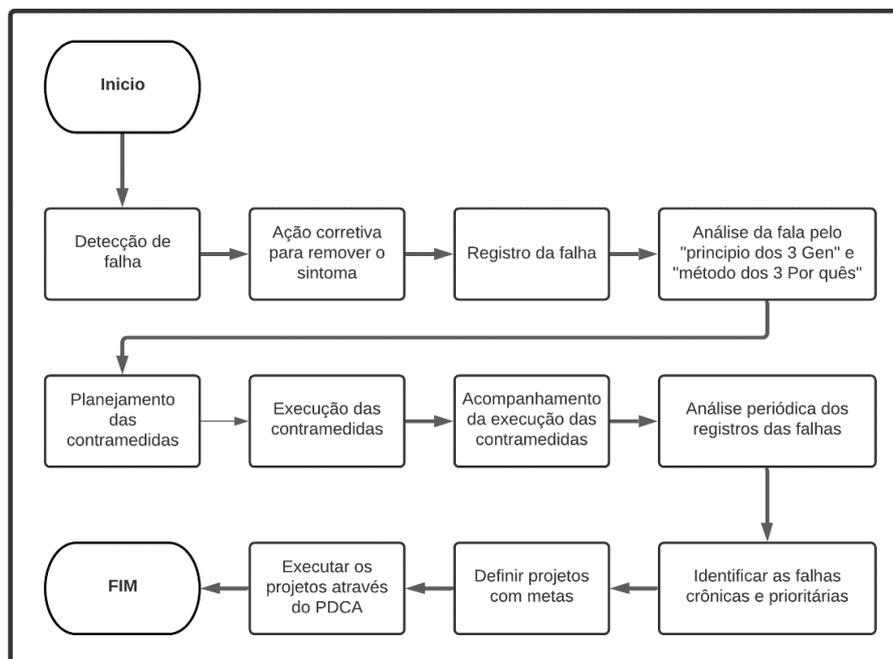
Em muitos casos, a detecção das falhas é um trabalho árduo. Para a maximização da confiabilidade, é recomendado que essas falhas sejam percebidas durante o processo produtivo ou da prestação de serviço para então serem analisadas. A análise de falhas é uma técnica para prevenir as não-conformidades em projetos, processos e produtos (MARTINS; LAUGENI, 2009).

O Anexo I mostra um exemplo de um formato para análise de falhas.

Na parada da produção decorrente de uma falha, é possível agir de forma corretiva ou por bloqueio da causa raiz. A ação corretiva atua e repara a máquina o quanto antes a fim de minimizar a parada da produção. Trata-se de uma ação imediata. A ação de bloqueio da causa raiz caracteriza uma ação planejada que determina as causas da falha e posteriormente bloqueia essas causas, evitando sua reincidência (XENOS, 2004).

Ao se deparar com a falha, a manutenção deve conter procedimentos disponíveis que avaliam a falha para descobrir sua origem. A análise de falhas pode ser feita por meio de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa, e a técnica do PDCA (CAITANO *et al.*, 2009). A Figura 4 representa o sistema de tratamento de falhas:

Figura 4 – Fluxograma de tratamento de falhas.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

A recuperação de falhas deve ser muito bem estudada, para ser planejada

corretamente. A detecção das falhas utiliza os princípios dos sentidos visão, audição, olfato e tato. Identificando a forma de como a empresa se recupera de falhas, a gestão de serviços se beneficia e permite minimizar o efeito sobre os clientes (SLACK *et al.*, 2008).

Para aumentar a confiabilidade dos reparos, deve-se observar e ouvir os relatos dos operadores de produção sobre as falhas. Conhecer a máquina, bem como seus manuais de Procedimentos Operacionais Padrão, POP, evita erros e otimiza o tempo. O uso correto de instrumentos para cada tipo de reparo também influencia na sua confiabilidade (SLACK *et al.*, 2008).

Outra ferramenta para identificar a falha seria conferir a execução da operação conforme esperado e efetuar diagnósticos nas máquinas (CAITANO *et al.*, 2009).

Uma prática comum no Japão é o “Princípio dos 3 GEN: Genga, Genbutsu e Gensho”, que exprime a ideia de ir ao local da ocorrência, observar a máquina e o fenômeno (SLACK *et al.*, 2008).

A identificação das causas fundamentais da falha é um dos procedimentos mais importantes. O aprendizado consiste em descobrir a causa raiz e então eliminá-la de forma que ela não aconteça novamente. Cabe à empresa, um planejamento das ações futuras para evitar a reincidência dos erros (XENOS, 2004).

A Tabela 2 destaca alguns aspectos que devem ser observados na busca das causas fundamentais das falhas.

Tabela 2 – Lista de verificação para busca das causas fundamentais das falhas.

Principais aspectos a serem observados na busca das causas fundamentais das falhas	
Aspectos	Conteúdo da observação
Padronização da Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existem padrões de inspeção? A periodicidade das inspeções e seus critérios de julgamento (valores-padrão) estão definidos?</li> <li>• Existem padrões de reforma dos equipamentos? A periodicidade das reformas está definida?</li> <li>• Existem padrões de troca de peças? A periodicidade de troca e seus critérios de julgamento estão definidos?</li> <li>• Existem procedimentos de inspeção, reforma, troca de peças (manuais de manutenção)?</li> <li>• Existem meios para registrar os resultados reais das inspeções, reformas e troca de peças?</li> </ul>
Cumprimento dos padrões de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As inspeções, regulagens e troca de peças dos equipamentos estão sendo feitas com base nos padrões e de acordo com a periodicidade estabelecida?</li> <li>• As inspeções, regulagens e troca de peças dos equipamentos estão sendo feitas com base nos procedimentos (manuais de manutenção)?</li> <li>• Os resultados reais das inspeções, regulagens e troca de peças estão sendo registrados?</li> </ul>
Condições de operação do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existem procedimentos padrão para operar os equipamentos (manuais de operação)?</li> <li>• Os equipamentos estão sendo operados de acordo com os procedimentos padrão?</li> </ul>
Ambiente de operação dos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O ambiente de operação do equipamento é favorável?</li> <li>• Observar o ambiente de operação dos equipamentos quanto a presença de poeira, água, óleo, eletricidade estática e agentes corrosivos e quanto as condições desfavoráveis de temperatura, umidade e vibração.</li> </ul>
Evidência das peças danificadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As especificações dos equipamentos estão disponíveis? Verificar se existe erros de projeto e de fabricação de peças quanto a resistência dos materiais, tipos de materiais utilizados e dimensionamento. Introduzir melhorias.</li> <li>• Houve erro de operação ou sobrecarga do equipamento, ultrapassando sua capacidade? Revisar os procedimentos padrão de operação. Respeitar a capacidade do equipamento e introduzir melhorias para atender a necessidade de produção quanto ao volume, velocidade e carga.</li> <li>• Houve erro de manutenção durante a inspeção, regulagem e troca de peças dos equipamentos? Revisar padrões de manutenção.</li> </ul>
Outros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Houve erro na compra de peças de reposição (peças fora de especificação)?</li> <li>• As condições de manuseio e armazenamento das peças de reposição são desfavoráveis?</li> <li>• Existem padrões de inspeção de recebimento de peças de reposição?</li> <li>• Houve erro durante a inspeção de recebimento das peças de reposição?</li> <li>• O conhecimento e habilidade do pessoal de manutenção e produção são suficientes?</li> <li>• As condições de trabalho do pessoal de manutenção são adequadas? Verificar se o ambiente de trabalho contribui para erros de manutenção.</li> </ul>

Fonte: Adaptado Xenos, Harilaus, G. (2004)

Durante a investigação, todos os aspectos devem ser levados em consideração. Nenhuma causa exclui a possibilidade de ocorrência de outras. Após a implementação do método de tratamento de falhas, é necessário elaborar um plano de ação para o cumprimento das operações conforme a determinação dos prazos (XENOS, 2004).

A origem de cada falha, frequentemente é decorrente de algum tipo de erro de projeto ou manutenção e operação, ou ainda de instruções erradas. A consequência disso é o aprendizado com as ocorrências das falhas, permitindo efetuar melhorias e procedimentos que evitem sua reincidência. O não acompanhamento das ações conduz a recorrência das falhas. Portanto, deve ser verificado em reuniões periódicas (Slack, 2008).

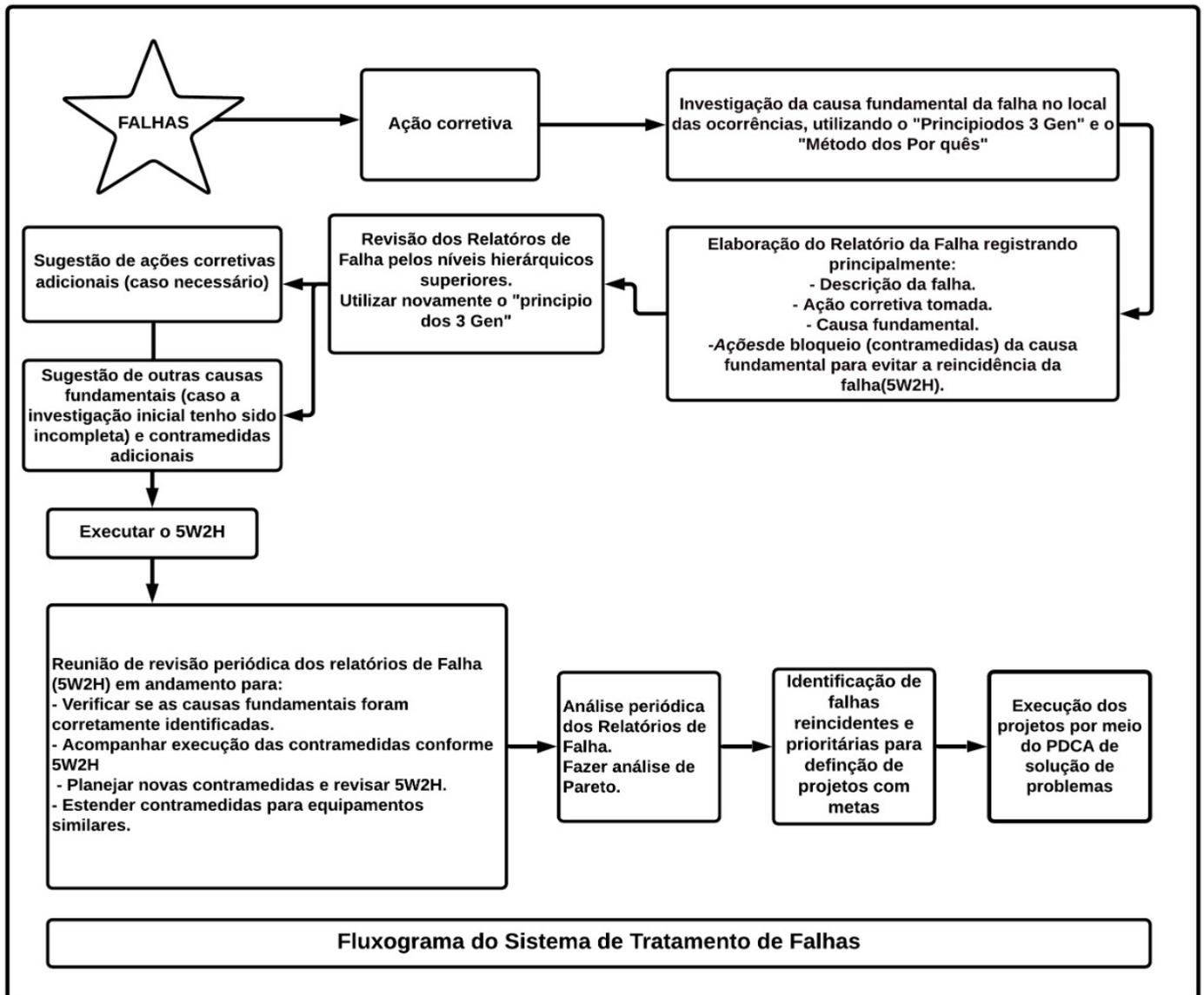
Uma alternativa para a equipe de manutenção, segundo Xenos, é a introdução de melhorias a partir da ocorrência de falhas, conhecido como princípio da melhoria contínua ou “Kaizen” (XENOS, 2004). O termo Kaizen significa modificar para melhor. Em outras palavras, expressa a busca do aperfeiçoamento contínuo em todos os aspectos, refletindo na produtividade, na qualidade e custos (MARTINS; LAUGENI, 2009).

A gestão da manutenção deve sempre se preocupar com o incentivo e treinamento da equipe, visando na melhoria das máquinas, e objetivando em equipamentos mais duráveis e resistentes às falhas. Ao tratar uma falha é essencial ter um histórico de dados concreto para planejar os passos de atuação (SLACK, 2008). As últimas três etapas do tratamento de falhas correspondem à primeira fase do PDCA de melhorias (XENOS, 2004).

Em síntese, a análise dos dados das falhas é realizada por meio de registros apontados ao decorrer do tempo. A periodicidade da análise é proporcional à frequência de ocorrências. Mediante aos históricos, torna-se viável optar pelas falhas com maior número de ocorrências ou com maior tempo de parada da produção para priorizar a identificação e resolução dos problemas usando o PDCA (Plan, Do, Check, Act) como ferramenta de qualidade.

A Figura 5 representa o fluxograma detalhado do sistema de tratamento de falhas, abordando todas as etapas, segundo Xenos:

Figura 5 – Fluxograma detalhado do sistema de tratamento de falhas.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

O sistema exposto é um caminho seguro para eliminar as falhas nos equipamentos e garantir maior produtividade para as empresas. Porém, para reduzir as falhas significativamente é preciso agir antes que elas ocorram (XENOS, 2004).

### 2.5.2 Planejamento de manutenção

O planejamento de manutenção é um elemento-chave que tem influência direta no sucesso de qualquer planta industrial. Contudo, muitas empresas ainda não executam esse planejamento com eficiência, impactando negativamente a eficácia do trabalho, o tempo de atividade do equipamento, confiabilidade e custo. De forma sucinta, o plano de manutenção

consiste em medidas de ações preventivas e programadas.

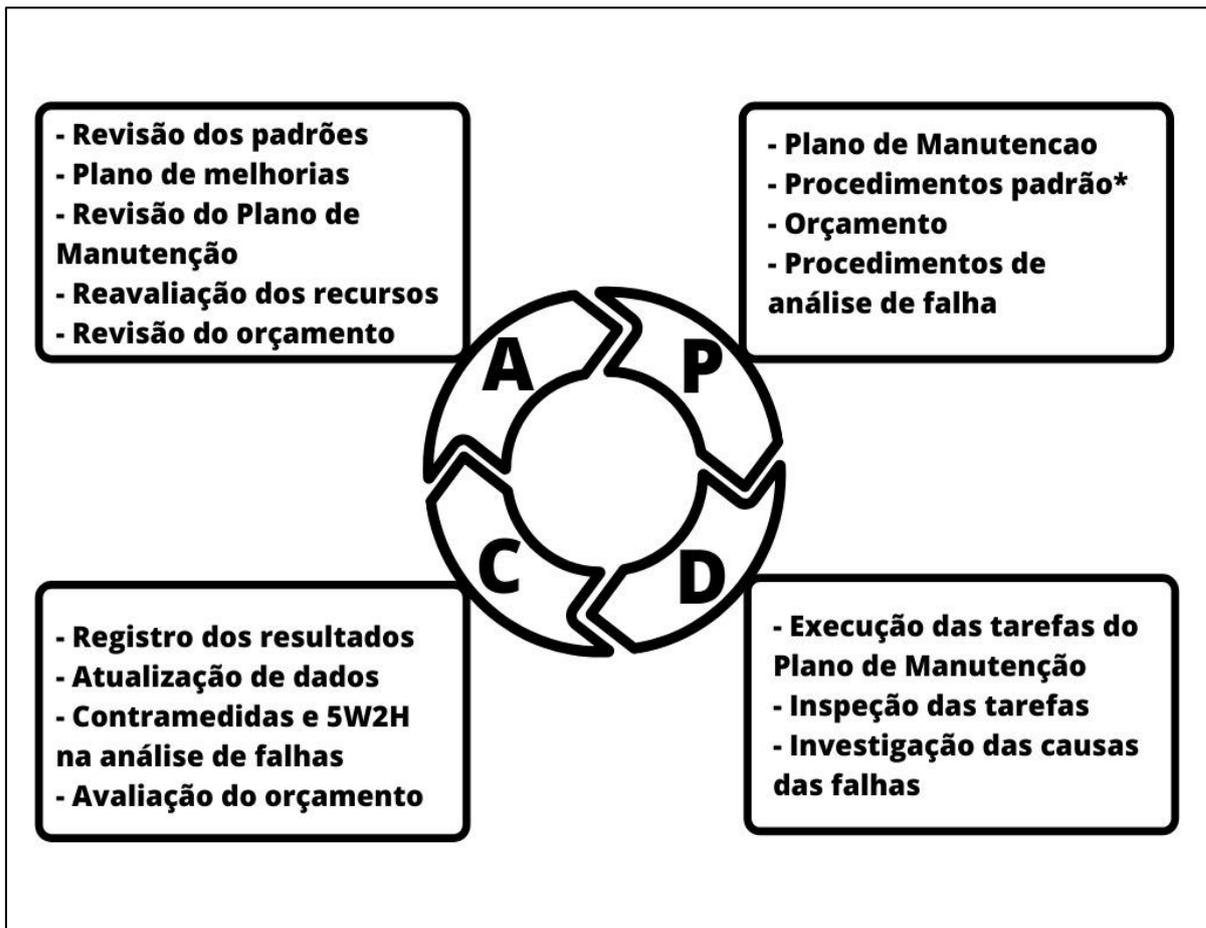
A menção ao planejamento de manutenção refere-se a extensão do tempo de produtividade. Isso representa custos reduzidos com paradas inesperadas e mais segurança no trabalho. Para alcançar o desempenho ótimo, as empresas devem planejar, agendar e acompanhar as atividades de manutenção. O planejamento de manutenção é, portanto, usado para alocar recursos da planta e maquinário, planejar recursos humanos, processos de produção e materiais de compra para que todas as operações e setores permaneçam em pleno funcionamento.

A princípio, para elaborar o plano de manutenção, devem-se considerar as informações fornecidas pelos fabricantes, como especificações técnicas e manuais, além da experiência da equipe de manutenção. Uma vez que as tarefas são identificadas, um princípio importante do planejamento de manutenção é garantir que todas as instruções sejam documentadas e padronizadas. Desse modo, proporciona futuras manutenções mais eficientes e precisas (XENOS, 2004).

A construção do plano de manutenção envolve a aplicação de ferramentas da qualidade. A atuação na prevenção de problemas propõe que o conceito de qualidade deve ser fomentado durante todo o processo produtivo. A metodologia PDCA pode ser utilizada em diferentes setores, inclusive na manutenção. Para que essa aplicação seja bem sucedida, é necessário adaptar as etapas do ciclo para a realidade da manutenção. É fundamental a revisão periódica através do ciclo PDCA com base nos resultados, reformas e histórico (ZÓIA, 2018).

O planejamento de manutenção garante o melhor gerenciamento da mão de obra, espaça a frequência das manutenções por meio da melhoria contínua, reduzindo os custos com retrabalho (XENOS, 2004). Um exemplo de como introduzir o ciclo PDCA nas atividades de manutenção está esquematizado, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Atividades de manutenção e o ciclo PDCA.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

A garantia da disponibilidade dos equipamentos é o maior benefício da elaboração de um plano de manutenção (XENOS, 2004). Porém, a falta de comprometimento com o gerenciamento gera falhas no plano de manutenção e, conseqüentemente, falhas nos equipamentos e na execução das ações corretivas (TAVARES, 1999).

A falta de giro do PDCA ocasiona outra falha habitual, intervindo no gerenciamento da manutenção e todas as suas conseqüências. Portanto, o planejamento deve ser priorizado na manutenção em conjunto com o giro sistemático do ciclo PDCA, para que as manutenções preventivas de fato ocorram.

### 2.5.3 Padronização da manutenção

Para melhorar o gerenciamento das manutenções e aumentar a confiabilidade dos equipamentos, pode-se desenvolver a padronização das manutenções. A padronização é definida como um conjunto de medidas com base nos problemas existentes ou potenciais

destinado as atividades comuns e repetitivas com a finalidade de aperfeiçoar o processo (ROSA; JUSTA 2014).

Os objetivos principais da padronização incluem a definição dos requisitos necessários à obtenção da qualidade; saúde e segurança; meios mais eficientes para a execução dos serviços de manutenção e promoção de soluções para problemas repetitivos, aumentando a produtividade e reduzindo os desperdícios (ROSA; JUSTA 2014).

A padronização se fundamenta nos resultados da ciência, tecnologia e experiência prática. Ela tem como propósito criar uma relação entre o fabricante, técnico e o usuário. Com a utilização da padronização é possível acelerar as decisões, reduzir as variações nas operações da manutenção e obter soluções rápidas e seguras para problemas recorrentes (ROSA; JUSTA 2014).

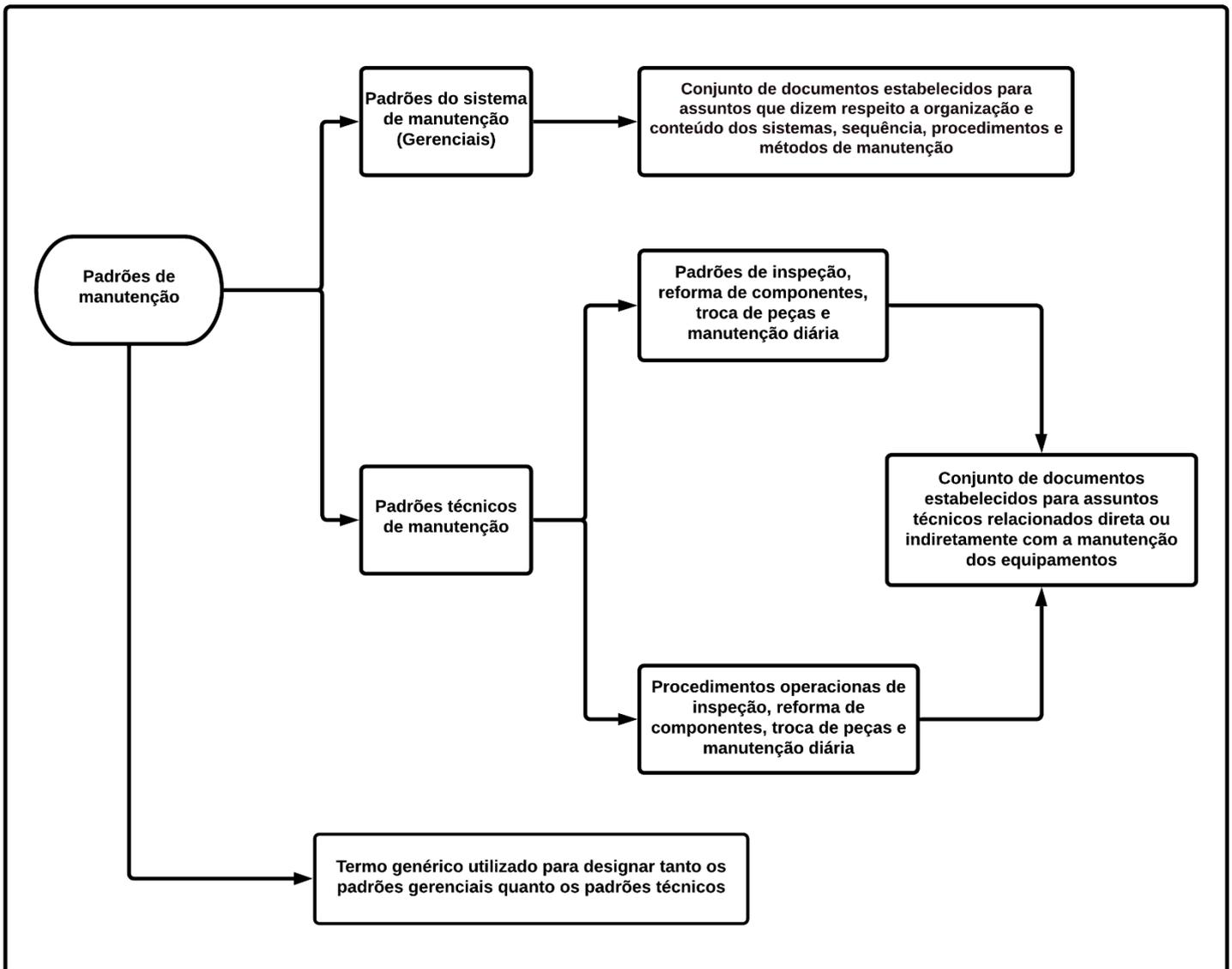
A padronização é utilizada como ferramenta gerencial que possibilita o fluxo de informações e conhecimentos adquiridos. Portanto, a padronização é essencial para que a manutenção seja conduzida de forma eficiente e confiável (CAMPOS, 2004).

De modo que a padronização visa melhorar a execução e o gerenciamento das atividades de manutenção, podem-se destacar como principais benefícios:

- a) Mais treinamentos e capacitações para novos técnicos;
- b) Transferência de tarefas simples para operadores da produção;
- c) Aumento da confiabilidade das ações de manutenção;
- d) Redução das paradas de produção por falhas recorrentes;
- e) Domínio tecnológico dos equipamentos;
- f) Melhor planejamento da manutenção;
- g) Redução de indisponibilidade dos equipamentos;
- h) Redução do tempo de execução das tarefas;
- i) Otimização dos custos de manutenção.

Apoiando nesses princípios básicos de padronização, devem-se elaborar padrões técnicos de manutenção, que se tratam de documentos que descrevem as diversas tarefas operacionais de manutenção, executadas diretamente no chão de fábrica (XENOS, 2004). Tais documentos são conhecidos como “Manual de Manutenção” e estão estruturados de acordo com a Figura 7.

Figura 7 – Estrutura dos padrões de manutenção.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

Basicamente os padrões técnicos classificam-se em: padrões de inspeção, padrões de reforma e padrões de troca de peças. Esses padrões então exemplificados na Figura 8.

Figura 8 – Tipos de padrões de manutenção.

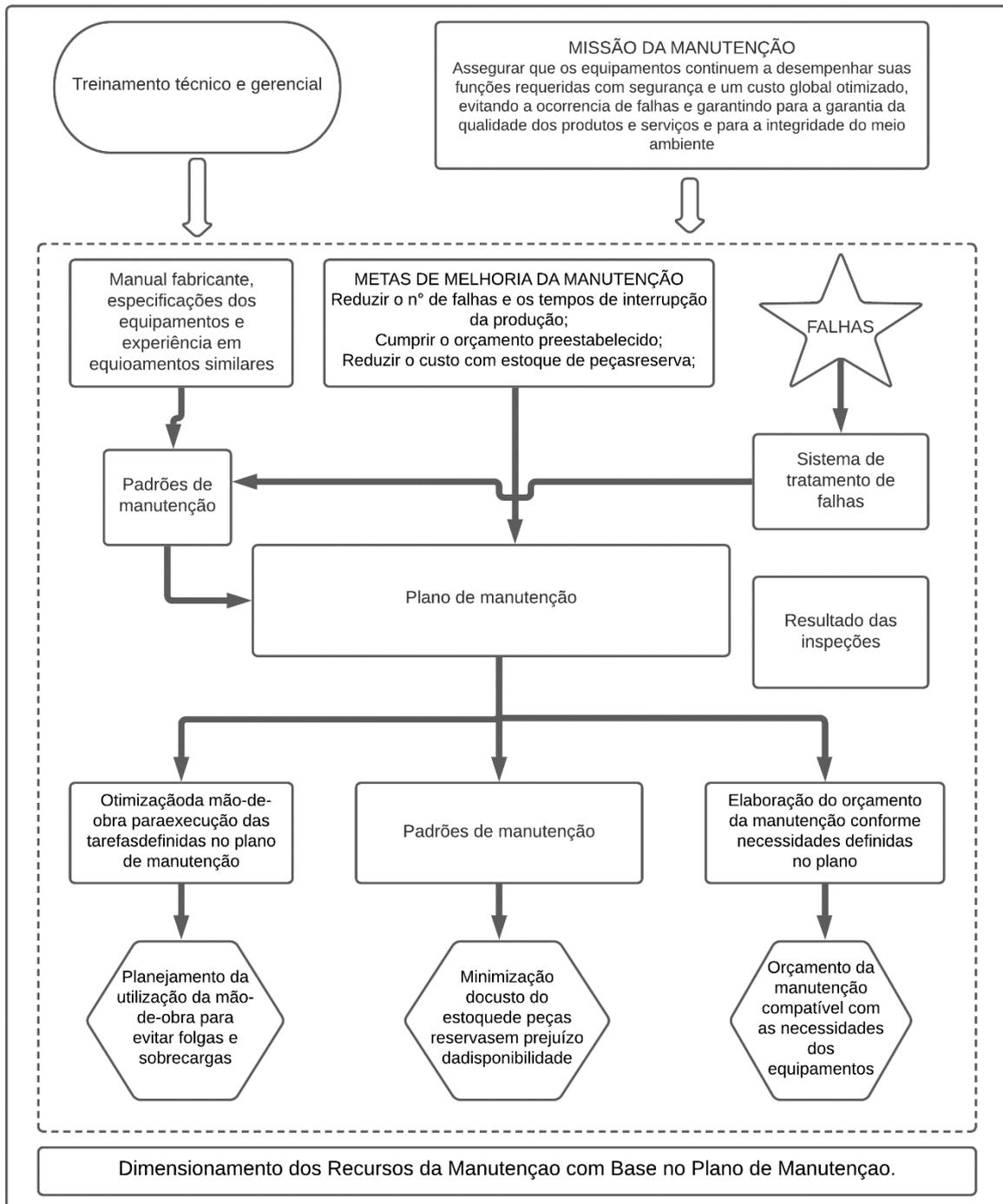
TIPOS DE PADRÕES TÉCNICOS	CONTEÚDO	RECOMENDAÇÕES
<b>Padrões Técnicos da Manutenção</b>	<b>Padrões de Inspeção</b> O que inspecionar, em que ponto e com que frequência Método de inspeção aplicáveis Instrumentos e aparelhos necessários. Critérios de avaliação do resultado da inspeção e limites de atuação (troca ou reforma) Contramedidas em caso de anomalia. Precauções de segurança aplicáveis.	1.Registrar os resultados das inspeções e fazer análise de tendência. 2.Incluir fotos ou desenhos para facilitar a execução das inspeções. 3.Transferir as inspeções sensíveis para os Padrões de Manutenção Autônoma.
	<b>Padrões de Troca</b> Identificação das peças sujeitas à troca periódica. Frequência de troca. Procedimento de remoção/instalação. Procedimento de teste funcional. Ferramentas, instrumentos e aparelhos. Precauções de segurança aplicáveis.	1.Incluir fotos ou desenhos para facilitar a identificação das peças a serem trocadas. 2.Padronizar a identificação e disposição das peças trocadas para evitar sua reutilização. 3.Incluir cuidados durante manuseio e instalação para evitar danos às peças durante a troca.
	<b>Padrões de Reforma</b> Identificação dos componentes sujeitos à reforma periódica. Frequência de reforma. Procedimento de remoção/instalação do componente. Procedimento de reforma na oficina ou na área. (Desmontagem, limpeza, inspeção, troca de peças, montagem e testes funcionais) Critérios de avaliação das condições das partes. Precauções de segurança aplicáveis.	1.Registrar os resultados da restauração, incluindo a identificação das peças trocadas, resultados das medições e testes funcionais realizados. 2.Incluir fotos ou desenhos para facilitar a execução das tarefas.
	<b>Padrões de Manutenção Autônoma</b> Identificação dos pontos de limpeza, lubrificação, inspeção, reabastecimento. Identificação dos ajustes e teste. Frequência das tarefas. Procedimentos de execução das tarefas. Critérios de avaliação quantitativos e qualitativos. Contramedidas em caso de anomalia. Precauções de segurança aplicáveis.	1.Incluir fotos ou desenhos para facilitar a execução das tarefas. 2.Utilizar a gestão à vista nos equipamentos para as tarefas rotineiras de limpeza, lubrificação e inspeção.
<b>Tipos de Padrões Técnicos da Manutenção e seu Conteúdo.</b>		

Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

Para a eficiência dos padrões técnicos, deve-se verificar a correta identificação dos pontos críticos dos equipamentos, peças e componentes e sua periodicidade de troca. Para tanto, as recomendações dos fabricantes, a experiência da equipe, análise de quebras e experiência em equipamentos similares são respeitadas (TAVARES, 1999).

O giro sistemático do ciclo PDCA é seu melhor aliado na evolução dos processos (ZÓIA, 2018). A ferramenta permite melhor ajuste para inspeção, troca e reforma, ou seja, a execução da manutenção preventiva conforme Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma para atualização dos padrões de manutenção.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

Para o cumprimento dos padrões de manutenção deve-se reforçar a equipe a necessidade de executar as operações conforme os manuais e capacitar os técnicos em manutenção para procedimentos padrão.

## 2.5.4 Gerenciamento do estoque de peças de reposição

A gestão de estoque de peças de reposição de máquinas representa um grande desafio para as indústrias. Uma gestão eficiente pode resultar em economia de custos e alcançar eficiência na manutenção. Certamente, essa economia é convertida em uma grande vantagem competitiva.

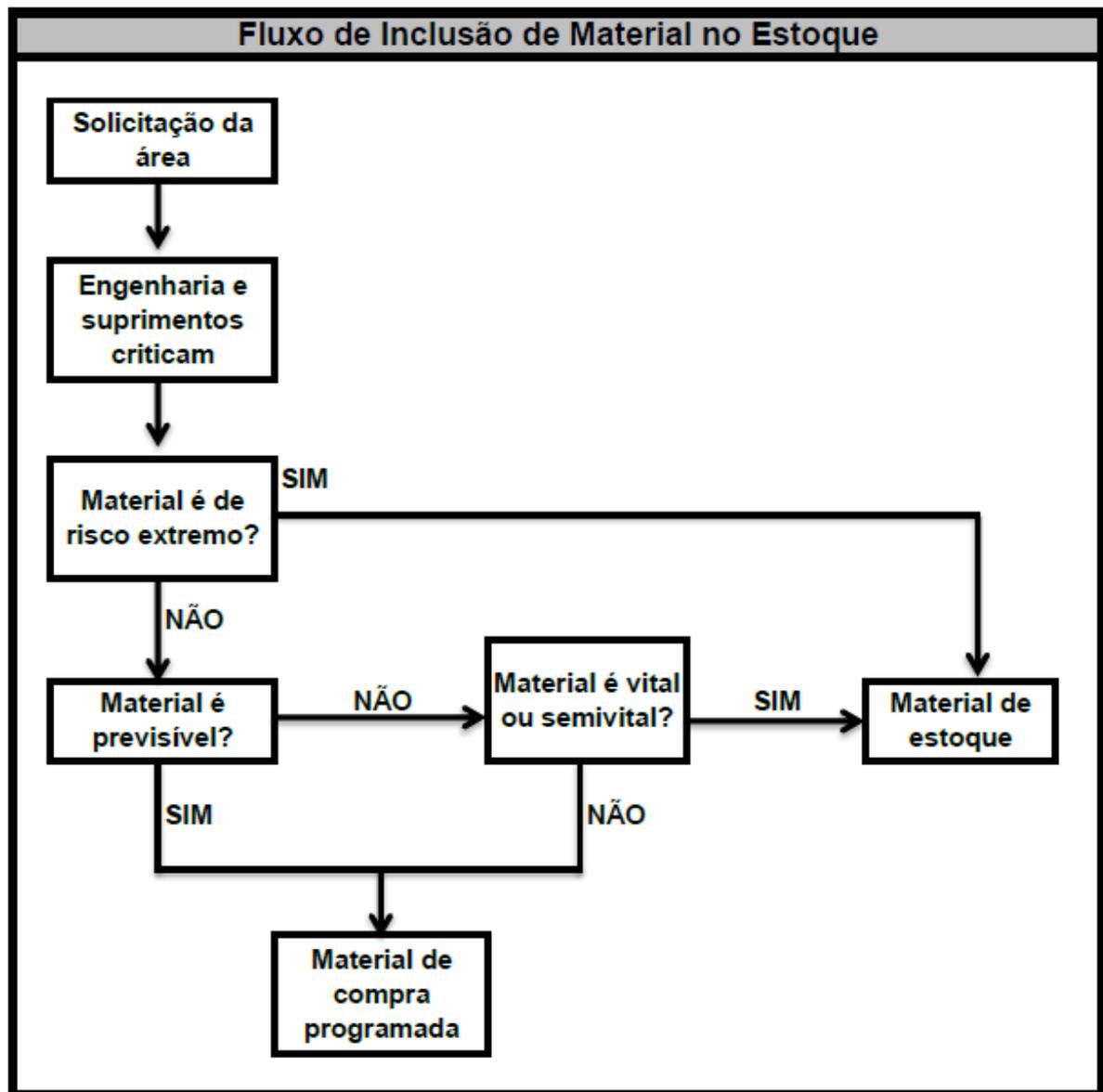
A obtenção de bons resultados com gerenciamento de estoque está diretamente conectada ao plano de manutenção, que por sua vez, torna-se mais confiável com a eliminação de recorrência de falhas e o giro do PDCA (COSTA NETO, 2007).

Em suma, o gerenciamento do estoque colabora para a melhor disponibilidade do equipamento e reduz custos com peças de reposição. Os sete passos a serem seguidos que envolvem o processo de gerenciamento e serve para organizar o almoxarifado incluem:

1. Selecionar;
2. Estabelecer política de gestão;
3. Colocar peças em ordem;
4. Definir estoques máximos e mínimos;
5. Estabelecer gestão à vista no almoxarifado;
6. Estabelecer sistema computadorizado para gestão de peças;
7. Padronizar as peças de reposição.

A criticidade das peças, cujas falhas podem afetar fortemente a produção, frequência de utilização e organização do almoxarifado devem ser avaliadas (VIANA, 2002). A inclusão de peças em estoque deve obedecer ao fluxograma mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de inclusão de material no estoque.



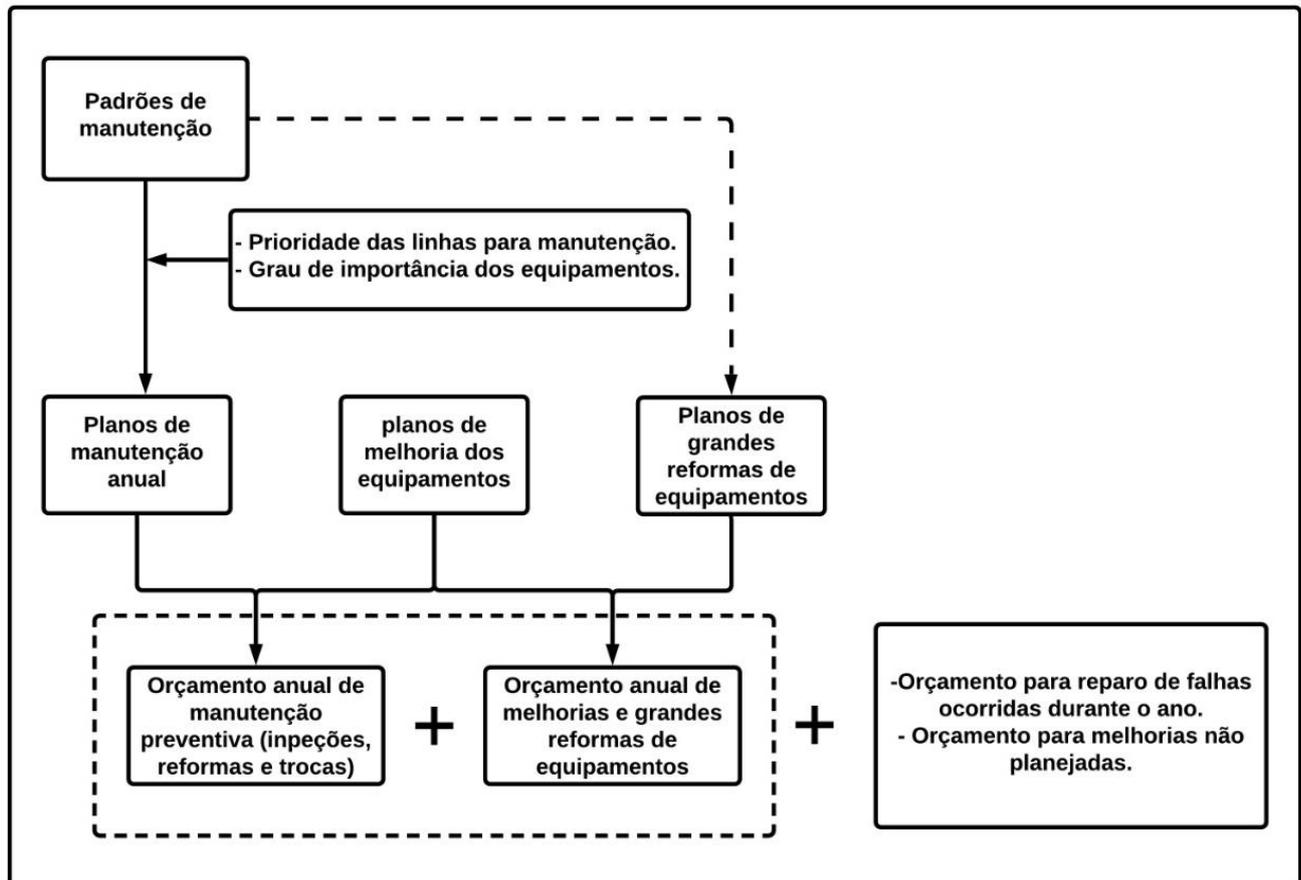
Fonte: VIANA, Herbert. R. G. (2002)

### 2.5.5 Orçamento e custos da manutenção

Os custos de manutenção devem ser tratados separadamente dos custos de investimento (PINTO; XAVIER, 2001). O orçamento na manutenção consiste em pelo menos três divisões: materiais, ferramentas e recursos ou serviços contratados. É indispensável planejar os recursos a partir da análise de atividades na empresa. Além disso, acompanhar o trabalho também é uma prática necessária para que os recursos orçamentários da empresa mantenham o saldo positivo. Dessa forma, interfere satisfatoriamente nas metas e lucros da organização (TAVARES, 1999).

Anualmente, os custos com a manutenção são revisados baseando no plano anual de manutenção e no histórico de manutenção do ano anterior. O planejamento anual segue o fluxograma a baixo, representado pela Figura 11.

Figura 11 – Elaboração do orçamento anual da manutenção.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

Os orçamentos representados por gráficos facilitam a visualização e o entendimento em relação aos custos, sendo possível fazer previsões e comparações (XENOS, 2004).

O setor de manutenção é o foco principal da gestão da empresa para redução de custos. Com medidas eficazes, há indicadores que podem ser ajustados de acordo com o cenário e a necessidade. Praticar a manutenção preventiva; padronização dos equipamentos e seus componentes; redução de falhas; alinhamento da equipe de manutenção e aplicação do Kaizen são exemplos que evidencia as oportunidades de gestão de gastos.

## 2.6 Índices da manutenção

A mensuração de desempenho é um item essencial dentro do processo fabril. Essa atividade é fundamental para identificar diferenças entre o desempenho alcançado e o pretendido. Dessa forma, é possível avaliar quais ações devem ser priorizadas e o que fazer para alcançar o patamar almejado (LUNDGREN *et al.*, 2020).

Para isso, o emprego de indicadores de manutenção industrial é capaz de evidenciar como está o andamento dos processos na indústria, analisando os diferentes desempenhos que englobam a parada de máquinas, disponibilidade de equipamentos, gastos de manutenção, a fim de alcançar o objetivo final da cadeia produtiva (LUNDGREN *et al.*, 2020).

Os indicadores de manutenção industrial são, portanto, bastante importantes para mensurar a qualidade das mercadorias, dos processos, realizar o controle de estoque, medir a duração de fabricação, da produção geral e, claro, manter a confiabilidade do equipamento com quebra zero ao menor custo, seja aumentar a eficiência global do equipamento (OEE) através do aumento da disponibilidade operacional – confiabilidade (MTBF) e manutenibilidade (MTTR) (GRUPTA *et al.*, 2020).

O tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparo (MTTR) de equipamentos de fabricação são usados em todos os métodos quantitativos para sistemas de produção análise de desempenho, melhoria contínua e design. O MTBF é determinado pela a divisão da somatória das horas disponíveis do equipamento pelo número de intervenções no período. O MTTR é uma das medidas fundamentais de confiabilidade para elementos renováveis e, indica a divisão da somatória das horas indisponíveis do equipamento pelo número de intervenções no período (ALAVIAN *et al.*, 2020).

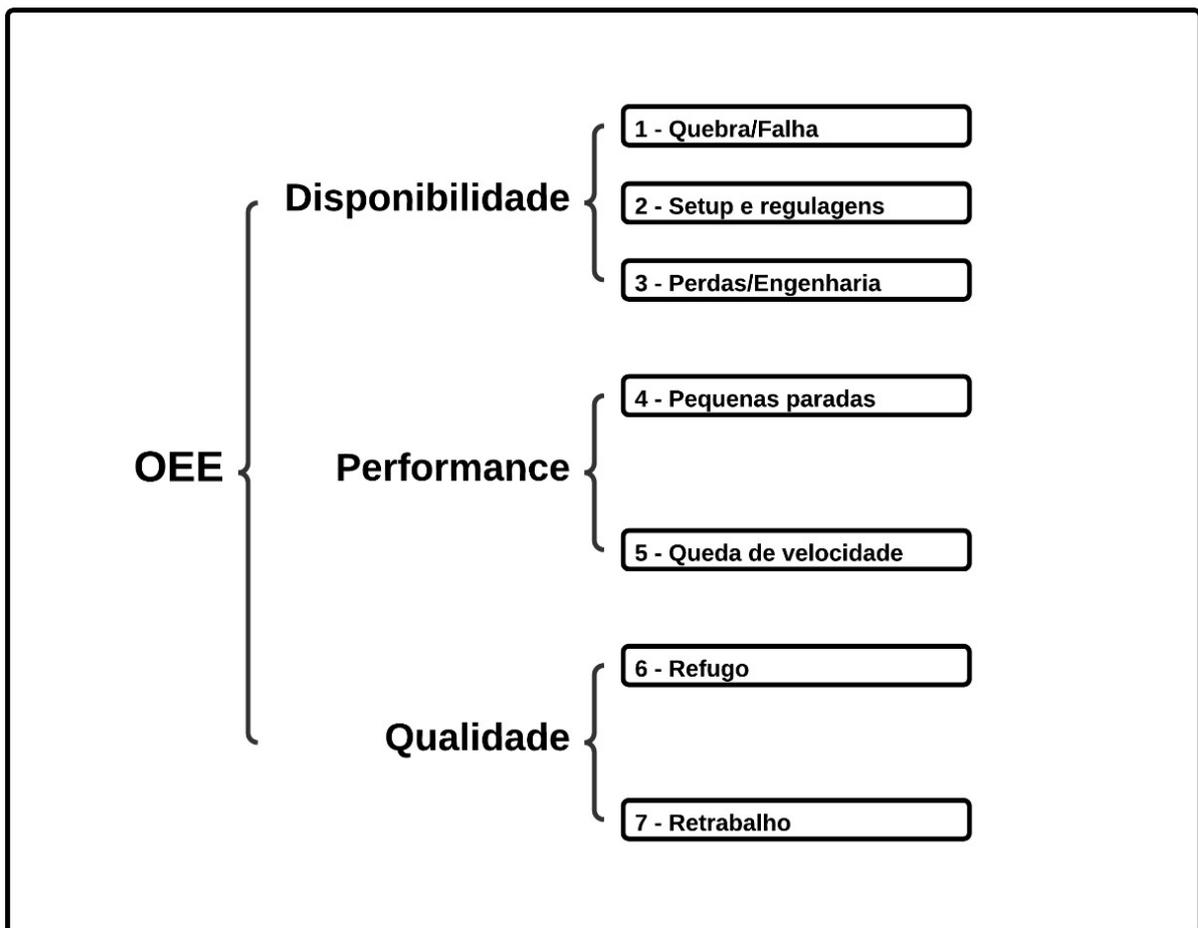
Para avaliar MTBF e MTTR no chão de fábrica, realizações aleatórias de tempo de atividade e inatividade da máquina devem ser medidas e em seguida, calcular a média para obter as estimativas (ALAVIAN *et al.*, 2020).

O OEE, Overall Equipment Effectiveness ou Eficiência Global do Equipamento, consiste em um indicador muito utilizado na indústria para medir as melhorias dos processos. Essa ferramenta faz uma comparação entre a capacidade de produção de um equipamento e a quantidade que foi, de fato, entregue por ele. Dessa forma, o indicador OEE traduz a eficiência global das máquinas em uma indústria, medindo a capacidade de fabricar novos itens. Os cálculos auxiliam a reduzir desperdícios e aumentar o desempenho dos equipamentos. Em síntese, o OEE é um forte

aliado e está ligado diretamente aos fatores de disponibilidade, qualidade e performance (SUPRIATNA *et al.*, 2020).

O poder desse indicador está em ligar os dados do OEE para identificar as maiores perdas dos equipamentos (POMORSKI, 1997), conforme mostrado na figura 12.

Figura 12 – Índice de OEE.



Fonte: Pomorski (1997)

O OEE não é apenas um indicador operacional, é recomendado para ambientes de alto volume de produção, onde a utilização da capacidade produtiva é um item de alta prioridade e paradas ou interrupções são caras em termos de perda de capacidade (NG CORRALES *et al.*, 2020).

## 2.7 Práticas e metodologias de manutenção para melhoria

O mercado global se tornou altamente competitivo nas últimas décadas, portanto obrigou as organizações a absorver o desafio da melhoria contínua para satisfação sustentada do cliente e competitividade organizacional (SINGH *et al.*, 2015).

Por muito tempo, as indústrias funcionaram com o sistema de manutenção corretiva. Com isso, ocorriam desperdícios, retrabalhos, perda de tempo e de esforços humanos, além de prejuízos financeiros. Com o surgimento das manutenções preventivas e preditivas, surgiram também sistemas de gerenciamento de manutenção que visam a máxima eficácia.

Nos sistemas de gerenciamento, são utilizadas ferramentas que se tornaram essenciais na manutenção moderna. Dois exemplos extremamente importantes e eficazes são o programa “5S” e a metodologia PDCA (PINTO; XAVIER, 2001).

### 2.7.1 Programa 5S

A filosofia 5S foi desenvolvida no Japão e foi formalmente introduzida no final do 1960. As etapas 5S são projetadas para melhorar a eficiência, desempenho e fornecer melhoria contínua em todos os segmentos de uma organização. Essas etapas envolvem um programa de melhoria estruturado com uma série de etapas identificáveis relacionadas umas às outras de maneira progressiva (RANDHAWA *et al.*, 2015).

O 5S é uma filosofia para remodelar o local de trabalho e fornecer a base para melhorias significativa. Um local de trabalho bem organizado oferece segurança e produção eficiente. (RANDHAWA *et al.*, 2015).

Desde a sua introdução e aceitação por empresas japonesas no Japão, a prática 5S tem sido implantado com sucesso em muitos países ocidentais, incluindo EUA (RANDHAWA *et al.*, 2015).

A prática 5S é estruturada com base em cinco pilares na sigla japonesa para Seiri (organização), Seiton (ordem?), Sesio (limpeza), Seiketsu (padronização) e Shitsuke (disciplina):

**Seiri: Senso de utilização** é separar aquilo que não é necessário, e eliminar o desnecessário.

**Seiton: Senso de ordenação** é deixar em ordem aquilo que é necessário, identificando-o de forma que qualquer pessoa localize facilmente.

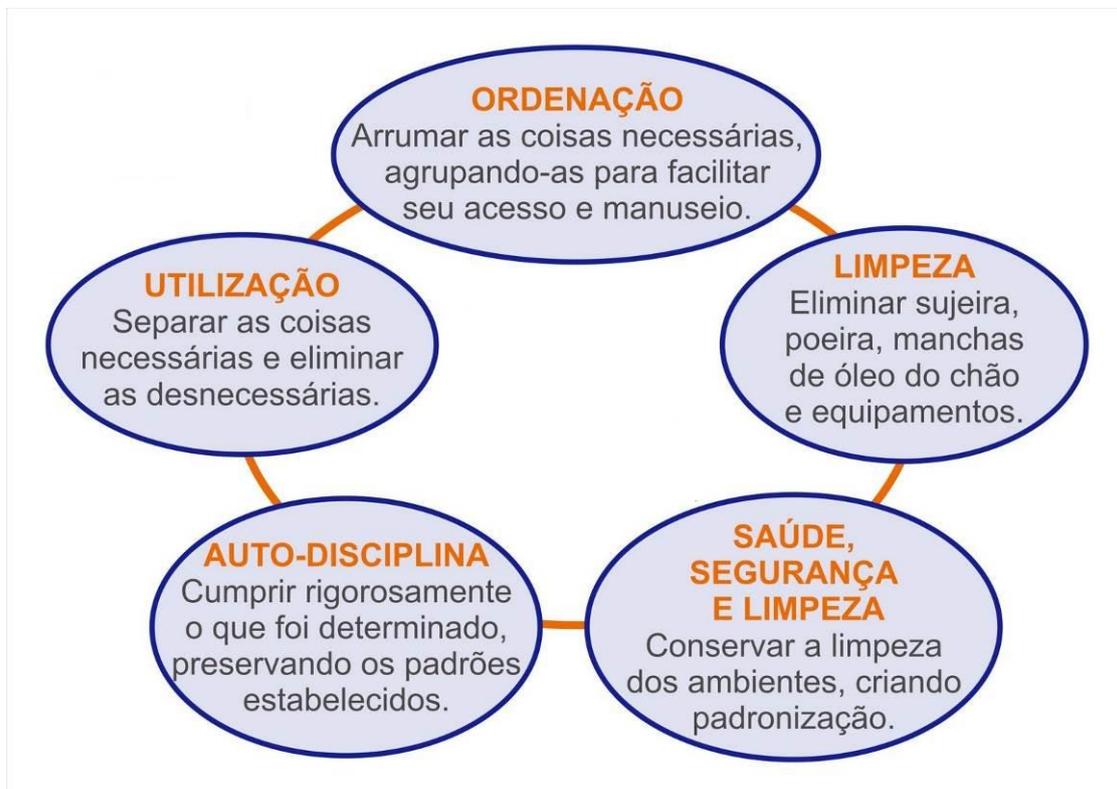
**Seiso: Senso de limpeza** significa muito mais que manter as coisas limpas. Significa inspecionar, detectar problemas e eliminar causas.

**Seiketsu: Senso de padronização** significa manter tudo o que você já melhorou.

**Shitsuke: Senso de disciplina** é a disciplina para manter e praticar corretamente aquilo que está determinado.

A melhoria da qualidade, o aumento de produtividade, redução de desperdício, redução dos custos, prevenção quanto à parada por quebras e organização no ambiente de trabalho são consequências da implementação do sistema 5S na manutenção (PINTO; XAVIER, 2001). A Figura 13 relaciona de forma simplificada os princípios do 5S com suas funções na manutenção e a Tabela 3 descreve as fases de implantação do programa 5S:

Figura 13 – Ciclo do programa 5S.



Fonte: Adaptado de Randhawa *et al.* (2015)

Tabela 3 – Passos para implantação do conceito 5S.

Fases da implantação			
Sensos	Preparação	Implantação	Manutenção
Utilização	Identificar o que é necessário para execução das tarefas e porque necessitamos daquilo.	Prover o que é necessário para execução das tarefas e descartar aquilo julgado desnecessário ou em excesso.	Consolidar os ganhos obtidos na fase de implantação de forma a garantir que os avanços e ganhos serão mantidos.
Ordenação	Definir onde e como dispor os itens necessários para a execução das tarefas.	Guardar, acondicionar e sinalizar de acordo com as definições feitas na fase anterior.	
Limpeza	Identificar as fontes de sujeira, identificar causas, limpar e planejar a eliminação das fontes de sujeira.	Eliminar as fontes de sujeira.	Padronizar as ações de bloqueio que se mostraram eficazes na eliminação das causas.  Promover ações de bloqueio contra reincidência (mecanismos à prova de bobeiras).
Asseio	Identificar os fatores higiênicos de risco nos locais de trabalho e planejar ações para eliminá-los.	Eliminar os riscos do ambiente de trabalho ou atenuar seus efeitos.	
Autodisciplina	Identificar não-conformidades com os padrões existentes e as oportunidades de melhorias para os 4 outros sentidos.	Eliminar as não-conformidades encontradas na fase anterior.	

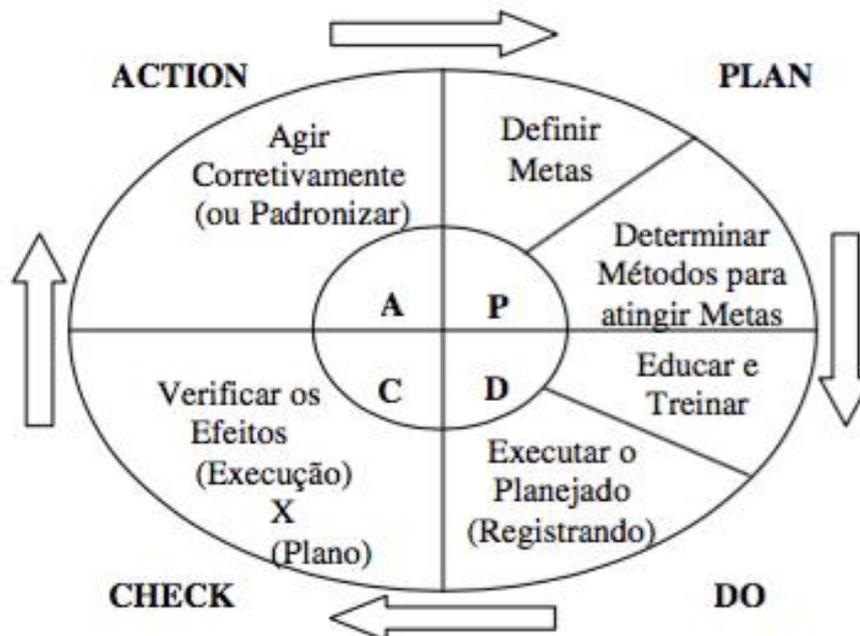
Fonte: Adaptado de Randhawa *et al.* (2015)

### 2.7.2 PDCA – Método de controle de processos

O ciclo PDCA, também conhecido como ciclo de Deming, é um ciclo em desenvolvimento que possui o intuito de melhorar continuamente o processo produtivo, um projeto ou um equipamento (NOGUEIRA *et al.*, 2012).

O princípio do ciclo PDCA é facilitar o processo de gestão da qualidade, dividindo-a em quatro passos principais, destacados na Figura 14: P (Plan – Planejar), D (Do – Executar), C (Check – Verificar) e A (Act – Agir), método que permite o controle do processo e corrigir eventuais erros para atingir os objetivos determinados (TAHASHI; OSADA, 1993).

Figura 14 – PDCA – Método de controle de processos.



Fonte: Campos, Vicente, F. (2004)

Conforme a figura acima, o primeiro quadrante, definido pelo passo PLAN (planejamento), é utilizado para identificar o problema a ser tratado o planejar as ações de melhoria que serão realizadas no plano de ação proposto pelo grupo de melhoria designado. As 4 etapas e suas relações são as seguintes:

1. Identificação do problema;
2. Análise do fenômeno;
3. Análise do processo (causa);
4. Plano de ação.

No segundo quadrante, representado por Do (executar), verifica a aderência do prazo proposto para resolver a ação e o prazo efetivamente realizado.

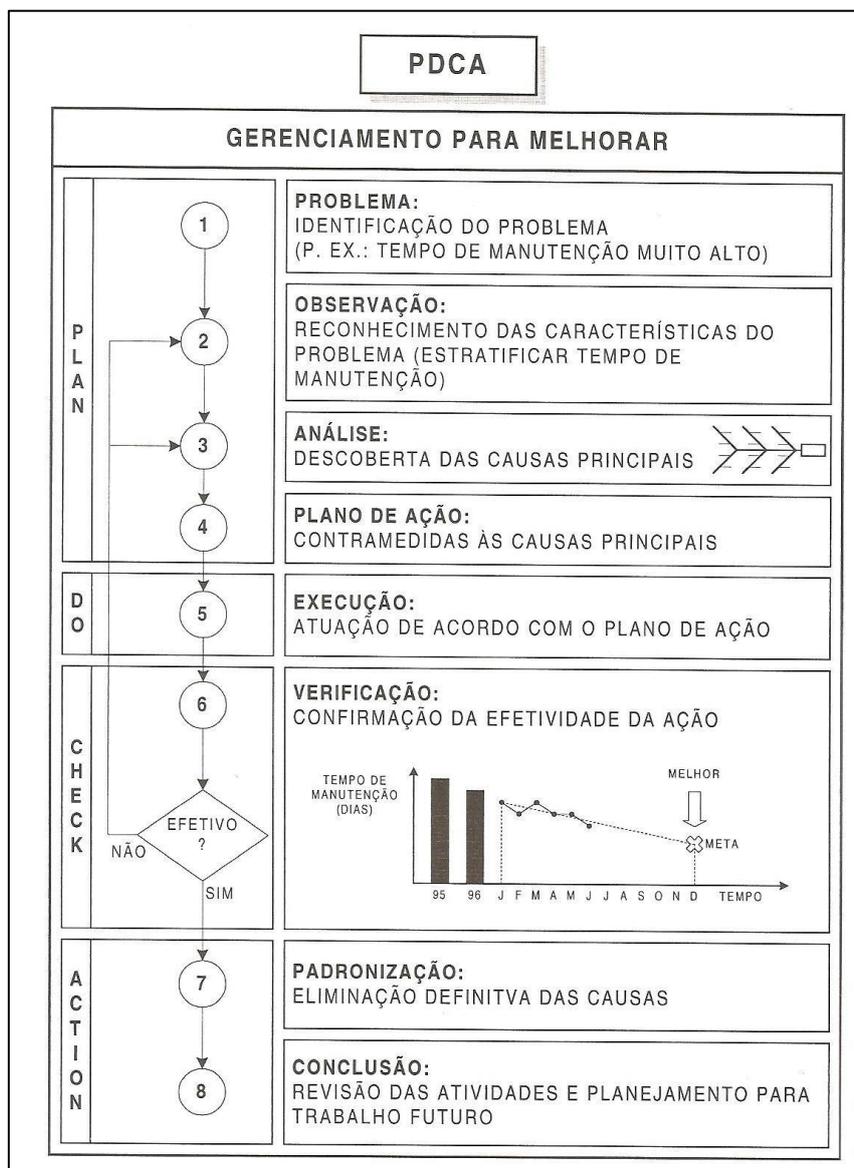
O terceiro quadrante, ou CHECK (Verificação) consiste em averiguar os resultados em relação à execução das ações do passo anterior. Esses dois passos são feitos em sintonia, pois enquanto as ações são realizaddas os resultado são verificados.

O último quadrante, definido por ACT (Padronização), realiza as análises de desvios ocorridos durante a execução do plano de ação e, cria padrões para as melhores práticas alcançadas durante a realização do grupo de melhoria.

O cumprimento da metodologia nas suas quatro fases deve obrigatoriamente ser seguido para o alcance dos objetivos. Torna-se necessário a utilização de ferramentas para coleta e processamento de dados para conduzir as etapas do PDCA. Entre as ferramentas, são destacadas: Brainstorming, 4M, 5 Whys e 5W1H (XENOS, 2004).

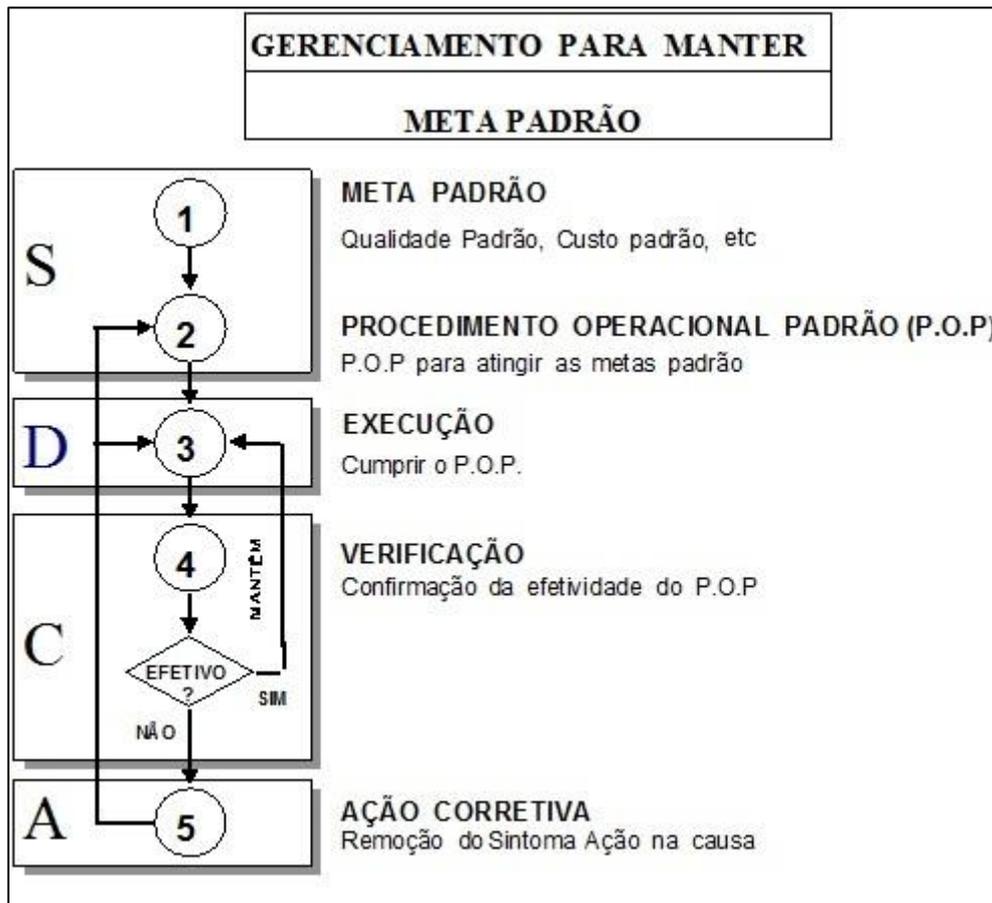
O PDCA é aplicado para atingir metas de melhoria, porém, para padronizar as metaa é utilizado o SDCA (Standard – Do – Check – Action), aplicável em tarefas semelhantes e repetitivas (XENOS, 2014). As Figuras 15 e 16 detalham o método de gerenciamento de processos na manutenibilidade e para aperfeiçoamento:

Figura 15 – O PDCA para atingir metas de melhoria.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

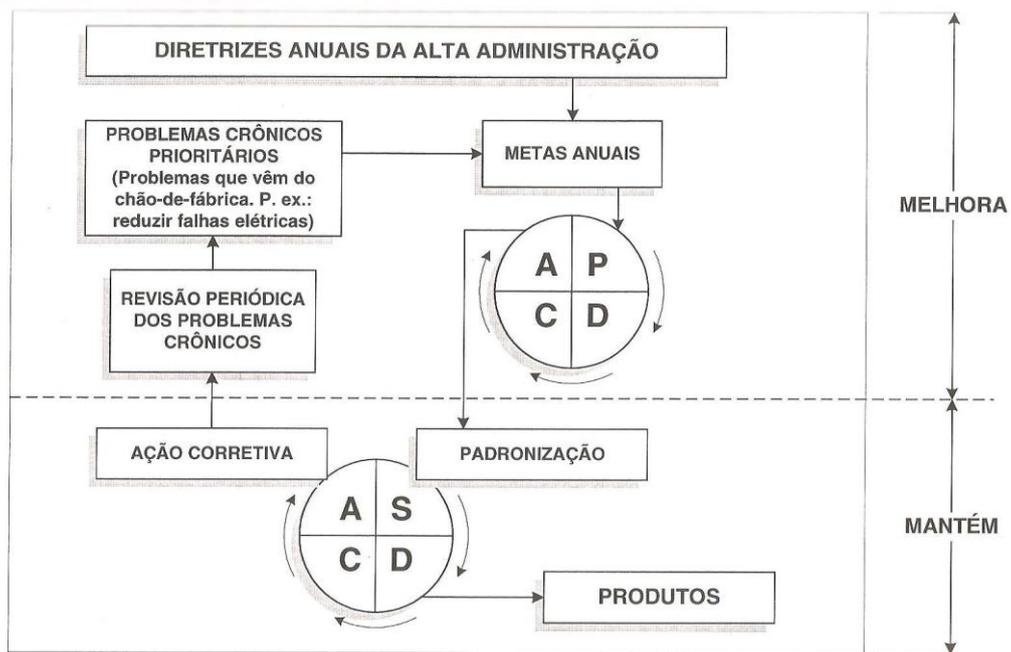
Figura 16 – O SDCA para atingir metas padrão.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

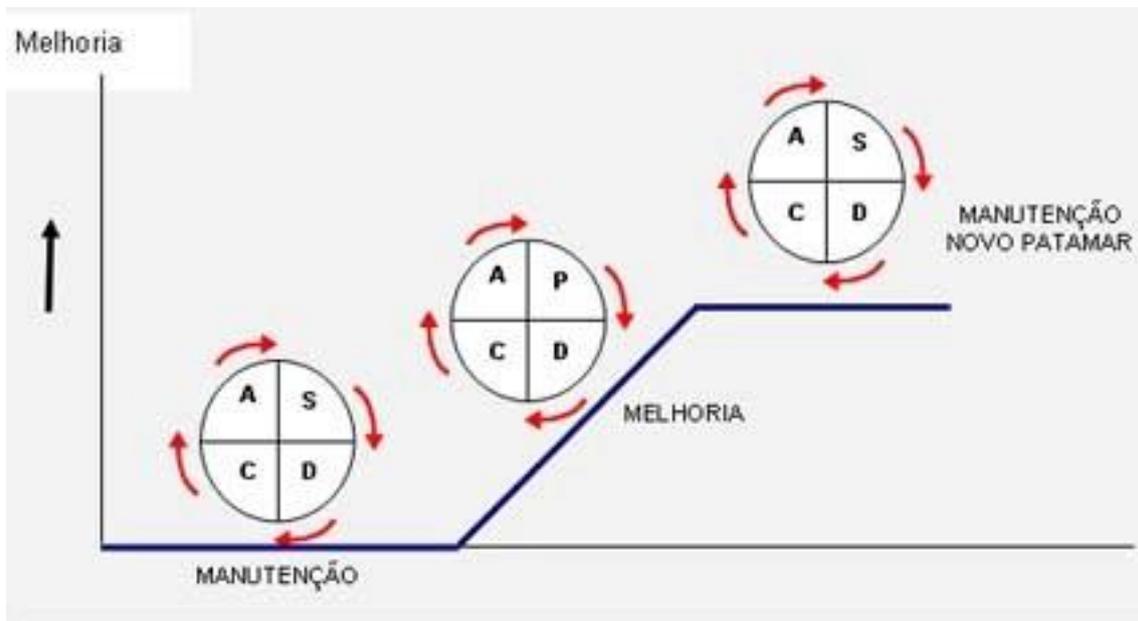
Considerando que um determinado problema seja a ocorrência de determinado eventos indesejáveis, o ciclo PDCA é uma forma de metodizar os esforços de uma equipe na busca pela solução e finalização dos problemas que vem enfrentando. A sua aplicação afirma que uma atividade de manutenção pode ser gerenciada e estar sujeita ao planejamento desde que as rotinas estejam padronizadas e os resultados monitorados, como mostram as Figuras 17 e 18.

Figura 17 – PDCA aplicado com os objetivos de manter e melhorar.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

Figura 18 – Conceito de melhoramento contínuo na manutenção de equipamentos.



Fonte: Xenos, Harilaus, G. (2004)

## **3 MÉTODOS**

### **3.1 Materiais**

Para iniciar a implantação do projeto realizou-se um estudo sobre a metodologia do PDCA um método universal para atingir metas e para adequar a realidade da empresa.

Para a presente pesquisa, foram adotadas práticas de manutenção a serem aplicadas no trabalho elaborado no setor de manutenção. Isso para uma indústria de autopeças localizada no sul de Minas Gerais, envolvendo profissionais das áreas de Engenharia de Manutenção, produção e manutentores classificada como pesquisa de campo. A metodologia sugerida foi dividida em etapas, tomando como base o método gerencial PDCA, ou seja, identificação do problema, execução do plano, verificação dos resultados e a padronização das ações para garantir que o equipamento em estudo atinja níveis de desempenho e disponibilidade Classe Mundial.

### **3.2 Métodos**

Plan - Planejamento – Atividades preliminares de preparação.

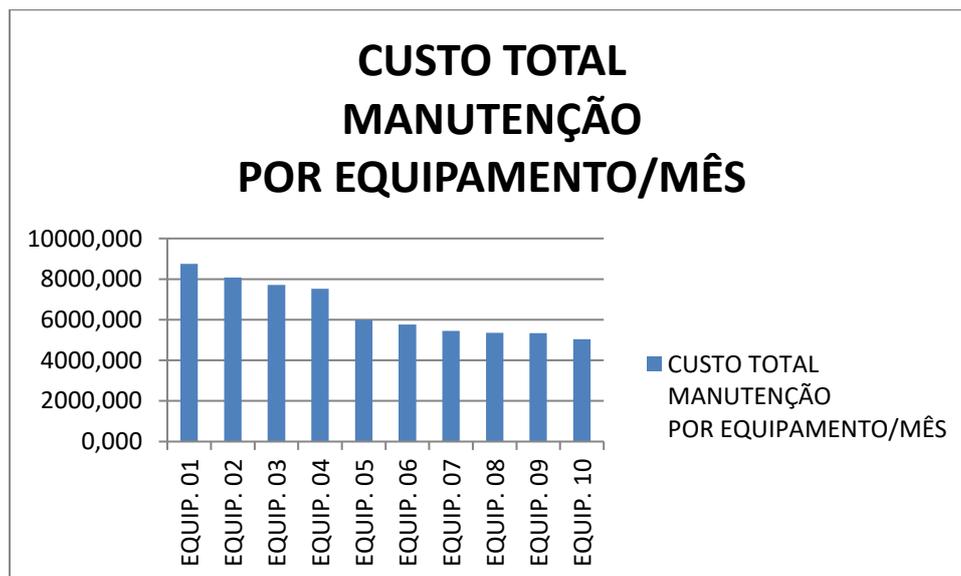
Para a identificação do problema desta etapa do estudo de caso foi utilizado um software de gerenciamento de manutenção CMMS (Computerized Maintenance Management System) e para facilitar a visualização e compreensão dos dados coletados foram apresentados em forma de gráfico de Pareto e/ou tabela do MS Excel. Foram apurados os dados extraídos do software CMMS e feito o desdobramento de custos para identificar os equipamentos da fábrica com maiores perdas com manutenção. Foi necessário identificar de modo sistemático os principais itens de perda presentes no sistema produtivo da fábrica, onde futuramente com aplicação da metodologia PDCA seria possível calcular os benefícios econômicos que foram alcançados removendo as perdas. Com este recurso foi plotado os dados na tabela 04 foi possível identificar o equipamento 01 como o que contribuía com maior perda de custo total de manutenção por mês conforme demonstrado no Figura 19.

Tabela 4 – Custo total de manutenção por equipamento.

Equipamento	Média quebra por mês	Custo total de peças PM	Custo de perda M.O	Outros custos	Custo total manutenção por equipamento
<b>Equipamento 01</b>	<b>18,75</b>	<b>4715,570</b>	<b>1919,052</b>	<b>2123,755</b>	<b>8758,377</b>
Equipamento 02	17,67	4390,339	1624,702	2056,419	8071,461
Equipamento 03	16,68	3845,195	1291,733	2577,876	7714,803
Equipamento 04	15,37	4002,154	1367,586	2160,876	7530,615
Equipamento 05	19,13	3586,966	1105,150	1289,302	5981,418
Equipamento 06	5,55	3138,962	1001,666	1618,488	5759,116
Equipamento 07	14,86	2959,035	1113,146	1377,628	5449,809
Equipamento 08	13,75	2650,364	997,576	1709,902	5357,842
Equipamento 09	13,24	2589,421	968,124	1784,026	5341,570
Equipamento 10	13,69	2367,612	1393,791	1278,816	5040,220

Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 19 – Custo Total de Manutenção por equipamento.



Fonte: Dos Autores (2022)

A Figura 20 representa o equipamento relacionado para desenvolvimento do projeto.

Figura 20 – Têmpera Politron.



Fonte: Dos Autores (2022)

Pôde-se observar que a maior representatividade em perdas do equipamento é causada pela soma dos custos com peças e custos com mão-de-obra. A Tabela 5 apresenta quantitativamente os fatores que compõem a perda por custos com manutenção.

O número de quebras no equipamento 01 representa 13% das perdas por quebras na fábrica com um valor de R\$ 8.758,37 de custo com manutenção por mês totalizando R\$ 105.100,56 ao ano, resultante das quebras, mão-de-obra, peças de reposição entre outros gastos apurados no período de um ano, e, apontados pelo desdobramento de custos. Definiu-se este período devido o cenário dinâmico da fábrica: para um período superior a este, muitas vezes a falha crônica mais prejudicial não é mais encontrada e, que um período menor, dificilmente evidenciará uma falha crônica.

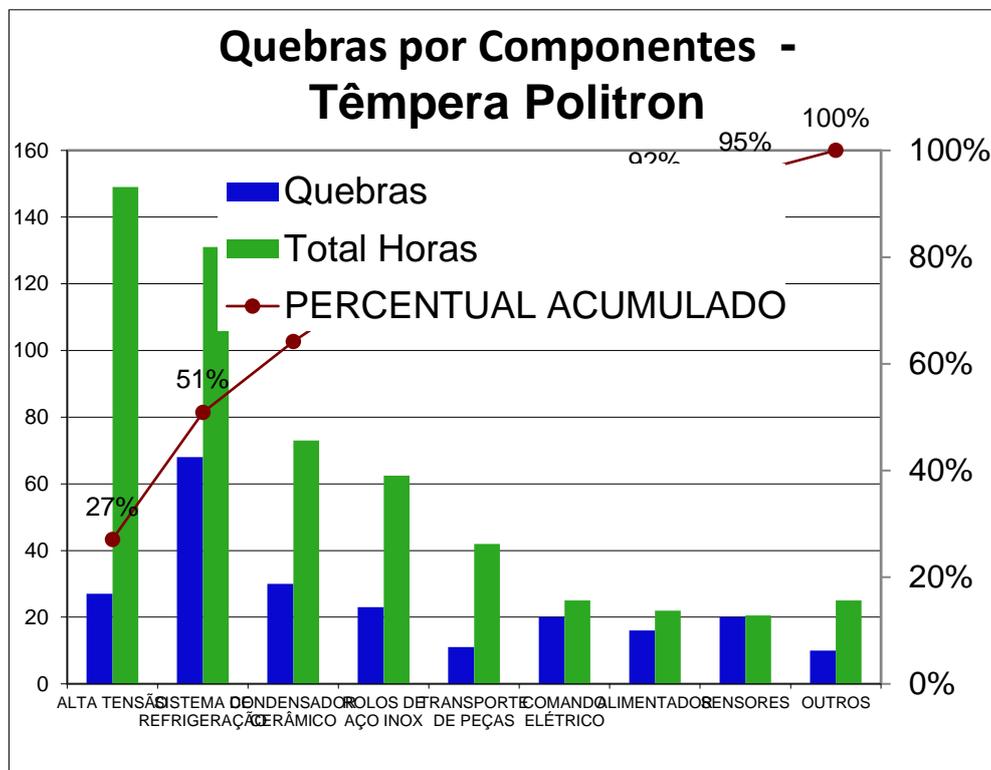
Em um segundo momento, identificou-se o conjunto ou componente que apresentou maior incidência de falhas conforme Tabela 5. Para isto, um gráfico de Pareto, apresentado na Figura 21, é utilizado com base no histórico das quebras disponibilizado pelo software CMMS nos últimos 12 meses totalizando 225 quebras e 550 horas no período de um ano anterior a implantação do método PDCA.

Tabela 5 – Número de quebras e hora total de parada por componente.

CONJUNTO	Nº QUEBRAS	HORAS	PERCENTUAL	PERCENTUAL ACUMULADO
ALTA TENSÃO	27	149	27%	27%
SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	68	131	24%	51%
CONDENSADOR CERÂMICO	30	73	13%	64%
ROLOS DE AÇO INOX	23	63	11%	76%
TRANSPORTE DE PEÇAS	11	42	8%	83%
COMANDO ELÉTRICO	20	25	5%	88%
ALIMENTADOR	16	22	4%	92%
SENSORES	20	21	4%	95%
OUTROS	10	25	5%	100%

Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 21 – Gráfico de quebras por componente



Fonte: Dos Autores (2022)

Outros indicadores que contribuem para intervenção da manutenção e de grande importância são os KPI's (Indicadores Chaves de Performance) apresentados na Tabela 6: disponibilidade dos equipamentos, números de quebras, MTBF (tempo médio entre falhas) e MTTR (tempo médio de reparo) dos equipamentos apresentados nos gráficos das Figuras 22, 23, 24 e 25 abaixo, no período anterior a implantação da metodologia PDCA.

Tabela 06 – Indicadores de performance mensal.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Horas úteis	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525	525
Quebras total	22	19	21	19	20	18	17	16	17	21	17	18
Tempo parada (min)	1989	1987	2578	3689	3756	2819	2385	1892	3257	4128	2736	1784
Disponibilidade (%)	93,7	93,7	91,8	88,3	88,1	91,1	92,4	94,0	89,7	86,9	91,3	94,3
MTTR (min)	90	105	123	194	188	157	140	118	192	197	161	99
MTBF (min)	23,9	27,6	25,0	27,6	26,3	29,2	30,9	32,8	30,9	25,0	30,9	29,2

Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 22 – Disponibilidade do equipamento.

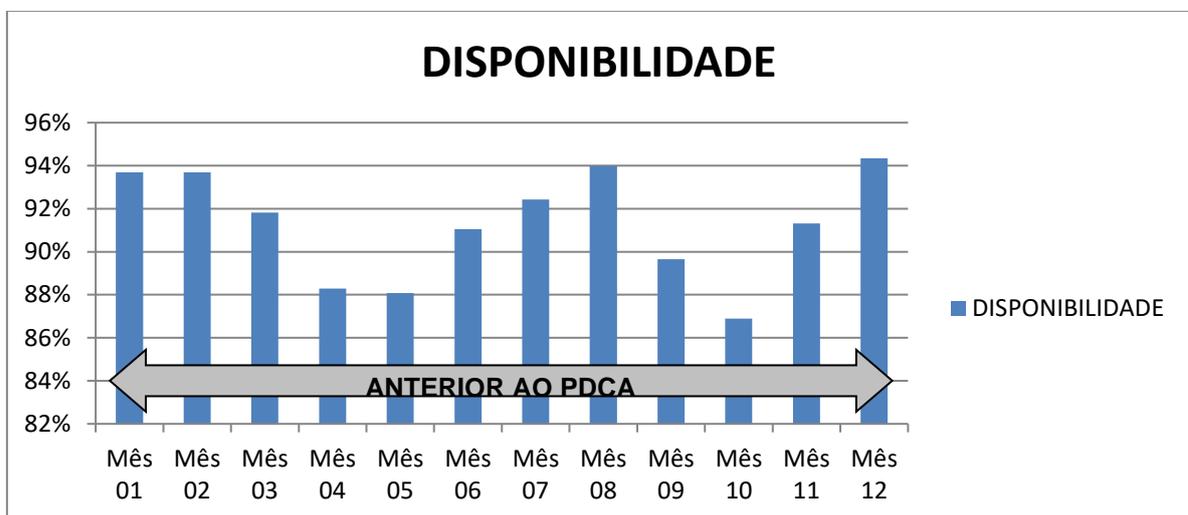
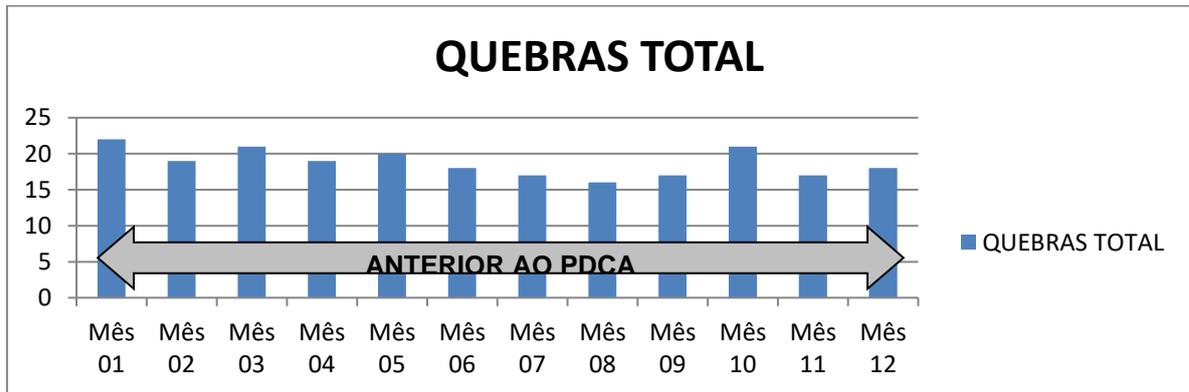
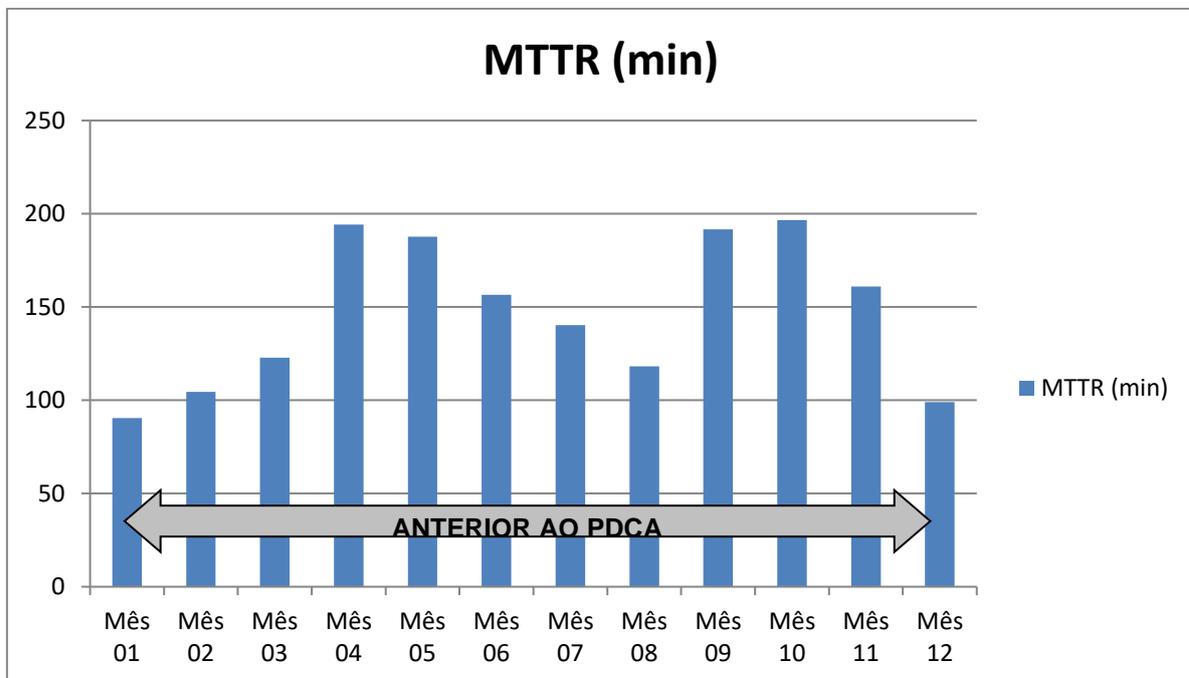


Figura 23 - Número de quebras do equipamento.



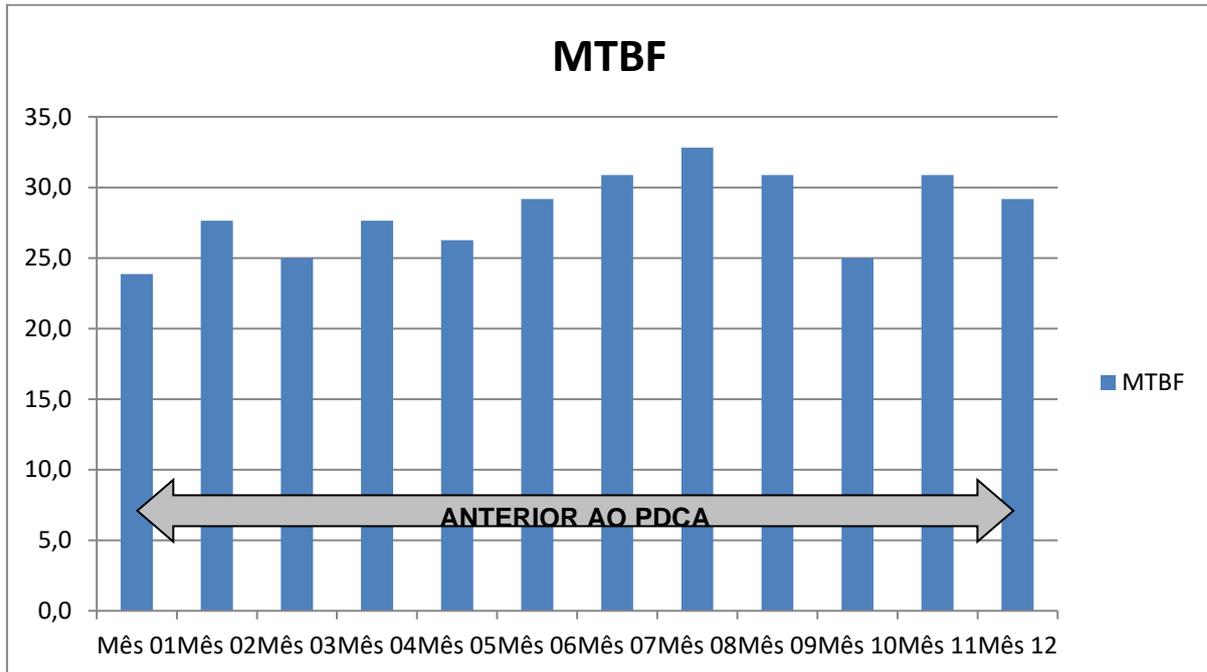
Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 24 - MTTR do equipamento.



Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 25 – MTBF do equipamento.



Fonte: Dos Autores (2022)

As causas foram múltiplas, apresentaram derivações com interação de diversos fatores. Mesmo com causas múltiplas, o resultado negativo apresentou-se de forma única, ou seja, com perdas e não existem soluções que atendam simultaneamente a todas as multiplicidades existentes. Cada uma das medidas foi considerada de forma isolada para os respectivos fatores, de modo que a sua somatória constitua a solução global. Para o cálculo da taxa de disponibilidade foi considerado como tempo total disponível no período de 525 horas.

Composição das horas calendário:

$$25 * (24 - (3*1)) = 25 \text{ dias} * 21 \text{ horas} = 525 \text{ horas}$$

$$\text{HCAL} = 525 \text{ horas}$$

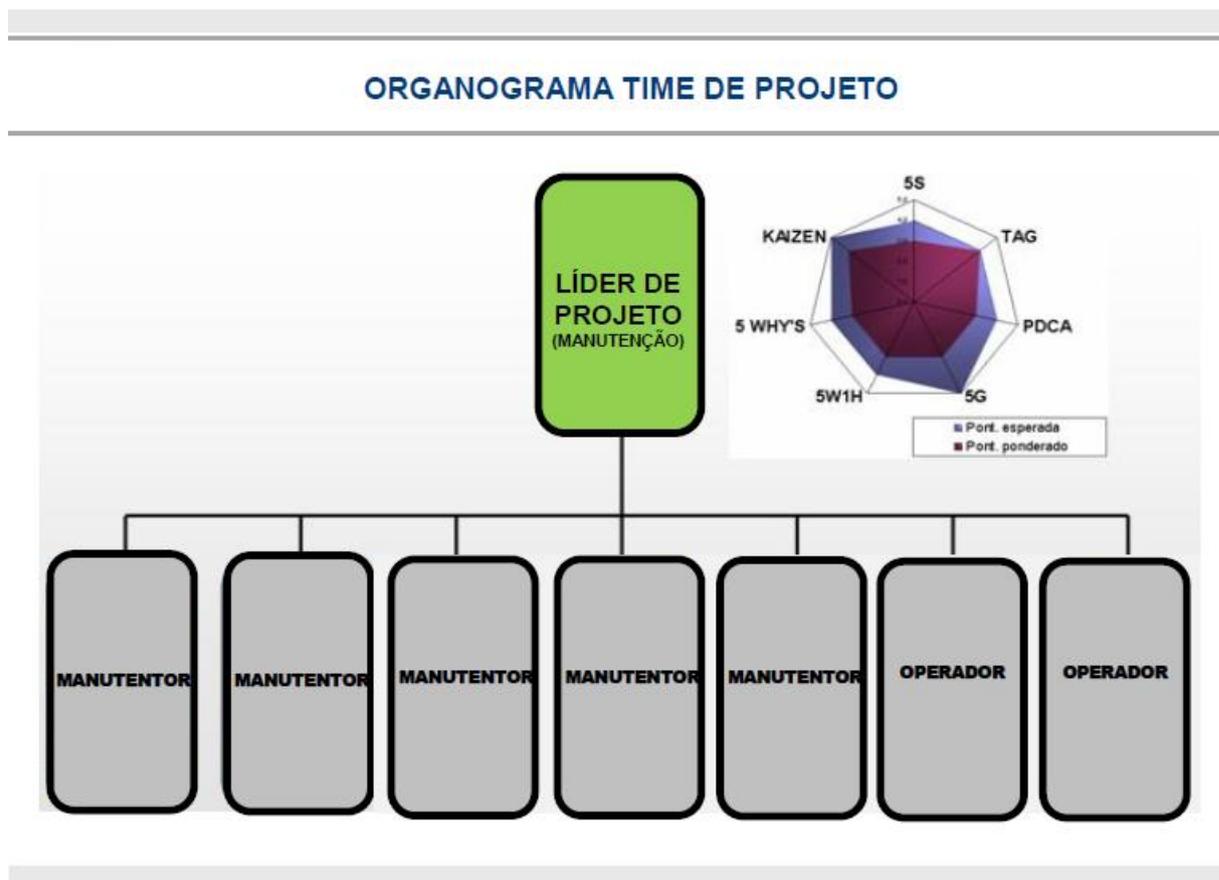
Uma vez identificado o componente/local de maior ocorrência de falhas, foram analisadas as quebras, estabelecidas contramedidas e proposto ações para eliminação. A equipe de desenvolvimento do projeto julgou oportuno realizar análises distintas considerando o tipo da falha, os quais podem ser falhas “Mecânicas” ou “Eletrônicas”.

Identificado às perdas apresentadas no gráfico de Pareto foi definida uma equipe multifuncional entre manutenedores e operadores de envolvimento e desenvolvimento do projeto, nomeado como “Time de Projeto” conforme Figura 26. Realizou-se o mapeamento das competências do time de projeto para avaliar as habilidades e

conhecimentos, seguido de 30 horas de treinamento ministrado pelo líder de projeto sendo 2 horas diárias juntamente com outros líderes envolvidos da Produção e Manutenção, demonstrando o comprometimento de todos com o projeto.

O objetivo do treinamento foi qualificar e envolver sua mão-de-obra para execução das tarefas relativas ao projeto de melhoria, ter maior domínio do equipamento e componentes e demonstrar os possíveis ganhos com a implantação do projeto e para criar o senso de “donos” do equipamento. Por meio do treinamento, pôde-se transmitir aos participantes os principais conceitos e ferramentas da metodologia PDCA necessárias para a utilização e aplicação na manutenção do equipamento promovendo a melhoria da formação profissional do colaborador para um melhor desempenho e torná-lo multiplicador e facilitador da metodologia.

Figura 26 – Organograma time de projeto.



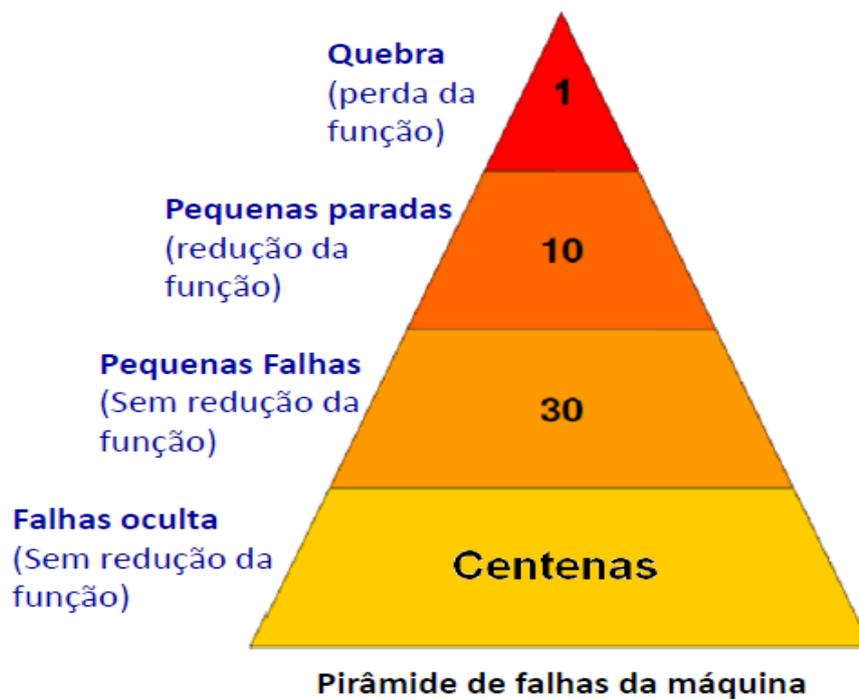
Fonte: Dos Autores (2022)

Para melhor apresentar a evolução dos trabalhos e os indicadores de performance e atividades, foi implantado o quadro de gestão a vista com o objetivo de transmitir informações rápidas, simples e claras a todos os colaboradores da manutenção e de outras áreas da empresa. Com a implantação deste módulo agilizou-se a comunicação entre

gestores, time de projeto e demais envolvidos deixando claro o plano de ação e o desenvolvimento do projeto.

A continuidade do planejamento se deu com reuniões do time de projeto ao pé da máquina, determinando as falhas crônicas apontadas no mapa de quebras, anexo III. O Mapa de Quebras tem a finalidade de mostrar graficamente através de um layout do equipamento os componentes onde ocorrem as quebras, a quantidade de quebra de cada componente, o tempo total de parada de cada componente e qual o tipo de falha (elétrica ou mecânica). Ao Pé da Máquina também foi possível o levantamento dos pontos de degradação acelerada e de pequenos defeitos do equipamento identificando, qualquer anomalia, degradação, barulho excessivo, falta de componente, fonte de sujeira, zona de difícil acesso, risco para a segurança dos operadores ou para a qualidade do produto. São destes pequenos defeitos que surgem os de médio e grande porte, prejudicando o desempenho do equipamento, demonstrado na Figura 27, a pirâmide de falhas da máquina. Deixado sem vigilância, esses pequenos defeitos só se agravam, ou seja, é melhor exterminá-los pela raiz em vez de deixá-los se tornarem críticos e com alto custo de reparo.

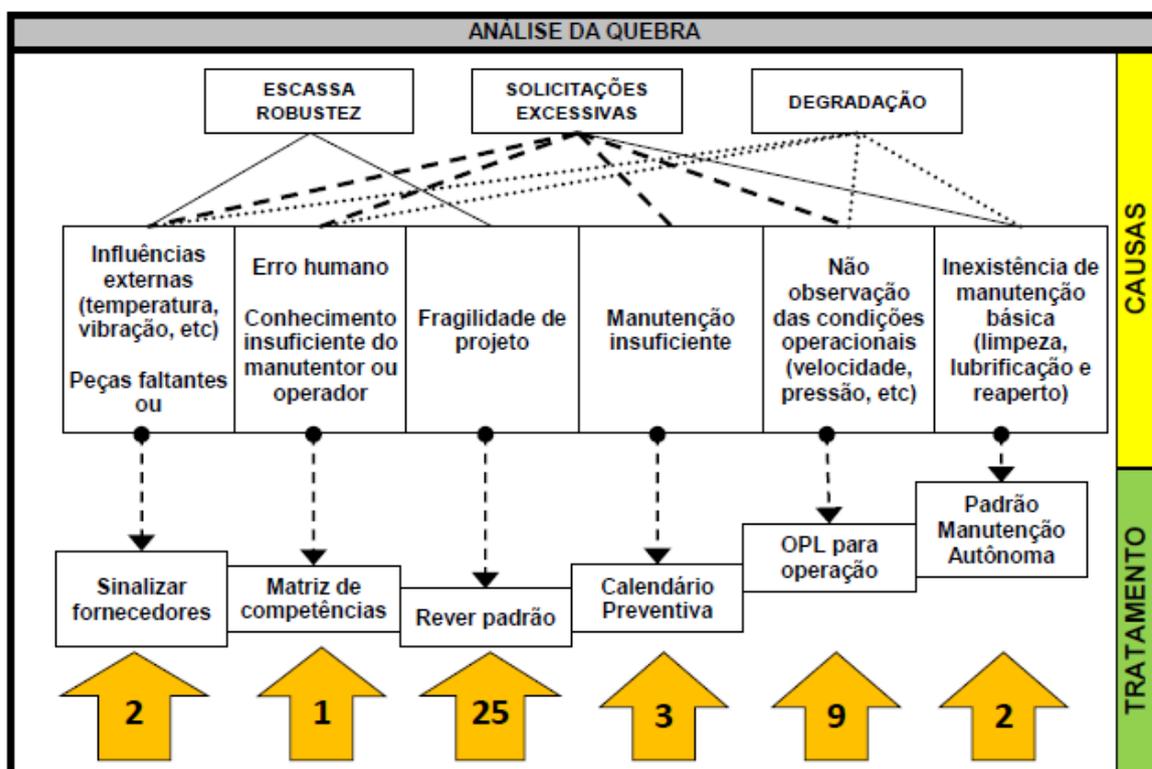
Figura 27 – Pirâmide de falhas da máquina



Foram realizadas sessões de brainstorming com a equipe para análise do projeto, visando elaborar um plano de ação para a manutenção, totalizando mais 48 horas de

reuniões para planejamento. Várias ações foram correlacionadas às deficiências e listadas. A partir de então se realizaram as análises de falhas utilizando o formulário de Análise de Causa Raiz conforme anexo I, buscando identificar corretamente causas raízes através de ferramentas como 4M, 5W1H e 5 Porquês, objetivando direcionar ações para evitar a reincidência das falhas identificadas e implantar contramedidas para estabilizar o tempo entre falhas dos componentes. Foram realizadas 42 Análises de Causa Raiz devido às falhas crônicas e identificadas ações como: sinalizar fornecedor, OPL para manutenção e operação, rever padrão de projeto, desenvolver Kaizen, incluir componente no plano de manutenção preventiva e atividades de manutenção autônoma.

Figura 28 – Análise da causa raiz.



Fonte: Dos Autores (2022)

Identificadas às causas e as contramedidas das falhas conforme a Figura 28, foram desenvolvidos 19 Kaizens anexo IV como ponto de melhoria distribuído nos pontos de tratamento apontado com a análise de quebras, somando mais 60 horas de reuniões para o desenvolvimento das melhorias.

Baseando-se nos resultados obtidos por meio do brainstorming e análise das quebras elaboradas pelo time de projeto, foram avaliados os aspectos de manutenção e estabelecido o plano de ação e melhorias para: desenvolver técnicas de análises de quebra; reduzir as atividades de manutenção não planejadas; maximizar a confiabilidade dos

equipamentos; minimizar a repetição das quebras graves; eliminar a causa raiz dos problemas e criar cultura de análise por parte dos envolvidos.

O objetivo do time de projeto era de ter um sistema de manutenção que tornaria a manutenção uma unidade de negócio comprometida como projeto, a qualidade do produto, custos otimizados e controlados, domínio na elaboração de planos para eliminação de falhas dos equipamentos e, sobretudo, a melhoria das atividades de manutenção e quebra zero. Sendo assim, para tornar possível o projeto, ou seja, tornar capaz de ser implementado, corrigir deficiências e atingir quebra zero o plano de ação foi dividido nos 04 passos do Ciclo PDCA conforme apresentado no anexo V.

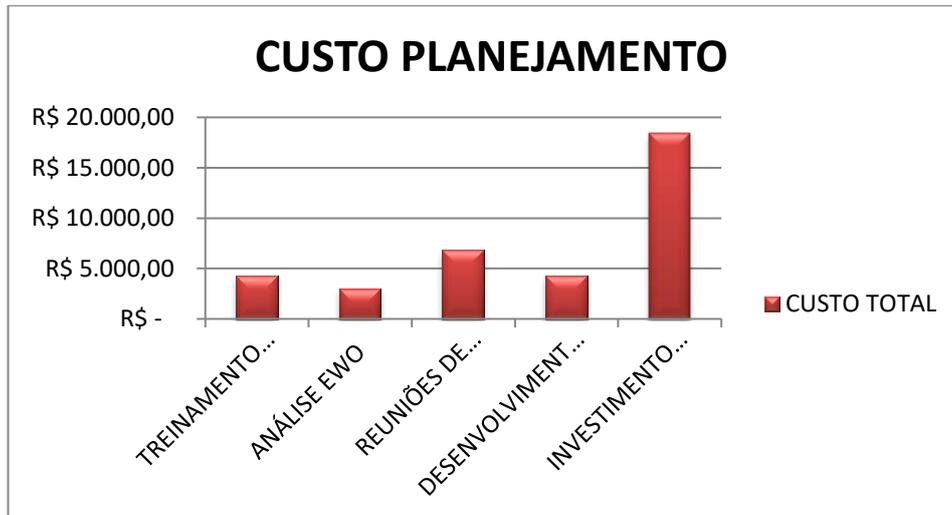
Tabela 7 – Investimento na etapa de planejamento.

RESULTADO DO PLANEJAMENTO						
ATIVIDADE	QTD.	MÃO-DE-OBRA	VALOR HH	HORAS	TOTAL DE HORAS	CUSTO TOTAL
TREINAMENTO METODOLOGIA PDCA	15 DIAS	TIME DE PROJETO (8 PESSOAS)	R\$ 17,85	2 HORAS/DIA	30 HORAS	R\$ 4.284,00
ANÁLISE EWO	42 Análise de quebra	TIME DE PROJETO (4 PESSOAS)	R\$ 17,85	1 HORA/EWO	42 HORAS	R\$ 2.998,80
REUNIÕES DE PLANEJAMENTO	DIÁRIA	TIME DE PROJETO (8 PESSOAS)	R\$ 17,85	1 HORA/DIA	48 HORAS	R\$ 6.854,40
DESENVOLVIMENTO KAIZEN	19 KAIZENS	TIME DE PROJETO (4 PESSOAS)	R\$ 17,85	3 HORAS/DIA	60 HORAS	R\$ 4.284,00
INVESTIMENTO TOTAL				180 HORAS		R\$ 18.421,20
CUSTO PERDA				R\$ 105.100,56		

Fonte: Dos Autores (2022)

O resultado da etapa de planejamento é apresentado na Tabela 7 e plotados na Figura 29, com um investimento de R\$ 18.421,20 todo ele despendido com o planejamento do projeto e treinamento do time de projeto. Conclui-se que ainda não foi possível observar um ganho, pois não há redução de perdas neste passo, mas foi possível capacitação e comprometimento dos envolvidos para conclusão do projeto.

Figura 29 – Custo total do planejamento



Fonte: Dos Autores (2022)

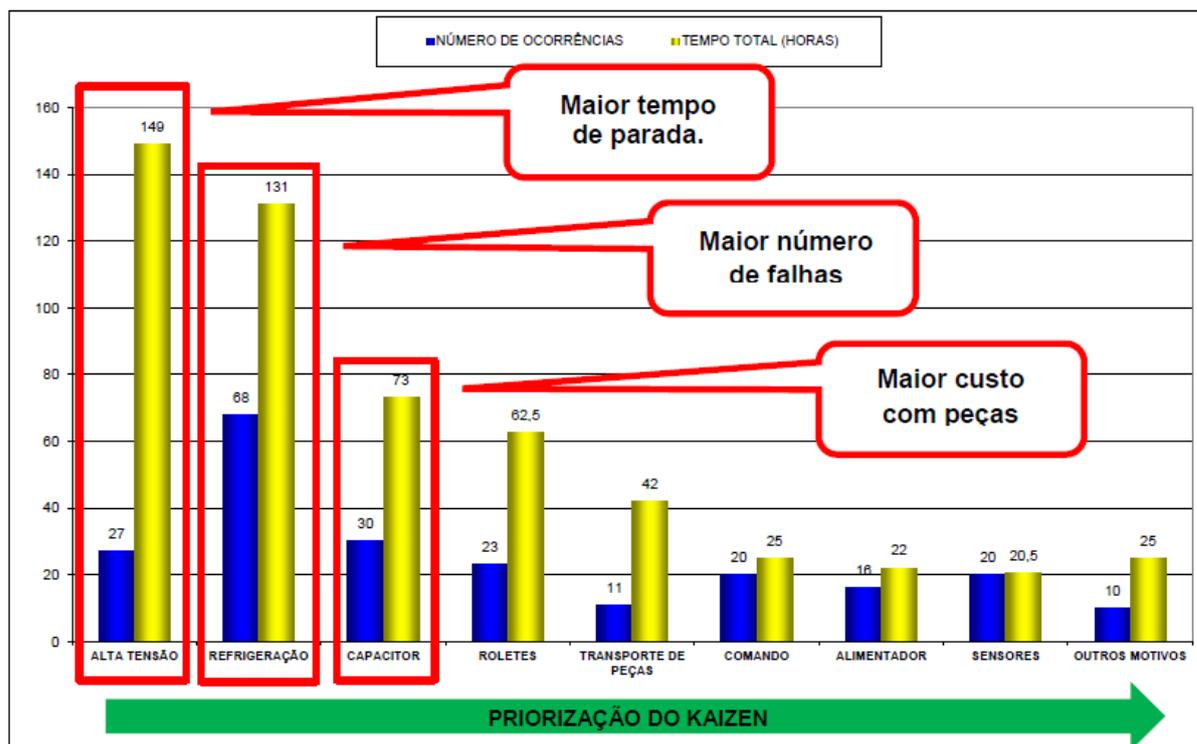
### 3.2.1 Execução do plano de ação - Restauração e eliminação da degradação acelerada da máquina

A partir deste momento o equipamento foi totalmente disponibilizado pela produção pelo período de 30 dias para que o time de projeto pudesse atuar com sua mão-de-obra. Depois de levantados e identificados os principais problemas, feito as análises das causas e levantado os pontos de degradação dos equipamentos, em seguida iniciou-se a restauração e eliminação da degradação acelerada da máquina onde foram realizadas atividades de modo coloca-los em excelente estado para seu perfeito funcionamento anexo VI. Foi necessário fazer a decomposição do equipamento em nível de componentes para listar e analisar cada item da máquina separadamente e para classificá-lo quanto à criticidade anexo VII. A estratégia utilizada foi primeiramente separar o equipamentos por conjuntos ou sistemas como: sistema elétrico, mecânico, sistema hidráulico e sistema pneumático, seguindo dos respectivos subconjuntos chegando por fim ao nível dos componentes tais como: motores, placas eletrônicas, sensores, rolamentos, válvulas, filtros, correias, etc. Em um segundo momento quando iniciado a reforma, foram trocados todos os componentes que sofrem desgaste no equipamento para acompanhamento do ciclo de vida e melhor definição de atividades de manutenção periódica. Este levantamento também facilitou a definição do que realmente se precisa ter em estoques máximos e mínimos para estruturar o plano de manutenção e para criar uma Gestão de

Peças de Reposição através do Software de Controle de Estoque. Ainda para critérios de estoque foram considerados as informações do fornecedor e catálogo do equipamento.

Para restabelecer e melhorar as condições originais de base da máquina e introduzir mudanças foram implantados 19 Kaizens de melhoria desenvolvidos no planejamento apontado com a análise das falhas com objetivo de: eliminar os principais itens de maiores perdas identificados, concentrando as atividades nas perdas prioritárias como no gráfico da Figura 30, cuja eliminação pode trazer maiores benefícios; reduzir drasticamente as ineficiências dos processos e eliminar as atividades de valor não agregado com a finalidade de aumentar a competitividade do custo do produto, ou seja, criar antes de investir. Durante a realização também foram introduzidas mudanças para suporte à manutenção autônoma e as atividades de manutenção profissional, melhorias que facilitasse a execução das atividades dos operadores e manutentores.

Figura 30 – Gráfico de priorização das atividades de melhoria no equipamento.



Fonte: Dos Autores (2022)

Nesta etapa foi possível em paralelo com a reforma do equipamento, organizar o posto de trabalho através da aplicação da metodologia 5S, derivado de cinco palavras japonesas que são *Seiri*, *Seiton*, *Seisou*, *Seiketsu* e *Shitsuke* e que traduzidas para a língua portuguesa como os Sentos de Utilização, Ordenação, Limpeza, Saúde e Autodisciplina.

O objetivo consistiu em padronizar uma configuração do local e do ambiente como uma forma segura, limpa, ergonômica e clara, dos quais todas as coisas desnecessárias foram removidas, alcançando assim a preservação do local de trabalho, propiciando um gerenciamento mais eficiente. Foi definido o layout do equipamento, posto de manutenção, disposição e formatação de bancadas, pintura dos equipamentos, divisórias, guarda-corpos e faixas na cor padrão conforme norma da empresa e a disposição de armário Kanban para o almoxarifado.

Após a implantação, verifica-se que melhorou a disciplina dos funcionários, a visão dos funcionários com relação ao processo produtivo tornou-se crítica, ou seja, o funcionário de manutenção, ao executar o serviço na área de produção, atenta para a limpeza e organização do local, a fim de não prejudicar o produto, e, além disto, o módulo veio agilizar os serviços de manutenção, melhorar a recuperação e a manutenção das condições de base, eliminou as atividades inúteis ou as que não agregavam valor ao processo, envolveram ativamente as pessoas e desenvolveu os conhecimentos sobre o equipamento e sua instalação.

A reforma permitiu padronizar a gestão de lubrificação e lubrificantes criando o Mapa de Lubrificação anexo VIII, melhorando a eficiência do equipamento e conseqüentemente aumentando a disponibilidade operacional dos componentes rotativos. Objetivando assim, o aumento da vida útil dos componentes que requerem lubrificação, definição correta de produto e quantidade, controle da qualidade do lubrificante (limpeza, especificação técnica), consumo total dos lubrificantes e custos.

### **3.2.2 Verificação dos resultados**

Para atingir os resultados desejados foi preciso exercer o controle e monitoramento sobre as causas do processo. Para isso foi necessário estabelecer itens de verificação sobre cada causa para garantir os resultados desejados para os itens de controle.

Para observar as soluções e verificar se os resultados dos Kaizens e reformas executados estavam progredindo em direção à meta, foi considerado um período de seis meses após a implementação das melhorias e foi criado um procedimento de atendimento para manutenção não planejada, conforme fluxograma anexo IX.

O controle é um ponto-chave em todos os aspectos da manutenção sendo um ingrediente fundamental para quem quer alcançar sucesso com o seu projeto de PDCA, ou seja, é necessário ter um bom planejamento para se ter a manutenção eficaz.

Com a implantação deste módulo, a manutenção estabeleceu uma metodologia para resolver os seus problemas de paradas de máquinas, custos, redução no consumo de peças e de problemas de manutenção que afetavam a qualidade do produto. A principal atividade desta etapa foi elaborar o plano de manutenção para evitar a ocorrência de falhas nos equipamentos.

Este trabalho foi realizado da seguinte forma: na etapa anterior foi necessário decompor todo o equipamento até o nível dos componentes e relacionados à criticidade de cada item conforme anexo VII. Passou-se então para a montagem do Plano de Manutenção, ou seja, relacionar os itens com um conjunto de atividades e procedimentos padrões para os componentes que sofrem desgastes bem como a periodicidade das atividades de manutenção. Para determinar as atividades foram coletadas informações sugeridas pelo fabricante do equipamento, a experiência acumulada da equipe em manutenção de equipamentos similares e ações originadas de análise de quebras. Estes conhecimentos consolidados formaram a origem da elaboração de um plano de manutenção eficaz resultando num plano contendo todas as ações preventivas necessárias para se tornar a base do departamento de manutenção. Os planos e periodicidades foram lançados no software CMMS, que ajudou a controlar melhor as atividades além de auxiliar no gerenciamento da manutenção.

Através da implantação do plano pôde-se dimensionar os recursos de mão-de-obra, material necessário para efetuar a manutenção e atender à necessidade do equipamento e programar as paradas da máquina. Resumindo a implantação deste módulo permitiu administrar os materiais de manutenção, reduzindo os desperdícios, organizando os almoxarifados e solicitando somente os materiais necessários para a realização das atividades de manutenção.

Depois de elaborado o plano, foi possível estimar as horas de manutenção destinadas a cada atividade de dado equipamento, informação esta, essencial para a elaboração de relatórios futuros para controle e gerenciamento de manutenção. Essa foi uma informação básica que permitiu estabelecer o cronograma de manutenção e todo esse processo passou a ser controlado pelo PCM.

Por fim iniciou o estudo para extensão da vida útil dos componentes e para tornar o equipamento mais robusto por meio de desenvolvimento de Kaizen. Foi preciso utilizar

o conhecimento e as habilidades das equipes de manutenção para projetar soluções, visando a continua extensão dos intervalos de inspeção, reforma ou troca das peças e componentes.

### 3.2.3 Padronização

O início dos trabalhos de padronização se deu com a revisão do plano de manutenção, através das análises de dados de falhas e com base nos resultados das intervenções e inspeções, gerando informações para revisão periódica do plano sendo essencial para conduzir os trabalhos de forma eficiente e confiável. Esta prática permite que o histórico e o conhecimento do equipamento estejam sempre atualizados para reduzir os tempos de parada.

Conforme estudo iniciado no passo anterior com o desenvolvimento de Kaizens para otimizar o tempo de vida dos componentes e para tornar o equipamento mais robusto foram implantadas as contramedidas contra os pontos fracos e extensão de vida útil dos componentes como os exemplos das Figuras 31, 32, 33.

Figura 31 – Kaizen desenvolvido para aumento da vida útil dos cabos de alta tensão.



Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 32 – Kaizen desenvolvido para tubulações do sistema de refrigeração.



Fonte: Dos Autores (2022)

Figura 33 – Kaizen desenvolvido para aumento da vida útil dos rolamentos dos rolos.



Fonte: Dos Autores (2022)

Com a revisão periódica do plano de manutenção foi possível transferir tarefas simples para manutenção autônoma tais como: inspeções visuais, lubrificação, limpeza e reaperto de itens que não exigiam nenhuma especialidade e nem uso de ferramentas especiais para a execução por parte dos operadores, melhorando o aproveitamento da

mão-de-obra da manutenção profissional objetivando no aumento da produtividade sem impor sobrecargas com horas-extras ou excesso de tarefas. Foi utilizado um filtro igual ao da Figura 34 para definição do tipo de manutenção que atuaria na atividade.

Figura 34 – Filtro para definição do tipo de manutenção



Fonte: Dos Autores (2022).

Outro meio para melhorar a execução e o gerenciamento das atividades de manutenção foi à criação de SMP e OPL, ferramentas de uso simples e eficaz que permite para os usuários uma padronização da execução das principais atividades de manutenção. O segredo deste documento consistiu na preparação de um texto fácil de compreender, com desenhos e fotografias. O objetivo foi padronizar o método de trabalho entre os manutentores, as atividades desenvolvidas pela mão de obra no posto de trabalho e definir a forma e o meio para a execução da atividade, ou seja, uma instrução de trabalho conforme anexo X.

Além disso, permitiu estabelecer o tempo padrão para cada atividade de manutenção e obter um padrão entre os manutentores. Com esses dados, o planejamento

tem como identificar os desperdícios, aumentar a produtividade, reduzir custos e garantir a qualidade do serviço prestado.

A implantação destas ferramentas aumentou a capacitação de novos profissionais em um espaço mais curto de tempo permitindo que mais profissionais passassem a executar tarefas mais complexas devido a clareza e a fácil compreensão dos documentos promovendo um ambiente de cooperação mútua.

Todos os padrões de manutenção estabelecidos foram disponibilizados para conhecimento de todos os membros da manutenção e demais envolvidos. As lições aprendidas e os conhecimentos adquiridos através das melhorias foram aplicados em componentes similares nos demais equipamentos da planta.

#### **4 RESULTADOS**

Nesta etapa são apresentados e discutidos os valores mensais dos indicadores de manutenção e acompanhamento dos objetivos, sendo então comparados os resultados com as metas estabelecidas.

O planejamento do sistema de manutenção foi à base para que as demais etapas viessem a concluir com sucesso os resultados, pois os módulos da metodologia PDCA estão interligados diretamente com os indicadores de performance de manutenção. Os indicadores de performance de manutenção foram plotados nos gráficos de Pareto individualmente, expondo a comparação com valores anteriores e posteriores à adoção do novo sistema de gerenciamento PDCA.

Para o processo de melhoria as seguintes metas foram estabelecidas: Quebra zero para o equipamento após a implantação completa da metodologia e maximizar a confiabilidade do equipamento através dos índices de manutenção (MTTR, MTBF e Disponibilidade) com a abordagem de baixo custo.

De modo geral, as melhorias esperadas nos indicadores após a implantação das ações propostas foram alcançadas. A seguir poderá ser verificado o comportamento dos indicadores analisados durante o período de um ano.

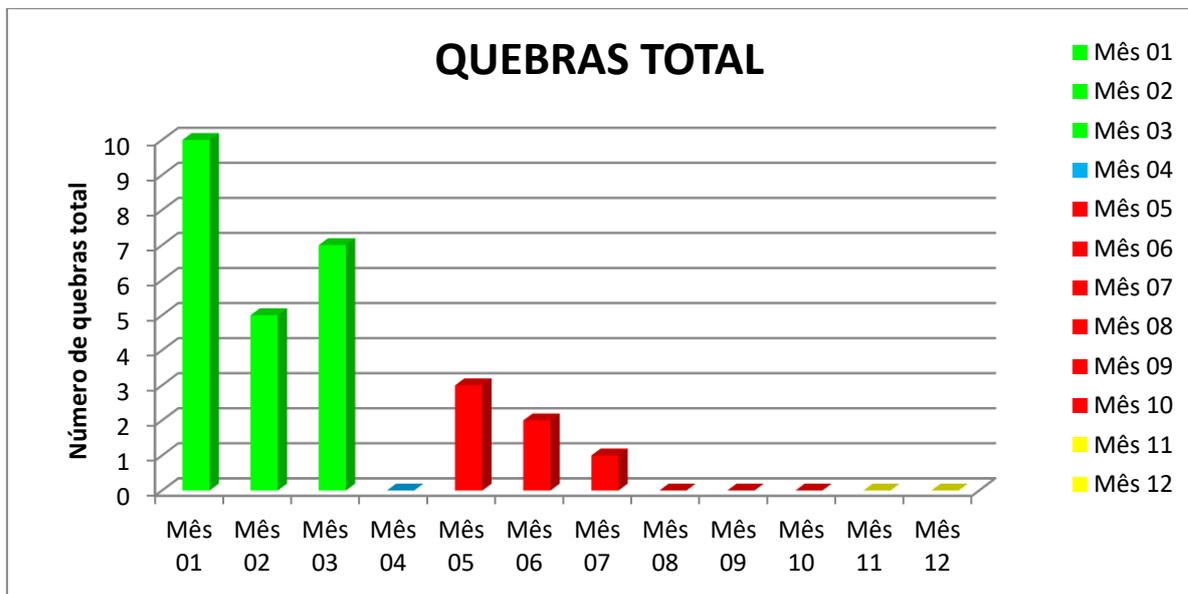
O gráfico da figura 35 mostra a evolução do indicador número de quebras. É possível verificar que este indicador apresentou redução após a execução do projeto (mês 05), até chegar a zero quebra.

Nota-se uma diminuição no número de quebras até mesmo na fase de planejamento do projeto, se comparando ao gráfico da Figura 23 anterior ao início do

projeto. Isto evidencia que o local onde a melhoria foi realizada realmente correspondia ao ponto crônico de falhas da máquina. Em outras palavras, se o local escolhido não fosse o mais crítico, não iria resultar numa melhoria tão alta nestes indicadores e não alcançaria a quebra zero.

O acompanhamento de Falhas após a implantação do projeto de melhoria é apresentado a seguir no gráfico na Figura 35.

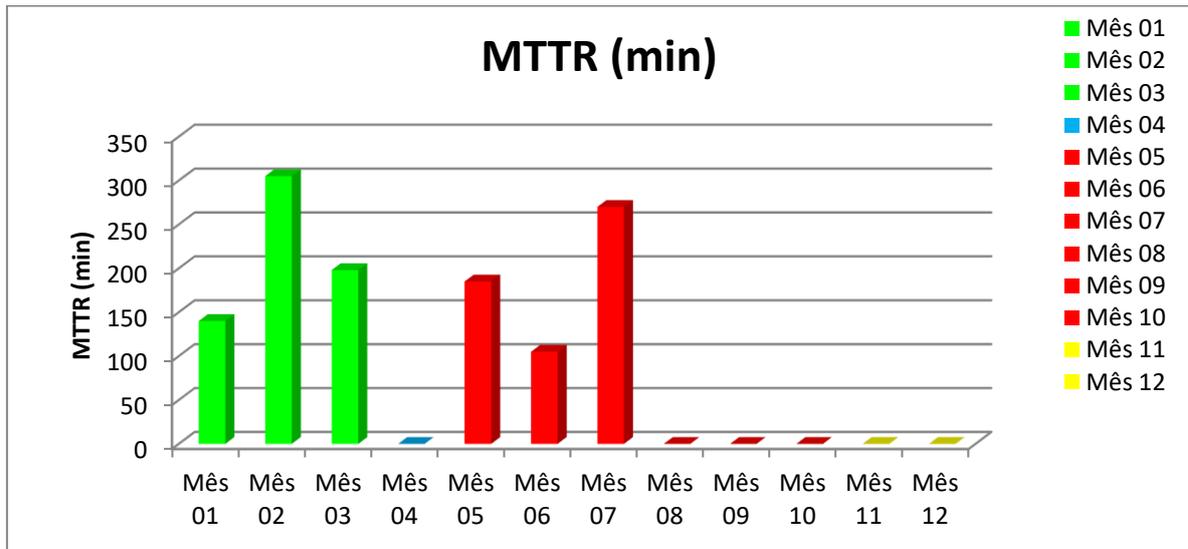
Figura 35 – Acompanhamento do número de quebras no período da aplicação da metodologia PDCA.



Fonte: Dos Autores (2022)

Considerando um período de seis meses após a execução das reformas e melhorias, na fase de verificação e acompanhamento observa-se que o tempo médio entre falhas zera assim que as quebras não acontecem mais. Pelo gráfico da Figura 36 vemos que os que a eficiência da manutenção veio melhorando após a reformulação no sistema de gerenciamento, ou seja, os resultados foram fundamentais para a diminuição do tempo de reparo.

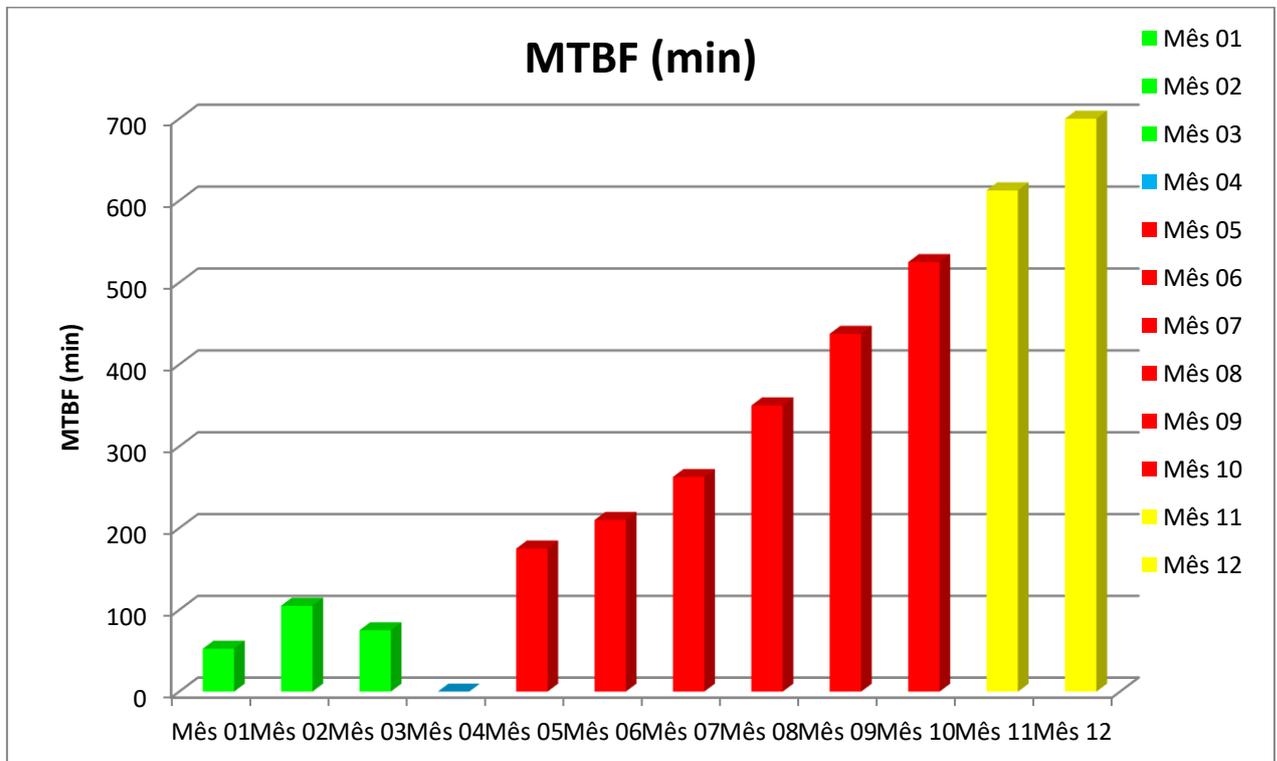
Figura 36 – Acompanhamento do MTTR no período da aplicação da metodologia PDCA.



Fonte: Dos Autores (2022)

O gráfico da Figura 37, mostra claramente o resultado de um trabalho bem elaborado e com consistência, devido ao aumento do tempo médio entre falhas permitindo maior disponibilidade da mão-de-obra.

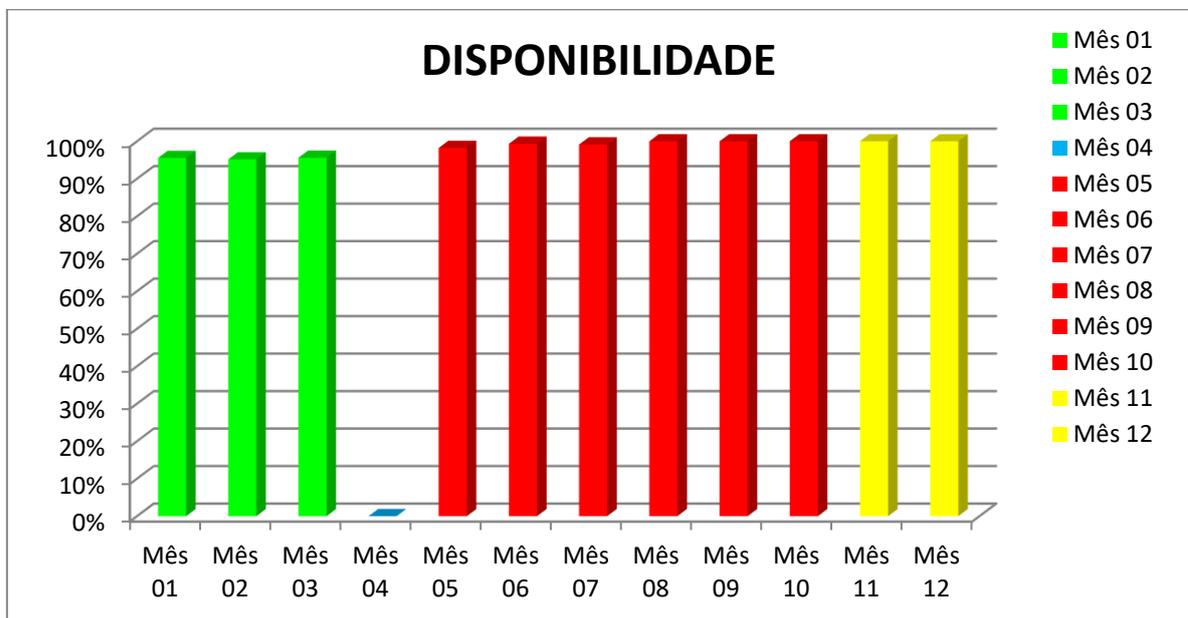
Figura 37 – Acompanhamento do MTBF no período da aplicação da metodologia PDCA.



Fonte: Dos Autores (2022)

Os dados de disponibilidade do equipamento coletados no período de um ano estão representados no gráfico da Figura 38. Quanto à tendência do índice de disponibilidade, pode-se observar uma melhoria ao longo do tempo, devida principalmente à implementação das ações chegando a 100%. Uma manutenção gerenciada adequadamente contribuirá para disponibilidade, qualidade e produtividade do produto, minimizará custos de produção, terá controle total e será mais ágil nos processos industriais garantindo uma vantagem competitiva para a empresa, sobre os concorrentes.

Figura 38 – Acompanhamento da Disponibilidade no período da aplicação da metodologia PDCA.



Fonte: Dos Autores (2022)

Com resultado da implantação da etapa da execução do plano de ação foi totalizado um investimento de R\$ 44.806,70 objetivando zerar as perdas. Pela análise dos conceitos e resultados apresentados pode-se concluir que a filosofia *Kaizen* foi de grande importância para alcançar o objetivo resultando num ganho de R\$ 60.293,90.

Os resultados apresentados decorrem da efetiva aplicação das práticas de manutenção, adotadas com base na revisão bibliográfica, e na experiência do pessoal envolvido na implantação deste sistema de gerenciamento.

Portanto, com estas ações de melhorias aplicadas em um equipamento pelo setor de manutenção consegue-se proporcionar atividades com um custo menor, com qualidade do produto, maior produtividade e boas condições de trabalho para seus colaboradores.

## 5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sendo os processos de melhoria contínuos, existem variadíssimas análises técnicas ainda possíveis de realizar, de modo a atingir um nível de eficiência superior ao apresentado na presente dissertação, isso para que o equipamento consiga atingir a Classe Mundial.

Sugere-se, para trabalhos futuros, que seja dada continuidade à metodologia PDCA utilizada, expandindo aos restantes equipamentos da linha de produção e ainda às restantes linhas da unidade industrial priorizando aqueles que foram apontados com maiores perdas pelo desdobramento de custos, principalmente o X, Y e Z. Criação de um sistema preditivo de manutenção baseado na condição. Intensificar sempre as ações para melhoria do Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e do Tempo Médio de Reparo (MTTR) do equipamento. Desenvolvimento de novas tecnologias para o processo, equipamento e ferramentas. Continuar com o desenvolvimento de Kaizen para uma melhoria contínua. Gestão dos custos, peças e habilidades dos envolvidos e gerar através das experiências obtidas informações para aquisição de novos componentes e equipamentos.

Como recomendação geral para obtenção de sucesso na implementação do PDCA não somente na indústria automobilística, mas em qualquer outro tipo de indústria, pode-se destacar o monitoramento e a divulgação de forma contínua e adequada, das melhorias de maneira a servir como elemento motivador para implementação da metodologia, e para sustentação dos resultados alcançados.

## 6 CONCLUSÃO

Com o decorrer da execução das atividades planejadas pelo Time de Projeto notou-se o que era esperado, ou seja, a melhoria dos índices dos indicadores de desempenho do setor. Se faz necessário e muito importante ressaltar a credibilidade adquirida durante esse período de trabalho. Todavia, a qualidade do serviço e do planejamento tem muito que melhorar mesmo tendo atingido a almejada quebra zero.

Trabalhe pensando em manutenção planejada. Assim, você estará aumentando a eficiência das máquinas e interagindo com os profissionais responsáveis por essa atividade. Para que isso aconteça, fortaleça sempre a parceria entre operador e manutentor, melhore seu nível de conhecimento, identifique as causas de quebra, estabeleça padrões e procedimentos que evitem paradas do maquinário, analise o processo de manutenção aplicado e proponha melhorias que visem otimização de custos e resultados. Realize um planejamento de atendimento que garanta a disponibilidade para qual o equipamento foi potencialmente construído.

Apesar de o passo inicial ter sido dado com sucesso, há inúmeras oportunidades de melhoria para o setor. A mudança de cultura, o estudo e aplicação de ferramentas e técnicas, nunca antes utilizadas, são tarefas que exigem um período de médio e longo prazo para colher bons resultados. Não é possível mudar o cenário bruscamente em pouco tempo.

Sendo assim, a constatação que o auxílio de novos métodos traz resultados favoráveis, serve de estímulo para todo o time da Manutenção sempre analisar e/ou implementar novas técnicas, continuando assim a melhoria contínua da imagem do setor e aumentando o lucro da empresa.

## 7 REFERÊNCIAS

- AHMAD, Rosmaini; Kamaruddin, Sharul; Azid., Abdul, I; Almanar, Indra, P. Failure analysis of machinery component by considering external factors and multiple failure modes - A case study in the processing industry. **Engineering Failure Analysis**, v. 25, p. 182–192,. 2012.
- ALAVIAN, Pooya; EUN, Yongsoon; LIU, Kang; MEERKOV, Semyon, M; ZHANG, Liang. The  $(\alpha, \beta)$ -Precise Estimates of MTBF and MTTR: Definition, Calculation, and Observation Time. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 18, n. 3, p. 1469–1477, 2021.
- ALLEN, Wes. *Preventative Maintenance and Root Cause Analysis for Critical Process Conveying Equipment*. Toronto: IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference, 2015. 13p.
- AL-TURKI, Umar. A Framework for Strategic Planning in Maintenance. **Journal of Quality in. Maintenance Engineering**, v. 17, n. 2, p. 150-162, 2011.
- ASSIS, M. B. de et al. **Normas para elaboração de trabalhos científicos**. Lavras: Unilavras, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Situação da Manutenção no Brasil** – Documento Nacional. Rio de Janeiro: Abraman, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR-5462: 1994. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BARBOSA, Felipe. C. S; ANDRADE, Paulo. C. R. Análise de falhas em equipamentos e a importância do planejamento da manutenção: uma aplicação em uma usina sucroalcooleira. **ForScience**, v. 7, n. 2, p. 1-22, 2019.
- BEN-DAYA, Mohamed. et al. **Handbook of maintenance management and engineering**. London: Springer, 2009. 741p.
- CAITANO, Déris,I. M. O; AZEVEDO, Beatriz, M; NUNES, Thiago, S; TRIERWEILLER, Andréa, C. *Gestão de falhas na produção: diferencial competitivo das organizações*. Salvador: ENGEP, 2009. 13p.
- CAMPOS, VICENTE, F. *Gerenciamento pelas diretrizes*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.
- COSTA NETO, Pedro. L. O. *Qualidade e competência nas decisões*. São Paulo: Edgar Blucher, 2007.

DANTAS, Saulo, M. *Implantação de um plano de manutenção em uma indústria de temperos: um estudo de caso*. Rio Grande do Norte. 2018. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso, Mossoró.

DARESTANI, Soroush, A; PALIZBAN, Tahereh.; IMANNEZHAD, Rana. Maintenance strategy selection: a combined goal programming approach and BWM-TOPSIS for paper production industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2020.

DUFFUAA, Salih, O; MOHAMMED, AL-Shayea, M. *Systematic and Effective Maintenance Capacity Planning*. Makkah: Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC), 2020. 5p.

EKIN, Tahir. Integrated maintenance and production planning with endogenous uncertain yield. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 179, p. 52–61, 2018.

GUPTA, Nivedita; SAINI, Monika; KUMAR, Ashish. Behavioral analysis of cooling tower in steam turbine power plant using reliability, availability, maintainability and dependability investigation. **Journal of Engineering Science and Technology Review**, v. 13, n. 2, p. 191–198, 2020.

HOLGADO, Maria; MACCHI, Marco; FUMAGALLI, Luca. Maintenance Business Model: A Concept for Driving Performance Improvement. **Journal of Strategic Engineering Assets Management**, v. 2, n. 2, p. 59-176, 2015.

JAQIN, Choesnul; ROZAK, Ahmad.; PURBA, Humiras H. Case Study in Increasing Overall Equipment Effectiveness on Progressive Press Machine Using Plan-do-check-act Cycle. **International Journal of Engineering, Transactions B: Applications**, v. 33, n. 11, p. 2245–2251, 2020.

JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE-JIMP. História da TPM e JIMP. Disponível em: <[www.jimp.or.jp](http://www.jimp.or.jp)>. 2011. Acesso em: 27 out. 2021.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KURNIATI, Nani.; YEH, Ruey-huey; LIN, Johg-Jang, L. Quality Inspection and Maintenance: The Framework of Interaction. **Procedia Manufacturing**, v. 4, p. 244–251, 2015.

LEE, Jay; SINGH, Jaskaran; NI, Jun; AZAMFAR, Moslem. Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing. **Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME**, v. 142, n. 11, 2020.

- LOPES, Rodrigo. Integrated model of quality inspection, preventive maintenance and buffer stock in an imperfect production system. **Computers and Industrial Engineering**, v. 126, p. 650–656, 2018.
- LUNDGREN, C.; BOKRANTZ, J.; SKOOGH, A. Performance indicators for measuring the effects of Smart Maintenance. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 70, n. 6, p. 1291–1316, 2020.
- MARTINS, Petronio. G.; LAUGENI, Fernando. P. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo:Saraiva, 2009. 584p.
- MILEHAM, A. R; CULLEY, S. J; Mcintosh, R. I; GEST, G. B; OWEN, G. W. Set-up reduction (SUR) beyond total productive maintenance (TPM). **Journal of Engineering Manufacture**, v. 211, n. 4, p. 253-260, 1997.
- MUNIR, Muhammad, A. *et al.* Problems and Barriers Affecting Total Productive Maintenance Implementation. **Technology & Applied Science Research**, v. 9, n. 5, p. 4818-4823, 2019.
- NALLUSAMY, S. Enhancement of productivity and efficiency of CNC machines in a small scale industry using total productive maintenance. **International Journal of Engineering Research in Africa**, v. 25, p. 119–126, 2016.
- NEPONUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo: Edegard Blücher, v1 e v2; 1989.
- NG CORRALES, Carmen, L; KORNER, Mario, E. H; Lambán, María, P. Overall equipment effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches. **Applied Sciences**, v. 10, n. 1988, 2020.
- NOGUEIRA, Ferreira, C; GUIMARÃES, Leonardo, M; SILVA, Margarete, D. B. Manutenção industrial: implementação da Manutenção Produtiva Total (Tpm). **E-Xacta**, v. 5, n. 1, 2012, p. 175-197.
- OTANI, Mario; MACHADO, Waltair, V. a Proposta De Desenvolvimento De Gestão Da Manutenção Industrial Na Busca Da Excelência Ou Classe Mundial. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, p. 1–16, 2008.
- PATRA, Nihar K.; TRIPATHY, Jayanta .K.; Choudhary, B. .K. Implementing the office total productive maintenance (‘office TPM’) program: a library case study. **Library Review**, v. 54, n. 7, p. 415-424, 2005.
- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

POMORSKI, Tom. *Managing overall equipment effectiveness [OEE] to optimize factory performance*. In: IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference Proceedings, 1997, pp. 33-36.

RANDHAWA, Jugraj. S.; AHUJA, Inderpret. S. 5S – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 34, n. 3, p. 334–361, 2017.

RASAY, Hasan; MEHRJERDI, Yahia, Z. An integrated model for economic design of chi-square control chart and maintenance planning. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 47, n. 12, p. 2892–2907, 2017.

RATNAYAKE, Chandima, R. M.; ANTOSZ, Katarzyna. Risk-Based Maintenance Assessment in the Manufacturing Industry: Minimisation of Suboptimal Prioritisation. **Management and Production Engineering Review**, v. 8, n. 1, p. 38–45. 2017.

ROSA, Rafael. A.; JUSTA, Marcelo. A. O. Padronização Das Atividades De Manutenção Em Uma Unidade Do Comando Da Aeronáutica. **Revista Gestão Industrial**, v. 10, n. 3, p. 514–533, 2014.

SALTORATO, P.; CINTRA, C. T. **Implantação de um Programa de Manutenção Produtiva Total em uma Indústria Calçadista em Franca**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XIX ENEGEP), 56, 1999. Rio de Janeiro, RJ. Anais.1999.

SEZER, Erim; ROMERO, David; GUEDEA, FEDERICO *et al.* *An Industry 4.0-Enabled Low Cost Predictive Maintenance Approach for SMEs*. In: IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC, 2018, Stuttgart: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2018, p. 1-8.

SILVA, E. L.; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de ensino à distância da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 118 p.

SINGH, Harwinder; JAIN, Abhishek; BHATTI, Rajbir S., ROEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: A TPM concept. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 35, n. 5, p. 503-516, 2015.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo : Editora Atlas, 2008.

SUPRIATNA, Ade; SINGGH, Moses, L; WIDODO, Erwin; KURNIATI, Nani. Overall equipment effectiveness evaluation of maintenance strategies for rented equipment. **International Journal of Technology**, v. 11, n. 3, p. 619–630, 2020.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **TPM/MPT Manutenção Produtiva Total**. 1º ed. São Paulo: 1993.

TAVARES, L. A. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro, Novo Polo Publicações e Assessoria Ltda, 1999.

VIANA, Herbert. R. G. *PCM planejamento e controle da manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, Harilaus Georgius. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. Nova Lima: INDG Tecnologia e serviços Ltda, 2004. 302p.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZÓIA, Kauê, A. P. *Ciclo PDCA aplicado na manutenção de sistemas de refrigeração*, Minas Gerais. 2018. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

ZONTA, T. et al. Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. **Computers and Industrial Engineering**, v. 150, 2020.

# ANEXOS

## ANEXO I – Análise de Causa Raiz

Figura 1: Exemplo de formulário para análise de causa raiz.

FORMULÁRIO DE ANÁLISE DE CAUSA RAÍZ										
<b>DESCRIÇÃO DA AVARIA E INTERVENÇÃO</b>				Manutentor:	Equipe:	Turno:	Data:	Número:		
Unidade:	Máquina:	Operação:	Tipo de Avaria:		Início da avaria:	Nº Ocorrência	Início do Intervento:	Fim do Intervento:		
	Código..:		Total	Parcial						
Descrição da avaria com esboço					Descrição da intervenção					
					<b>Intervenção Provisória</b>					
<b>ANÁLISE DA CAUSA RAIZ</b>										
Definição do Problema e Análise da Causa Raiz	Análise 5W1H					Lista das Possíveis Causas			Sim/Não	
	O que?	Em que conjunto ou sistema se encontra o problema?				1 -				
	Quando?	Quando ocorreu a avaria? (início, durante ou no final do turno, após setup, ou descrever a circunstância)				2 -				
	Onde?	Em qual sub-conjunto, sub-grupo ou componente ocorreu a falha?				3 -				
	Qual?	Através de que sintoma a avaria foi identificada? Acontece em uma condição particular?				4 -				
	Quem?	Houve erro humano? (manutenção ou operação) O problema é evidenciado por somente uma pessoa? Quem?				5 -				
	Como?	Quais as consequências da avaria no funcionamento do equipamento? (em relação as condições ideais)				6 -				
Análise dos Porquês Para Possíveis Causas										
Causa Real	1º Por quê	2º Por quê	3º Por quê	4º Por quê	5º Por quê					
Ações contra a Causa Raiz			Quem?	Quando?	<b>MOTIVO DA FALHA</b>					
1					<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ESCASSA ROBUSTEZ</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">SOLICITAÇÕES EXCESSIVAS</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">DEGRADAÇÃO</div> </div>					
2										
3					Influências externas (temperatura, vibração, etc)	Erro humano (Conhecimento insuficiente do manutentor ou operador)	Fragilidade de projeto	Manutenção insuficiente	Não observação das condições operacionais (velocidade, pressão, etc)	Inexistência de manutenção básica: - Limpeza - Inspeção - Lubrificação - Respeito
4					Peças faltantes ou inadequadas					
5										Padrão AM
6										
7										
8										
9										
Realizada por: Operador		Realizada por: Manutentor		Aprovado por: Eng. Manutenção			Assinatura: Equipe		Data:	

Figura 2: Passo a passo de preenchimento do formulário de análise de causa raiz.

Análise de Causa Raiz									
DESCRIÇÃO DA AVARIA E INTERVENÇÃO			Manutentor:	Equipe:	Turno:	Data:	Número EWO :		
Unidade:	Máquina:	Operação:	Tipo de Avaria:	Início da avaria:	Nº da Ocorrência:	Início do Intervento:	Fim do Intervento:		
	Código:		Total / Parcial						
Descrição da avaria com esboço				Descrição da Intervenção					
<p>- Descrição do problema diagnosticado pelo manutentor com esboço.</p> <p>(Descrição do defeito)</p>				<p>- Descrição do serviço executado com o maior nível de detalhamento possível, como: Peças substituídas; Sigla do componente; Serviço provisório; etc; - Utilizar verso se necessário</p>					
ANÁLISE DA CAUSA RAIZ									
Análise 5WH					Lista das Possíveis Causas			Sim/Não	
Definição do Problema e Análise da Causa Raiz	O que?	Em que produto e máquina estava trabalhando?			1 -				
	Quando?	Quando ocorreu a avaria? (Início, durante ou no final do turno, após a troca de tipo, ou descrever a circunstância)			2 -				
	Onde?	Grupo, sub-grupo, componente			3 -				
	Qual?	Algum sistema indicando a avaria? Acontece em uma condição particular?			4 -			<p>Descrever todas as situações que poderiam provocar a falha e investigar qual delas foi a causadora</p> <p>Após a investigação, escrever sim ou não ao lado se a situação é ou não a causadora da falha.</p>	
	Quem?	Houve erro humano? (manutenção ou operação) O problema é evidenciado por somente uma pessoa? Quem?			5 -				
	Como?	Quais as consequências da avaria no funcionamento do equipamento? (em relação às condições ideais)			6 -				
Análise dos Porquês Para Possíveis Causas									
Causa Real	1º Por quê	2º Por quê	3º Por quê	4º Por quê	5º Por quê				
<p>Após encontrar a causa primária para a falha (causa real) efetuar o estudo dos 5 Por quês para determinar a causa raiz da falha.</p> <p>Experiências mostram que parar no segundo ou terceiro porquê normalmente significa que o questionamento não foi fundo o suficiente.</p>									
Ações contra a Causa Raiz			Quem?	Quando?	Motivo da Abertura da O.S.				
1	<p>- Ações executadas ou à executar para sanar a causa raiz ou restabelecer o funcionamento normal do equipamento.</p> <p>- Melhorias executadas ou à executar para evitar a reincidência da causa raiz.</p> <p>- Ações programadas para restabelecer as condições ideais do equipamento.</p> <p>- No caso da não detecção da Causa Raiz, acompanhar a repetição ou a continuidade do problema para solicitar análises mais complexas.</p>			<p>ESCASSA ROBUSTEZ      SOLICITAÇÕES EXCESSIVAS      DEGRADAÇÃO</p>					
2				<p>Influências externas (temperatura, vibração, etc)      Erro humano      Fragilidade de projeto      Manutenção insuficiente      Não observação das condições operacionais (velocidade, pressão, etc)      Inexistência de manutenção básica (limpeza, lubrificação e resparço)</p>					
3				<p>Peças faltantes ou inadequadas      Conhecimento insuficiente do manutentor ou operador</p>					
4				<p>Indicar qual pilar deve ser acionado de acordo com o tipo de falha.</p>					
6				<p>TWTP      TWTP      TWTP</p>					
7				<p>Matriz de competências      Revisar padrão projeto      Calendário PM</p>					
8	<p>Sinalizar fornecedores      F1 EEM      PD      F1 4º PM EEM      PM      PD      AM</p>								
9	<p>- Quando necessário, inserir ações no plano de manutenção.</p> <p>- Estender essas ações para máquinas com mesmas características</p> <p>- Criar OPL, Instrução de trabalho, ...</p>								
Realizada por: Operador			Realizada por: Manutentor		Aprovado por: CPM, C.Equipe, Engº Posicionada		Assinatura: Equipe WCM		Data:

## ANEXO II – Procedimento Padrão de Manutenção.

Figura 3: Formulário de Procedimento Padrão de Manutenção.

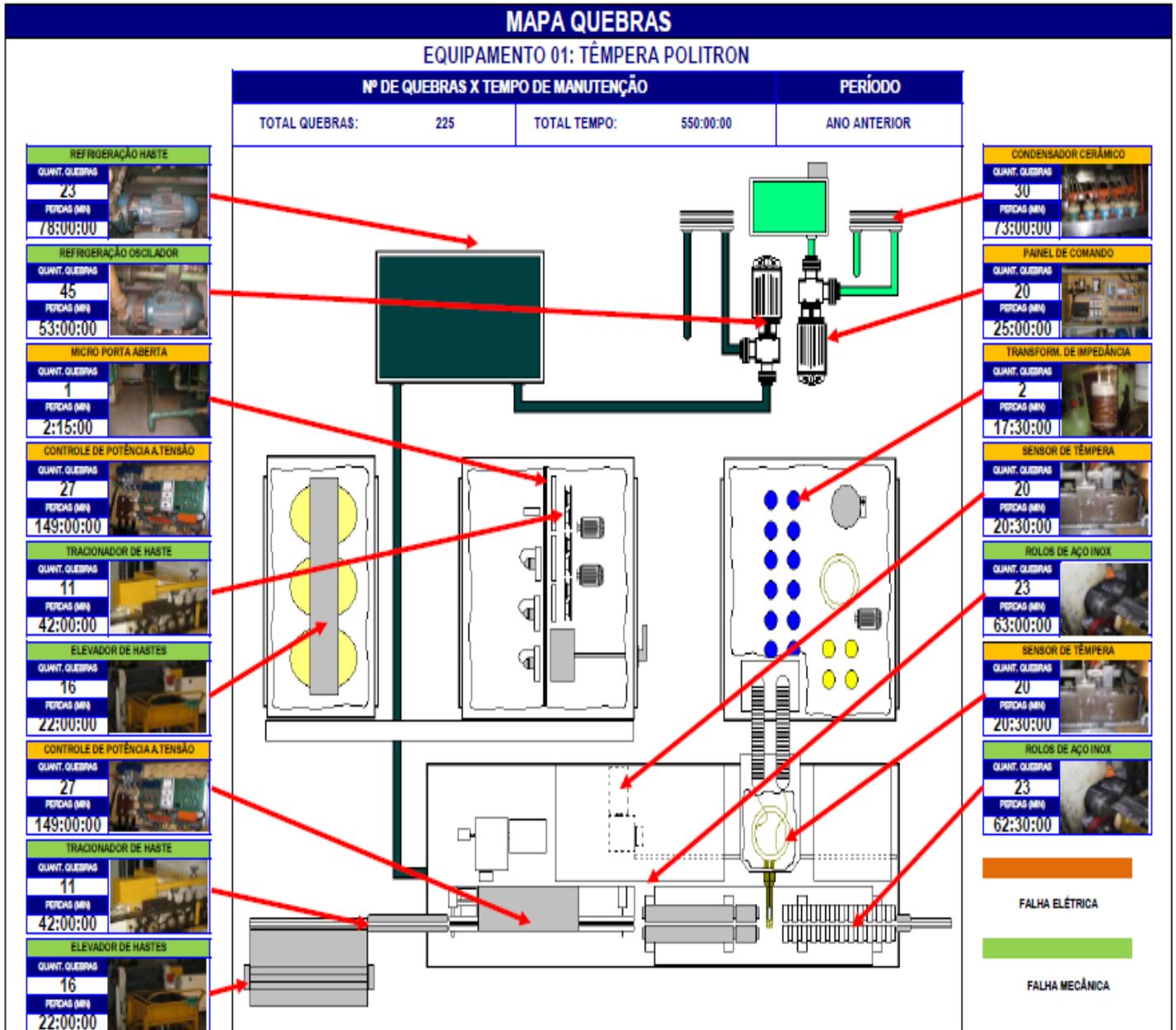
SMP PROCEDIMENTO PADRÃO DE MANUTENÇÃO				
DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE				
COMPONENTE: TROCADOR DE CALOR KRUPPER			SMP-Nº:	
MÁQUINA:		LINHA:	C.CUSTO	
OBJETIVO:				
ELABORADO POR:	DATA :	APROVAÇÃO:	VISTO:	REVISÃO:
REVISADO POR:		DATA:	DISTRIBUIÇÃO:	
		BP: 03861		
EPI'S NECESSÁRIOS		MATERIAIS NECESSÁRIOS		
Óculos de segurança				
Sapato de segurança				
Protetor auricular				
SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES		FOTOS		
<b>PASSO-1</b>				
<b>PASSO-2</b>				
<b>PASSO-3</b>				
<b>PASSO-4</b>				
<b>PASSO-5</b>				

Figura 4: Formulário OPL – Lição de Um Ponto.

		<b>LIÇÃO DE UM PONTO (OPL)</b>		OPL-000 Setor: Manutenção-	
TEMA:			CARGA HORARIA: 10 minutos		
<input type="checkbox"/> CONHECIMENTO BÁSICO		<input type="checkbox"/> PROBLEMA		<input type="checkbox"/> MELHORIA	
Elaboração / Data:		Aprovação / Data:		Data limite para exibição:	Instrutor(es):

ANEXO III – Mapa de Quebras

Figura 5: Mapa de Quebras



## ANEXO IV – Exemplos de Kaizens elaborados para implantação de melhoria no equipamento.

Figura 6: Kaizen para redução do tempo de limpeza do chuveiro da têmpera.

KAIZEN									Departamento	Time	Número do Projeto:	Centro de Custo
Tema: <b>REDUÇÃO DO TEMPO DE LIMPEZA DO CHUVEIRO DA TÊMPERA</b>												
<b>PLANEJAR</b> Dificuldade na limpeza do chuveiro da refrigeração da haste. O contato é soltado, e, para efetuar a limpeza é necessário usá-la.	<b>DESENVOLVER (Fazer)</b> Desenvolver chuveiro rosqueado para facilitar a limpeza e reduzir tempo.			<b>AGIR (Padronizar)</b> É necessário treinar os operadores? <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Sim - 1ª de 01/...  Existe a possibilidade de introduzir este kaizen em outra área? <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Sim - Outras têmperas	<b>CHECAR</b> Tempo de limpeza antes: 01:00 Tempo de limpeza depois: 00:30 Anual { Antes 01:00 x 3 x semanas x 52 semanas = 156:00 Depois 00:30 x 3 x semanas x 52 semanas = 78:00 custo = 4 HORAS DE TORNEIRO Antes: 156:00 x 18,64081 = 2.907,97 Depois: 78:00 x 18,64081 = 1.453,98 Custo: 4 x 20,00 = 80,00	Data de Abertura Data de Fechamento Tempo Inicial do Processo (min): Tempo Após as Melhorias do Processo (min): Diferença (%) Antes e Depois Custo Benefício B/C						

Figura 7: Kaizen para confeccionar e instalar proteção para corrente de transmissão dos rolos.

KAIZEN									Departamento	Time	Número do Projeto:	Centro de Custo
Tema: <b>PROTEÇÃO PARA CORRENTE DE TRANSMISSÃO DOS ROLOS</b>												
<b>PLANEJAR</b> Correias de transmissão no tração da haste sem proteção e com risco de acidente.	<b>DESENVOLVER (Fazer)</b> Instalar proteção de acrílico com visor para facilitar inspeção.			<b>AGIR (Padronizar)</b> É necessário treinar os operadores? <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim - 1ª de 01/...  Existe a possibilidade de introduzir este kaizen em outra área? <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim - qual:	<b>CHECAR</b> B/C = SEGURANÇA	Data de Abertura Data de Fechamento Tempo Inicial do Processo (min): Tempo Após as Melhorias do Processo (min): Diferença (%) Antes e Depois Custo Benefício B/C						

Figura 8: Kaizen para mudança no comando elétrico do equipamento.

<b>KAIZEN</b>									Departamento	
Tema: <b>MUDANÇA NO COMANDO ELÉTRICO</b>									Time	
									Número do Projeto:	Centro de Custo:
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>PLANEJAR</b> <small>Qual é o problema?</small> </div> <p style="font-size: small;">Muitos pontos de comando elétrico com muita paixão de interligação, dificultando o espaço e com áreas de possibilidade de falhas. Controlador lógico obsoleto, sem reserva e não mais encontrado no mercado. O programa do CLP sempre será o mesmo.</p> <p><i>Tempers - MMC 43861</i></p> <p><small>Quando o problema ocorre? Se sim, como, frequência, etc.)</small></p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>DESENVOLVER (Fazer)</b> <small>Qual é a sugestão para resolver o problema?</small> </div> <p style="font-size: small;">Eliminar pontos secundários e montar um painel com fresado e um controlador lógico largamente empregado na planta.</p> <p><small>Recursos utilizados: (Cite código de área de atuação) Material/Quantidade (Dieta, software, sensores, etc.) Mão de obra (Mecânico, elétrico, soldador, soldagem, operador, etc.)</small></p>									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>AGIR (Padronizar)</b> <small>(Previsão para a equipe/área)</small> </div> <p style="font-size: small;">É necessário treinar os operadores?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não - Não se aplica</p> <p style="font-size: small;">Existe a possibilidade de introduzir este kaizen em outra área?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não - Não se aplica</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>CHECAR</b> <small>(Previsão para a equipe de manutenção)</small> </div> <p style="font-size: small;">Qual foi o benefício? Compare antes e depois.</p> <p><small>(Se sim, indique: redução de tempo, organização, segurança, ergonomia, normatização, qualidade de trabalho, eliminação de perigos, ambiente acadêmico, manutenção, etc.)</small></p> <p style="font-size: small;">Facilidade para inspeções, manutenção e montagem. O controlador lógico já é largamente empregado na planta e todos os Eletrônicos tem facilidade em sua programação. Sistema mais compacto e com maior possibilidade de falha.</p>									
<b>Data de Abertura</b>	<b>Planilha de Cálculo</b> <small>(Previsão para a equipe/área)</small>	<b>Custo</b> <small>(Previsão para a equipe/área)</small>	<b>Benefício</b> <small>(Previsão para a equipe/área)</small>	<b>BC</b> <small>(Previsão para a equipe/área)</small>						
	<p style="font-size: small;">Custo</p> <p style="font-size: small;">Manutenção e instalação do novo painel de comando: R\$8.500,00</p>	<p>R\$ 8.500,00</p>	<p>R\$ 9587,60</p>	<p>1,05</p>						
<b>Data de Fechamento</b>	<p style="font-size: small;">Benefício:</p> <p style="font-size: small;">Quebras ocorridas no período de 2 anos anterior: 36,25 x R\$240 = 8700,00</p> <p style="font-size: small;">CLP obsoleto, seria substituído pelo modelo novo</p> <p style="font-size: small;">(4 anos x 300 fabricações) ao custo de R\$ 3000,00</p>	<p style="font-size: small;">Novidade</p> <p style="font-size: small;">Correção:</p>								

**ANEXO V – Plano de Ação.**

Figura 9: Desenvolvimento e implantação do plano de ação para execução do projeto.

PASSOS - PDCA	ANO											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Planejamento - Atividades Preliminares de Preparação.</b>												
1.1 - Levantamento do equipamento de maior perda com manutenção.	█											
1.2 - Definição do equipamento para implantação do projeto.	█											
1.3 - Levantamento dos conjuntos e componentes com maior incidência de falhas.	█											
1.4 - Levantamento do número de quebras do equipamento.	█											
1.5 - Levantamento do MTTR do equipamento.	█											
1.6 - Levantamento do MTBF do equipamento.	█											
1.7 - Levantamento da Disponibilidade do equipamento.	█											
1.8 - Definição do Time de Projeto.	█											
1.9 - Mapeamento das competências do time de projeto.	█	█										
1.10 - Treinamento do Time de Projeto.	█	█										
1.11 - Implantação da Gestão a Vista.	█	█										
1.12 - Reuniões ao Pé da Máquina.	█	█										
1.13 - Levantamento dos pontos de degradação.	█	█										
1.14 - Definição do Mapa de Quebras.	█	█										
1.15 - Reuniões de Planejamento.	█	█										
1.16 - Análise de Causa Raiz.	█	█										
1.17 - Desenvolvimento de Kaizen.	█	█										
1.18 - Estabelecimento do Plano de Ação de reforma do equipamento.	█	█										
<b>Execução - Eliminação e prevenção da degradação acelerada</b>												
2.1 - Restauração e eliminação da degradação do equipamento.	█	█										
2.2 - Decomposição do equipamento ao nível de componentes.	█	█										
2.3 - Classificação dos componentes quanto a criticidade.	█	█										
2.4 - Troca dos componentes que sofrem desgastes.	█	█										
2.5 - Acompanhamento o ciclo de vida útil dos componentes.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
2.6 - Implantação da Gestão de Peças de Reposição.	█	█										
2.7 - Implantação dos Kaizens desenvolvidos.	█	█										
2.8 - Introdução de mudanças para suporte à manutenção autônoma e manutenção profissional.	█	█										
2.9 - Implantação da Metodologia 5s.	█	█										
2.10 - Criação do Mapa de Lubrificação e Lubrificantes.	█	█										
<b>Verificação - Acompanhamento dos resultados</b>												
3.1 - Monitoramento das melhorias.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3.2 - Criação do fluxograma para tendimento de manutenção não planejada.	█	█										
3.3 - Criação do Plano de Manutenção Preventiva.	█	█										
3.4 - Lançamento do Plano de Manutenção no software CMMS para gerenciamento.	█	█										
3.5 - Desenvolvimento de Kaizens para extensão da vida útil dos componentes.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3.6 - Desenvolvimento de Kaizens para aumento da robustez do equipamento.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
<b>Padronização - Melhoria do projeto</b>												
4.1 - Revisão do Plano de Manutenção.	█	█										
4.2 - Implantação dos Kaizens para aumento da vida útil e aumento da robustez do equipamento.	█	█										
4.3 - Transferência de atividades para a manutenção autônoma.	█	█										
4.4 - Criação de SMP's para a manutenção.	█	█										
4.5 - Criação de OPL's para manutenção e produção.	█	█										
4.6 - Expansão para equipamentos similares.	█	█										
4.7 - Apresentação dos resultados.	█	█										
4.8 - Apresentação de sugestões e melhorias para trabalhos futuros	█	█										

ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO  
**PLANO DE AÇÃO**

**ANEXO VI – Registro de reforma do equipamento.**

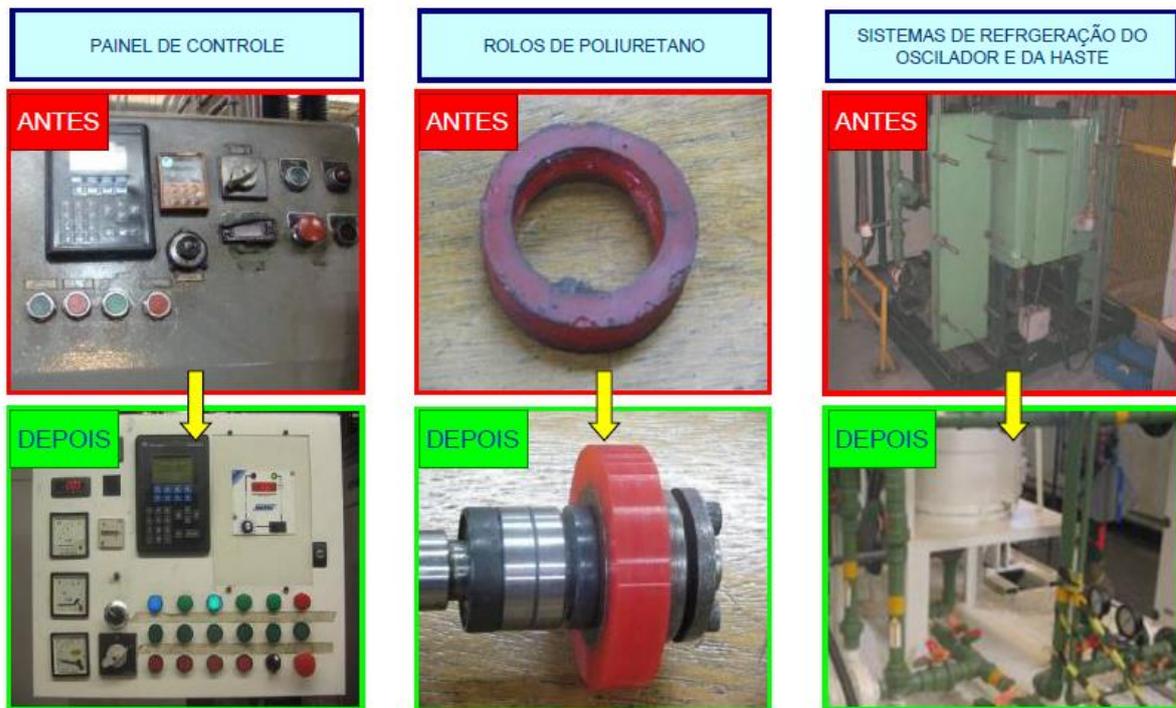
Figura 10: Eliminação da deterioração acelerada nos componentes.



Figura 11: Eliminação da deterioração acelerada nos componentes.

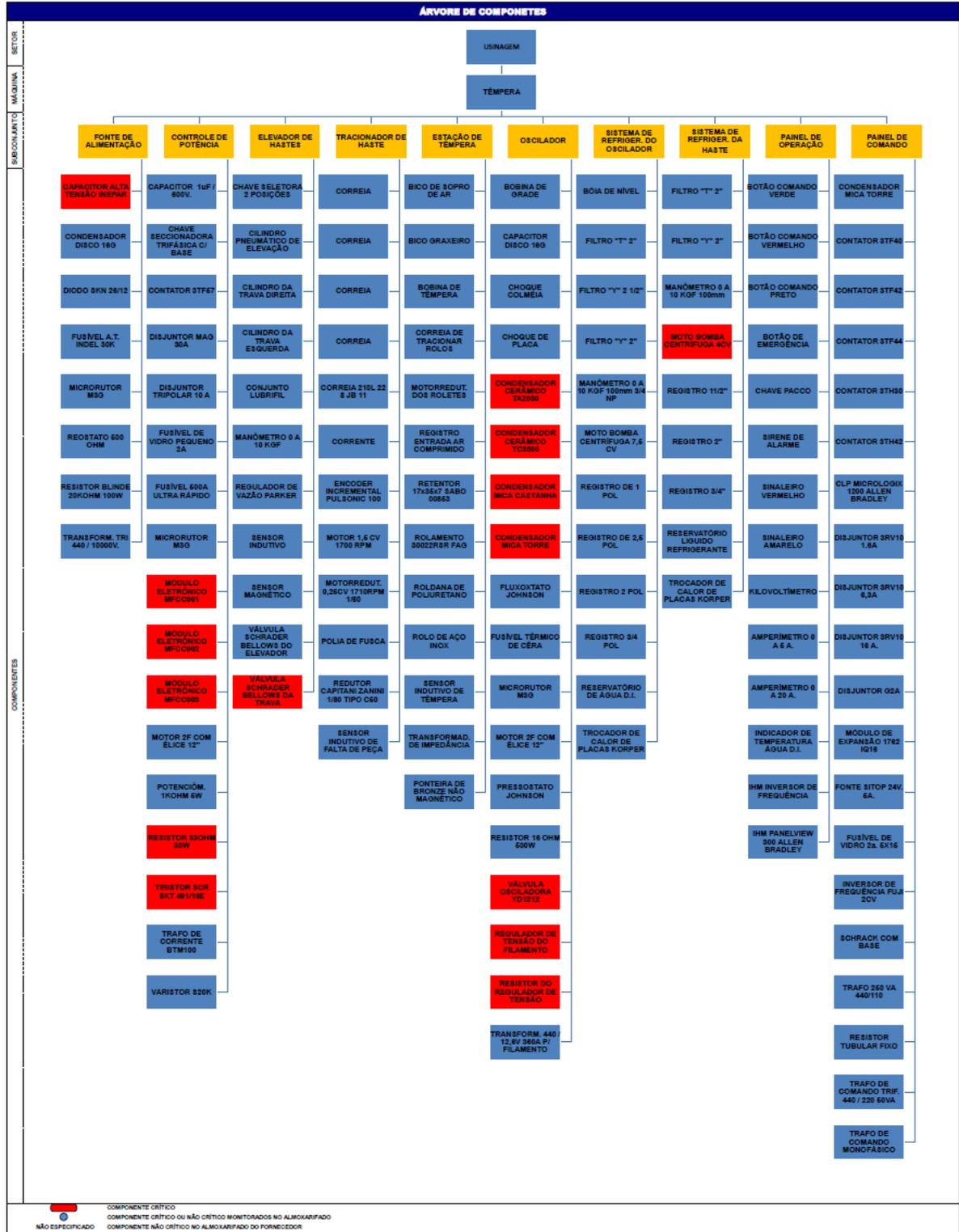


Figura 12: Eliminação da deterioração acelerada nos componentes.



## ANEXO VII – Árvore de componentes

Figura 13: Decomposição do equipamento em componentes e classificação quanto a criticidade.



ANEXO VIII – Mapa de Lubrificação

Figura 14: Mapa de lubrificação.

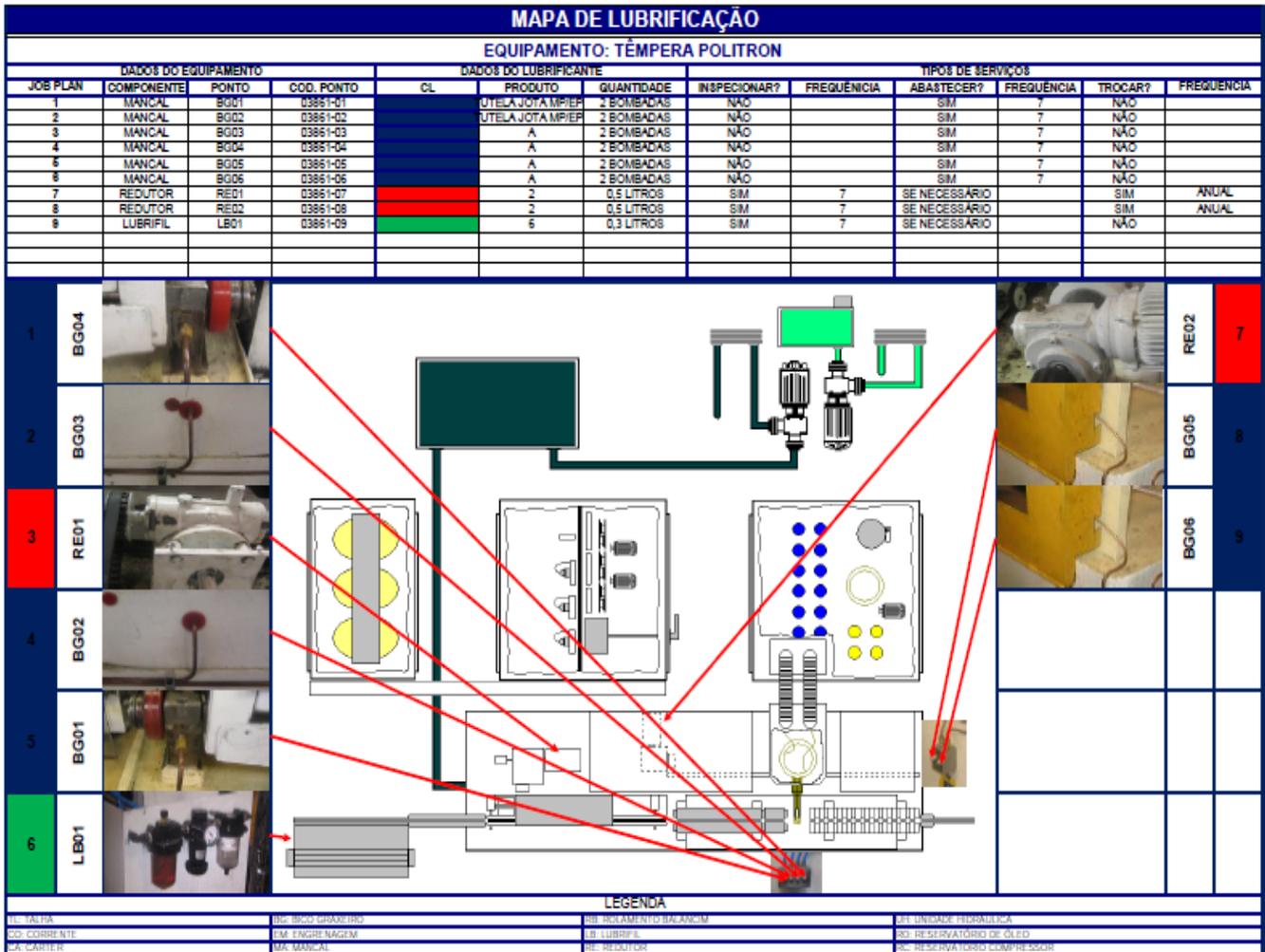
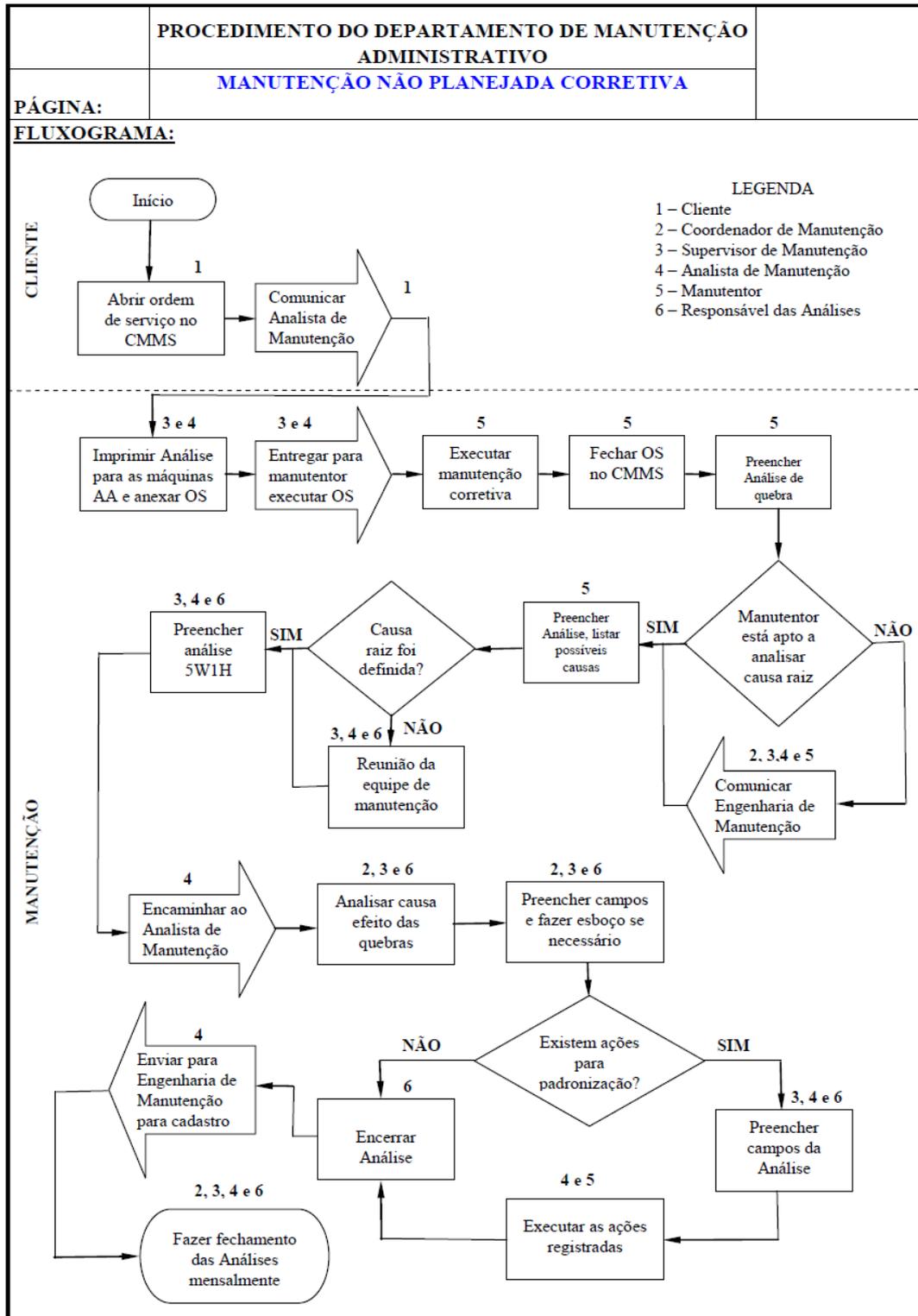
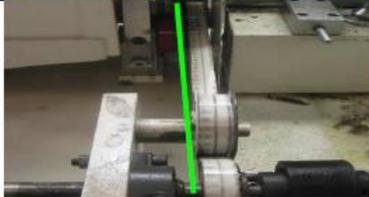


Figura 15: Sistemática para atendimento de manutenção corretiva (não planejada).



## ANEXO IX – Padronização das atividades de manutenção.

Figura 16: Exemplo de SMP – Procedimento Padrão de manutenção.

SMP PROCEDIMENTO PADRÃO DE MANUTENÇÃO				
INSPEÇÃO DE CORREIAS SINCRONIZADORAS				
COMPONENTE: Correias sincronizada				SMP-Nº: XXX
MÁQUINA: TÊMPERA			LINHA:	C.CUSTO XXX
OBJETIVO: Estabelecer procedimento padrão para ajuste, alinhamento e tensionamento em correias sincronizada.				
ELABORADO POR:	DATA :	APROVAÇÃO:	VISTO:	REVISÃO:
REVISADO POR:	DATA:	DISTRIBUIÇÃO:		
EPI'S NECESSÁRIOS		MATERIAIS NECESSÁRIOS		
Óculos de segurança		Chave allen 5/16.		
Sapato de segurança				
Protetor auricular				
SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES		FOTOS		
<b>PASSO-1</b>  Desligar a chave geral da máquina e colocar o cartão de "Equipamento em Manutenção".				
<b>PASSO-2</b>  Retirar a proteção da correia.	 			
<b>PASSO-3</b>  Inspeccionar se existe desgaste, rasgos, dobras, deformações ou dentes danificados na correia.	 			
<b>PASSO-4</b>  Verificar o alinhamento entre a correia e as polias.				
<b>PASSO-5</b>  Se a correia estiver muito frouxa ou muito esticada, proceder o tensionamento através da polia esticadora.	 			

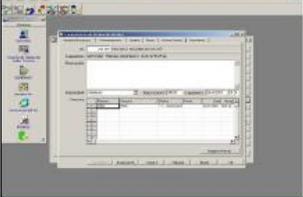
SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES	FOTOS
<p><b>PASSO-6</b></p> <p>Recolocar as proteções da correia.</p>	
<p><b>PASSO-7</b></p> <p>Religar a chave geral e retira cartão de segurança.</p>	
<p><b>PASSO-08</b></p> <p>Preencher de caneta preta na respectiva data no calendário de manutenção preventiva localizado no painel de gestão a vista da máquina</p>	
<p><b>PASSO-09</b></p> <p>Cumprir OS no CMMS</p>	

Figura 17: Exemplo de OPL – Lição de Um Ponto.

<b>LIÇÃO DE UM PONTO (OPL)</b>		OPL-000 Setor: Manutenção -
TEMA:	<b>Sistema de fixação das mangueiras de refrigeração da Têpera</b>	CARGA HORÁRIA: <b>10 minutos</b>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>CONHECIMENTO BÁSICO</b>	<input type="checkbox"/> <b>PROBLEMA</b>	<input type="checkbox"/> <b>MELHORIA</b>
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>ERRADO</b></div>  <div style="background-color: red; color: white; padding: 5px; margin-top: 5px; font-size: x-small;"><b>A ABRAÇADEIRA DE AÇO SOFRE AÇÃO DA RADIOFREQUÊNCIA, AQUECE E SOLTA A MANGUEIRA.</b></div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: green; color: white; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>CERTO</b></div>  <div style="background-color: green; color: white; padding: 5px; margin-top: 5px; font-size: x-small;"><b>MANGUEIRA PRESA COM NYLON NÃO SOFRE AÇÃO DA RADIOFREQUÊNCIA</b></div> </div> </div>		
Elaboração / Data:	Aprovação / Data:	Data limite para exibição:
		Instrutor(es):