



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LEONARDO VIEIRA MICHELETTO

**ESTUDO SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DA MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL PARA A EFICIÊNCIA GERAL DE
EQUIPAMENTOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

OURO PRETO - MG
2023

LEONARDO VIEIRA MICHELETTO

**ESTUDO SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DA MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL PARA A EFICIÊNCIA GERAL DE
EQUIPAMENTOS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro
Preto como requisito para a obtenção
do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: Zirlene Alves da Silva Santos, PhD

**OURO PRETO – MG
2023**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M623e Micheletto, Leonardo.

Estudo sobre a contribuição da manutenção produtiva total para a eficiência geral de equipamentos em processos industriais. [manuscrito] / Leonardo Micheletto. - 2023.

40 f.

Orientadora: Profa. Dra. Zirlene Santos.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Equipamentos industriais - Eficiência industrial. 2. Manutenção Produtiva Total (MPT). 3. Overall Equipment Effectiveness (OEE). I. Santos, Zirlene. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

LEONARDO VIEIRA MICHELETTO

Estudo sobre a contribuição da manutenção produtiva total para a eficiência geral de equipamentos em processos industriais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro

Aprovada em 27 de Novembro de 2023

Membros da banca

PhD - Zirlene Alves da Silva Santos - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto
DSc -Margarida Márcia Fernandes Lima - Universidade Federal de Ouro preto
DSc - Claudio Márcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto

Zirlene Alves da Silva Santos, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06 de Dezembro de 2023



Documento assinado eletronicamente por **Zirlene Alves da Silva Santos**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/12/2023, às 12:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0637135** e o código CRC **84295C22**.

RESUMO

Com a globalização as indústrias estão cada vez mais buscando formas de eliminar perdas, promovendo alta competitividade dentro do mercado que se desenvolve rapidamente, novas tecnologias e metodologias aperfeiçoam os processos de fabricação acirrando a concorrência. Este trabalho tem o objetivo de analisar a contribuição da Manutenção Produtiva Total para a eficiência geral dos equipamentos de um processo de fabricação em que o objeto de estudo é derivado de uma indústria do setor de eletrodomésticos da linha branca. A eficiência geral dos equipamentos, também intitulada como OEE (*Overall Equipment Efficient*) é um indicador altamente reconhecido no mundo acadêmico, sendo recomendado para gestão de perdas e melhoria de produtividade. Este trabalho contribui para a melhoria da indústria, demonstrando a relevância de estudos acadêmicos para a redução de custos, ganho de produtividade, qualidade e segurança. O método utilizado nesta pesquisa foi a bibliográfica, descritiva, qualitativa, quantitativa e utiliza técnica de pesquisa-ação. Para tal fim foram medidos os indicadores do OEE antes e após a implementação da Manutenção Produtiva Total e como ocorreu a implementação. Para analisar a contribuição foi feita uma análise comparativa dos resultados medidos com o indicador do OEE. O trabalho permitiu analisar um aumento de 9,6% de Disponibilidade e 17,6% de Performance, que resultou no ganho de 23,2% do OEE, validando a contribuição da Manutenção Produtiva Total.

Palavras-chave: Manutenção, Manutenção Produtiva Total, Eficiência Geral dos Equipamentos, OEE, Indicadores.

ABSTRACT

With globalization, industries are increasingly seeking ways to eliminate losses, promoting high competitiveness within a rapidly developing market. New technologies and methodologies enhance manufacturing processes, intensifying competition. This study aims to analyze the contribution of Total Productive Maintenance (TPM) to the overall efficiency of equipment in a manufacturing process, with the focus on a product derived from the white goods sector of the appliance industry. Overall Equipment Efficiency (OEE), a widely recognized indicator in the academic world, is recommended for loss management and productivity improvement. This research contributes to industry enhancement by demonstrating the relevance of academic studies for cost reduction, productivity gains, quality, and safety. The research methodology employed includes literature review, descriptive, qualitative, quantitative approaches, and action research techniques. The study measured OEE indicators before and after the implementation of Total Productive Maintenance, along with an examination of the implementation process. A comparative analysis of the measured results with the OEE indicator was conducted to assess the contribution. The findings revealed a 9.6% increase in Availability and a 17.6% improvement in Performance, resulting in a 23.2% gain in OEE, thereby validating the contribution of Total Productive Maintenance.

Key-words: Maintenance, Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, OEE, Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perdas mensuradas no OEE através do tempo operacional	10
Figura 2: Imagem ilustrativa da caixa de engrenagem	19
Figura 3: Par de engrenagens cilíndricas	20
Figura 4: Gráfico de Pareto de Perdas de Produção	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Benefícios estipulados com a melhoria dos indicadores do objeto de estudo.	3
Tabela 2: Descrição dos Pilares da Manutenção Produtiva Total	8
Tabela 3: Relação entre as grandes perdas de Nakajima e os índices do OEE	11
Tabela 4: Conceitos do Sistema Toyota de Produção.	13
Tabela 5: Pilares técnicos e gerenciais do WCM.	14
Tabela 6: Materiais utilizados no estudo.	22
Tabela 7: Indicadores e variáveis utilizados no estudo.	23
Tabela 8: Valores utilizados para o cálculo dos parâmetros	25
Tabela 9: Parâmetros para o cálculo do OEE antes da TPM	26
Tabela 10: Classificação de perdas de produção.	28
Tabela 11: Plano de execução para implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM	29
Tabela 12: Parâmetros do OEE após a TPM	30
Tabela 13: Comparativo do antes e depois da TPM.	31

SUMÁRIO

1 Introdução	1
1.1 Formulação do problema	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Geral:	4
1.3.2 Específicos	4
1.4 Estrutura do Trabalho	4
2 Revisão Bibliográfica	6
2.1 Manutenção Produtiva Total	6
2.1.1 Visão Geral	6
2.2 Eficiência Global do Equipamento (OEE)	9
2.3 Manufatura de Classe Mundial (WCM)	13
2.3.1 Visão Geral	13
2.3.2 Pilares Gerenciais	14
2.3.3 Pilares Técnicos	16
2.4 Processo de Fabricação da Caixa de Engrenagem da Lavadora	18
2.4.1 Sistema de Produção	18
2.5 Caixa de Engrenagem da Lavadora de Roupas	19
2.5.1 Sistema de Transmissão	19
2.5.2 Engrenagem	20
3 Metodologia	21
3.1 Tipo de Pesquisa	21
3.2 Materiais e Métodos	22
3.2.1 Materiais	22
3.2.2 Métodos	22
3.3 Variáveis e Indicadores	23
3.4 Instrumento de Coleta de Dados	23
3.5 Tabulação e Análise de dados	23
3.6 Considerações Finais do capítulo	24
4 Resultados e Discussão	25
5 Conclusões e Recomendações	33
5.1 Conclusões	33
5.2 Recomendações	34
5.3 Limitações do Estudo	36
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	37

1 Introdução

1.1 Formulação do problema

O mercado possui as mais diversas ramificações dentre elas destaca-se o setor de eletrodomésticos. Dados do IBGE de 2018 mostram que 98,3% dos domicílios brasileiros possuem geladeira, além disso, segundo pesquisa de 2020 da empresa SEMRush, responsável pela pesquisa de palavras chaves e análise competitiva, equipamentos domésticos representam a 3ª categoria com maior volume de visitas no E-commerce brasileiro, além disso o ramo apresentou o 2º maior ticket médio do E-commerce em 2021. Sem dúvidas, o setor apresenta grande potencial, atraindo diversas empresas a atuarem dentro do setor.

Visando à alta competitividade, a indústria busca formas de eliminar grandes perdas, com a globalização, espera-se rápida resposta às concorrências que estão cada vez mais acirradas. Yamashina (2009) entende que através da metodologia de gestão WCM (*World Class Manufacturing*) é possível reunir as metodologias aplicadas a nível mundial que obtiveram melhores resultados e aplicá-las para a empresa.

Segundo Bagno (2014), a Manutenção Produtiva Total é definida a partir dos conceitos do Sistema Toyota de Produção, visando o zero absoluto. Para isso, o TPM trás a ideia de manutenção autônoma, no qual Bhoyar (2017) tem o entendimento que tornar o operador mais próximo da máquina, incentivando ele a realizar um calendário de atividades como limpeza, lubrificação, reaperto e inspeção, desenvolvem o maior potencial da operação neste pilar; a capacidade de identificar e relatar anomalias antecipadamente.

Para Xenos (2014), os departamentos de produção e manutenção estão diretamente ligados, obtendo melhoria de produtividade quando os equipamentos apresentam redução de defeitos.

Na Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).

O TPM tem como objetivo identificar e eliminar as perdas dos processos, maximizando a utilização dos ativos e garantindo a geração de produtos de alta qualidade a custos competitivos, mas para que isso aconteça, existe a necessidade de se reeducar as pessoas para a prevenção e a melhoria contínua, aumentando a confiabilidade do equipamento e a capacidade dos processos, sem investimentos adicionais. (YOSHICAZEM, 2002, p. 58).

Segundo Ribeiro(2014), as empresas que implementaram o TPM adquiriram ganhos não apenas de produção, mas também de qualidade e custo/benefício devido ao baixo custo de implementação e o redirecionamento de recursos já existentes. Segundo Nogueira, Guimarães e Silva (2012), a aplicação do TPM em uma empresa da área de soldagem também conquistou bons resultados no aumento de produtividade dos equipamentos.

Visando controlar a produtividade dos processos de fabricação, existe uma metodologia para mensurar a eficiência global de equipamentos - OEE (*Overall Efficient Equipment*) por meio de indicadores. Segundo Robler e Abele (2013), o indicador é uma ferramenta dentro do TPM que mensura fatores que interferem na produção durante um período de produção do equipamento. Para Ribeiro (2014), o indicador trabalha na gestão de perdas, a fim de atingir o máximo desempenho e o melhor rendimento trazendo um entendimento numérico.

A indústria deste estudo apresenta uma das maiores relevâncias no mercado de eletrodomésticos de linha branca, tendo atuação em diversos países. No Brasil, a produção de Lavadoras abastece tanto o mercado nacional quanto o internacional.

Na fabricação da lavadora, diversos componentes são fabricados até a montagem do produto final, dentre eles a caixa de engrenagem, tendo papel no sistema de transmissão da Lavadora como um dos principais componentes para o correto funcionamento e desempenho de operação.

No processo de fabricação da Caixa de Engrenagem da Lavadora é exigido rigorosos padrões de qualidade, esse componente é fabricado em quatro linhas de máquinas, compondo a capacidade produtiva da área, permitindo à empresa construir um plano que prioriza as linhas com a melhor produtividade.

A máquina selecionada para o estudo faz parte de uma das linhas de fabricação da caixa de engrenagem e a melhoria de seus indicadores implica nos benefícios apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Benefícios estipulados com a melhoria dos indicadores do objeto de estudo.

Benefício	Descrição
Produtividade	Aumento da capacidade produtiva da área
Segurança	Segurança no processo
Qualidade	Garante os padrões de qualidade
Financeiro	Otimização dos recursos
Saúde	Melhoria da ergonomia na operação

Fonte: Pesquisa direta (2023).

Conforme observado na Tabela 1, o objeto de estudo prevê maior relevância e resultados mais significativos para a análise da contribuição da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) para o OEE (*Overall Equipment Efficient*).

Sendo assim, com base no contexto apresentado, a questão pertinente ao estudo é :
Como a Manutenção Produtiva Total pode contribuir para a melhoria dos indicadores OEE do Processo de Fabricação da caixa de engrenagem da Lavadora de uma indústria de eletrodomésticos?

1.2 Justificativa

Dentro do cenário mundial, empresas disputam seu espaço dentro do mercado em uma corrida pela vantagem competitiva, para isso, diversos programas, técnicas, ferramentas e metodologias são desenvolvidas. Para entender o impacto de uma nova tecnologia, existem indicadores que diagnosticam o objeto estudado.

No âmbito da produtividade, obter indicadores de eficiência e qualidade são imprescindíveis para que a manutenção e operação possam melhorar seu desempenho dos processos de fabricação continuamente.

Para Hansen (2006), o OEE representa mais que apenas um indicador, mas sim uma medida efetiva para a gestão de produtividade.

Esse trabalho se justifica demonstrando o entendimento do impacto da manutenção produtiva total em uma área industrial, evidenciando a contribuição do estudo de modelos teóricos para a academia e a melhoria da qualidade dos processos industriais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral:

- Analisar a contribuição da manutenção produtiva total (TPM) para os indicadores de OEE no processo de fabricação da caixa de engrenagem da Lavadora de uma indústria de eletrodomésticos.

1.3.2 Específicos

- Revisão bibliográfica sobre os conceitos abordados dentro do trabalho, como World Class Manufacturing (WCM), Manutenção Produtiva Total (MPT), OEE (Overall Efficient Equipment), Processos de Fabricação e Caixa de Engrenagem da Lavadora;
- Identificar os parâmetros operacionais do processo de fabricação da Caixa de Engrenagem da Lavadora;
- Calcular o OEE do processo de fabricação da caixa de engrenagem da lavadora
- Analisar a contribuição da Manutenção Produtiva Total a partir dos cálculos do OEE;
- Demonstrar os resultados por meio de tabelas a partir dos cálculos do OEE;

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho em questão, escrito conforme normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, está dividido em cinco capítulos, apresentando a seguinte forma:

No primeiro capítulo, é abordado uma visão introdutória formulando a pergunta problema, a justificativa da realização do trabalho, assim como seus objetivos gerais e específicos.

Dentro do segundo capítulo, a bibliografia dos conceitos retratados dentro do trabalho é apresentada. No terceiro capítulo é definido a metodologia abordada para a pesquisa, identificando ferramentas e procedimentos necessários para o desenvolvimento.

O quarto capítulo contempla os resultados obtidos a partir do procedimento metodológico dentro dos objetivos definidos, trazendo no capítulo cinco as conclusões referenciadas pela pergunta problema e a análise crítica dentro dos resultados obtidos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Manutenção Produtiva Total

2.1.1 Visão Geral

Nakajima (1989) explica que o objetivo da manutenção produtiva total é melhorar continuamente todas as condições operacionais do sistema de produção, estimulando o envolvimento de todos os funcionários.

Wireman (1991) relata que muitas empresas entendem as atividades de manutenção como crítica, salientando que a gestão da manutenção deve estar alinhada com a estratégia da empresa, deixando os equipamentos disponíveis para produção, reduzindo os retrabalhos e obtendo produtos com qualidade, o que garante custos competitivos e torna possível cumprir as metas e prazos.

Wyrebski (1997) em sua percepção, explica que para implementar a manutenção produtiva total é necessário implantar a consciência que cada funcionário tem sua responsabilidade, desde o presidente até o operário, a fim de obter o total envolvimento das práticas que buscam alcançar o zero defeitos, zero acidentes e zero avarias.

Para operacionalizar a manutenção produtiva total, Fogliatto e Ribeiro (2009) destacam elementos primordiais na sua implementação:

- Total mudança na cultura organizacional visando otimizar o desempenho do equipamento.
- Elaborar um plano que busca alcançar o zero defeito, zero acidente e zero avaria, reformulando o posto de trabalho e adotando estratégias para prevalecer ações preventivas.
- Buscar a total participação da organização na implementação, fazendo todos os setores terem interações e andarem alinhados quanto às práticas adotadas.
- Buscar a total participação da organização em atividades de melhoria contínua.
- Desenvolver a educação dos colaboradores com treinamentos que visam ao aprimoramento da cultura de consciência e elevação da competência na realização das atividades.

Pereira (2010) afirma que a manutenção produtiva total só consegue ser implementada quando a empresa viabiliza o desenvolvimento de treinamentos e capacitações, alcançando um ambiente propício para melhoria contínua.

Segundo Aureliano (2013), os principais objetivos da manutenção produtiva total são:

- Garantir eficiência e eficácia das instalações, trabalhando em conjunto em prol dos custos e melhorando os parâmetros de qualidade.
- Instaurar um plano que acompanhe as mudanças no desempenho do equipamento, conforme o uso e seu tempo de vida.
- Ter a cooperação de todos os setores envolvidos nas estratégias de elevação de capacidade, trazendo maior interação e buscando reduzir os níveis de estoque, necessidades de treinamento e tempo nos processos.
- Aproveitar os potenciais das pessoas em todos os níveis, contribuindo para a melhoria contínua do processo.
- Desenvolver equipes focadas na melhoria contínua.

Ainda no pensamento de Aureliano (2013), os objetivos buscam satisfazer a ideia de uma empresa oferecer produtos focados em seus clientes, gerando o produto desejado, no tempo desejado, com um preço acessível, baixo custo e alta qualidade, garantindo rentabilidade e aprovação do negócio.

Para Almeida (2015), a manutenção produtiva total é um modelo baseado nas manutenções preventivas e preditivas, que conta com a capacitação e participação dos operadores de máquina, participando ativamente da gestão da manutenção.

Segundo Seleme (2015), a base da manutenção produtiva total tem oito pilares, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos Pilares da Manutenção Produtiva Total

Saúde e Segurança	Esse pilar busca atingir zero acidentes, pois as ações de manutenção não fazem escopo da operação, o que necessita de uma avaliação de risco, mapeamento de atividades e implementação de conceitos de segurança
Educação e Formação	O desenvolvimento educacional da operação e equipe de manutenção é capaz de ampliar a capacidade técnica, gerencial e comportamental, trazendo benefícios para implementação da metodologia
Manutenção Autônoma	Com os treinamentos o operador torna capaz de realizar atividades simples de manutenção, podendo relatar anomalias da máquina antes que ela falhe
Manutenção Programada	Esse pilar desenvolve o entendimento de causa das falhas, implementando soluções sistêmicas, melhorando o desempenho do equipamento e buscando o zero de defeitos.
Manutenção da Qualidade	Ações realizadas com o intuito de eliminar problemas de qualidade, visando adotar parâmetros que retirem as variações do processo.
Melhorias Específicas	Atividades voltadas para eliminar grandes perdas que afetam a eficiência, reduzindo a incidência de paradas e perdas por setup.
Sistemas de Suporte	Focado em resolver problemas administrativos como falta de peças, prazos excessivos, falta de padronização e quaisquer outros aspectos que interferem na produção.
Gestão da Fase Inicial	Desenvolvimento de equipes que avaliam todas as etapas da produção, evitando perdas no período de pré-produção.

Fonte: Interpretação de Seleme (2015) sobre os pilares da manutenção produtiva total.

Para atingir os objetivos da manutenção produtiva total, Kardec e Nascif (2017) explicam que a metodologia busca transformar a cultura do operário, tornando ele o dono do equipamento, sendo capaz de realizar atividades simples realizadas constantemente, auxiliando no aumento da eficiência do equipamento e colaborando com que a equipe de manutenção tenha mais foco em atividades que qualificam todo o sistema de manutenção, realizando atividades mais complexas e promovendo o cuidado do operador com a máquina.

2.2 Eficiência Global do Equipamento (OEE)

Nakajima (1989) identifica que conhecer as perdas é a melhor forma de otimizar um equipamento, definindo seis perdas que estão diretamente relacionadas à produtividade e que afetam o indicador de OEE, sendo elas quebras ou falhas, troca de ferramenta, diminuição da velocidade, pequenas paradas, refugo e retrabalho.

Branco Filho (2006) define o OEE (*Overall Efficient Equipment*) como o principal indicador para medir a eficiência de um equipamento, já Sharma e Kumar (2006) explicam que o indicador é capaz de medir máquinas ou células, trazendo ferramentas e técnicas que identificam e fazem o gerenciamento da eficiência do equipamento, disponibilidade do processo e taxa de qualidade. Belohvak (2006) completa que o OEE está agregado à melhoria contínua, fator essencial para a implementação da manutenção produtiva total que visa melhorar o desempenho de produção, eliminando os desperdícios e perdas.

Santos & Santos (2007) trazem o entendimento que o indicador permite dimensionar e examinar as condições de uso de um equipamento, conhecendo as reais perdas existentes de acordo com a sistemática do indicador.

Ahuja e Khamba (2008) relatam que o OEE foi criado por Seiki Nakajima para acompanhar a evolução da manutenção produtiva total, possibilitando a identificação e quantificação numérica das perdas, o que permite alinhar a um planejamento e execução de atividades que visam ao alcance da eficiência máxima.

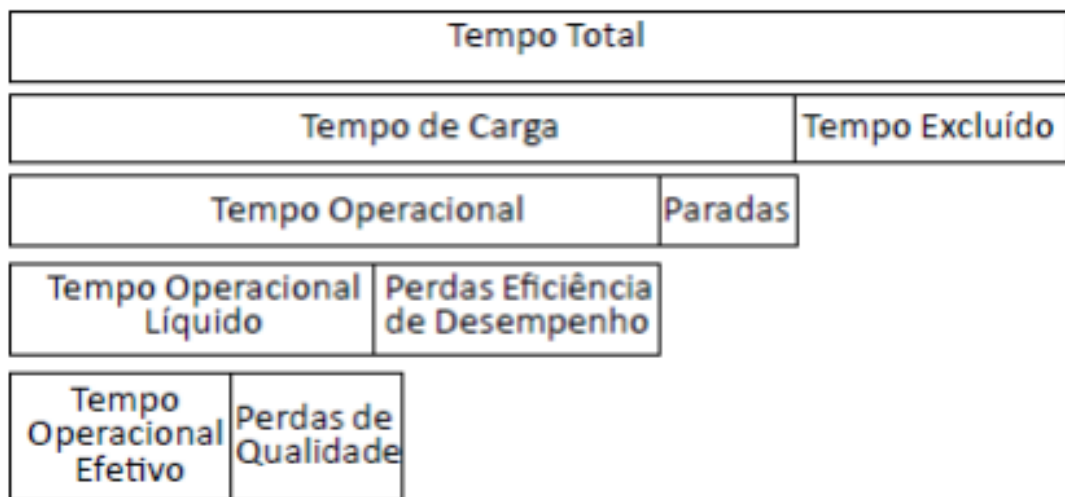
Silva (2013) entende que o OEE é reconhecido por inúmeros autores, em escala mundial, como o melhor método para se medir e entender a eficiência de um equipamento. Ainda para Silva (2013), uma boa gestão deve possuir indicadores que representam o

desempenho da fábrica e das operações em geral, maximizando o desempenho dos equipamentos em relação à eficiência e qualidade.

Ribeiro (2014) caracteriza uma peculiaridade sobre o OEE, no qual ele é capaz de medir todos os níveis hierárquicos e todos os setores envolvidos de alguma forma na produção, sendo possível estimar numericamente os problemas e correr atrás dos melhores resultados.

Ramos da Silva (2012) identifica as perdas mensuradas pelo indicador de acordo com o tempo operacional demonstrado na Figura 1 e descreve as seis grandes perdas de Nakajima conforme a Tabela 3.

Figura 1: Perdas mensuradas no OEE através do tempo operacional



Fonte: Ramos da Silva (2012).

Tabela 3: Relação entre as grandes perdas de Nakajima e os índices do OEE

Índice	Perda	Descrição da Perda
Disponibilidade	Quebras e Falhas	Defeito ou condição anormal que impede o funcionamento adequado do equipamento
	Troca de ferramenta e ajustes	Tempo referente à troca de máquina e ajustes
Performance	Ociosidade e Pequenas Paradas	Paralisações de curta duração. Caracterizam-se por paradas intermitentes
	Velocidade reduzida	Velocidade real inferior à velocidade teórica
Taxa de Qualidade	Defeitos no processo	unidade não conformes (defeituosas) e retrabalho
	Perdas referente à partida inicial do equipamento	Redução da quantidade de produtos conformes em função dos ajustes necessários para que a máquina atinja a condição de regime após um período longo de parada

Fonte: Ramos da Silva (2012).

Conforme Ribeiro (2014) explica, o cálculo do OEE é proveniente de três índices, descritos na Equação 1, sendo o produto da disponibilidade, performance e taxa de qualidade, que são capazes de estimar as grandes perdas definidas por Nakajima.

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Taxa \ de \ Qualidade \quad (1)$$

Desmembrando o indicador em seus índices, é possível verificar o impacto de cada um deles sobre o desempenho do equipamento. A disponibilidade indica a fração do tempo planejado para a produção, em que o equipamento está efetivamente produzindo. A fórmula desse índice encontra-se descrita na Equação 2 (HANSEN, 2006).

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ Operacional}{Tempo\ de\ Carga} \times 100 \quad (2)$$

Para calcular os termos utilizados na Equação 2, temos as Equações 3 e 4 (RAMOS DA SILVA et al., 2012).

$$Tempo\ operacional = Tempo\ de\ Carga - Paradas \quad (3)$$

$$Tempo\ de\ carga = Tempo\ Total - Tempo\ Excluído \quad (4)$$

Conforme Ramos da Silva (2016) a Performance é a razão entre o tempo de processamento real e o tempo de processamento teórico de operação. Para o cálculo da eficiência de desempenho, Hansen (2006) apresenta a Equação 5

$$Performance = \frac{Tempo\ de\ Processamento\ Teórico}{Tempo\ de\ Processamento\ Real} \times 100 \quad (5)$$

Onde o Tempo de Processamento Teórico é o tempo necessário para o equipamento produzir uma unidade de produto na velocidade catalogada pelo fabricante do equipamento ou na maior velocidade atingida durante um período de tempo significativo com o processo estável (HANSEN, 2006).

A taxa de qualidade indica a relação entre a quantidade de produtos conformes e a quantidade total de produtos. A fórmula de cálculo desse índice é apresentada na Equação 6 (MUCHIRI; PINTELON, 2008 apud RAMOS DA SILVA et al., 2012).

$$Taxa\ de\ Qualidade = \frac{Quantidade\ de\ produtos\ conformes}{Quantidade\ Total\ de\ Produtos} \times 100 \quad (6)$$

2.3 Manufatura de Classe Mundial (WCM)

2.3.1 Visão Geral

Para Felix (2018), o WCM nasceu após a segunda guerra mundial devido a falta de competitividade de empresas japonesas em relação ao que era adotado na indústria americana, para isso, houve uma remodelação das técnicas de manufatura conhecidas na época, nascendo assim a Manufatura Enxuta, que inicialmente foi implementada na Toyota, criando assim, o Sistema Toyota de Produção, que abrange conceitos amplamente utilizados no WCM, conforme tabela 4.

Tabela 4: Conceitos do Sistema Toyota de Produção.

Métodos	Foco	Objetivo
TIE (Total Industrial Engineering)	Produtividade	Zero Perdas
TQC (Total Quality Control)	Melhoria da Qualidade	Zero Defeitos
TPM (Total Productive Maintenance)	Eficiência Técnica	Zero Quebras
JIT (Just in Time)	Nível de Serviço	Zero Estoque

Fonte: Interpretação de Bagno (2014).

Para Voss (1995), o WCM é uma metodologia de gestão estratégica que tem o objetivo de identificar as perdas do processo produtivo e eliminá-las, buscando o melhor desempenho e alta eficiência, sendo um conjunto modelado das melhores práticas como estratégia de operação. De acordo com Yamashina (2009), podemos definir o WCM como um programa que visa a um nível de excelência empresarial em todo o ciclo logístico-produtivo, tomando como referência as metodologias aplicadas e respectivos desempenhos alcançados pelas melhores empresas mundiais, transformando as atividades de gestão em resultados para a empresa.

Em essência, o WCM é constituído por pilares técnicos e gerenciais, Veiga (2018) explica que os pilares gerenciais são fundamentais para relatar o comprometimento da organização e pessoas envolvidas com os objetivos dos pilares técnicos, nos quais fazem referência a pontos relacionados à produção, realizando excelência operacional com alta

eficiência, segurança, alto padrão de qualidade, custos reduzidos e melhoria contínua. Utilizando ferramentas robustas, cada pilar técnico é medido por sete passos que visam atender totalmente seu objetivo, conforme sua definição na Tabela 5.

Tabela 5: Pilares técnicos e gerenciais do WCM.

Pilares Gerenciais	Pilares Técnicos
Envolvimento da alta administração	Segurança ocupacional
Estabelecer objetivos de forma clara	Repartição dos custos
Estruturação do caminho para o WCM	Foco em melhorias
Destinação de profissionais altamente qualificados	Atividades autônomas
Comprometimento de toda organização	Manutenção planejada
Focar em melhoria contínua para excelência operacional	Controle de Qualidade
Tempo e finanças	Logística
Nível de expansão	Gestão preventiva dos equipamentos
Nível de detalhes	Desenvolvimento das pessoas envolvidas
Motivador operador	Preservação do meio ambiente

Fonte: Ribeiro (2014)

2.3.2 Pilares Gerenciais

Na visão de Cortez (2010), para atingir uma redução sistemática de perdas e desperdícios pelo WCM, é necessária a utilização rigorosa dos métodos e padrões submetidos por todos os funcionários da empresa, que tem seu desempenho medido dentro dos pilares gerenciais demonstrados na Tabela 2, conforme a colaboração de Veiga (2018).

Por Ribeiro (2014), pode-se compreender os seguintes conceitos em relação aos pilares gerenciais:

- Envolvimento da alta administração

O compromisso da administração é primordial para a metodologia do WCM, esclarecendo os objetivos para as áreas operacionais, funcionais e setoriais com ações tomadas em sequência.

- Estabelecer objetivos de forma clara

Deve ser evidente a relação entre métodos escolhidos e resultados alcançados, tendo objetivos que serão mensurados e alcançados gradativamente, explicitando para todos os funcionários de forma visível e clara em todas as áreas de comunicação da planta

- Estruturação do caminho pro WCM

É necessário explicitar o plano para a implementação do WCM em todos os níveis organizacionais, tendo previsões para o cenário que deseja alcançar em curto, médio e longo prazo, tendo clareza nas metas e ações a serem desenvolvidas.

- Destinação de profissionais altamente qualificados

Sendo o envolvimento das pessoas a chave para o sucesso do WCM, o alocamento de profissionais exemplares em cargos de gerência, supervisão e engenharia das áreas modelo são fundamentais para a implementação da metodologia e engajamento da operação nos conceitos exigidos

- Comprometimento de toda organização

Ao alcançar o comprometimento das pessoas com os problemas cotidianos, é possível atingir a cultura da busca de soluções em busca de atingir o zero ótimo.

- Focar em melhoria contínua para excelência operacional

O WCM possui diversos métodos, padrões e ferramentas para atingir um alto desempenho, aplicando a técnica correta para cada tipo de problema para obter os melhores resultados.

- Tempo e finanças

É necessário introduzir programas e orçamentos para orientações e recursos para a gestão de perdas, planejando as tarefas e alocando recursos que retornaram em resultados de melhoria contínua.

- Nível de Expansão

Os conhecimentos atingidos em uma determinada área devem ser expandidos para outras áreas a fim de atingir o máximo de benefícios, trazendo uma rápida melhora de rendimento, podendo expandir os conhecimentos para além da planta e da empresa, compartilhando os benefícios também com os fornecedores.

- Nível de detalhes

Detalhar os problemas de forma que seja possível aplicar a solução de uma forma sistêmica, mesmo para as situações mais difíceis e complexas. Aplicar o método correto permite identificar as causas e fenômenos envolvidos no processo, sendo capaz de trazer uma resolução definitiva e eliminar a reincidência do problema.

- Motivação do operador

Para total comprometimento é exigido investimento na formação e educação da operação para ações reativas, preventivas, preditivas ou proativas, permitindo o operador a participar ativamente da metodologia utilizando suas técnicas e padrões.

2.3.3 Pilares Técnicos

Os pilares operativos representam os aspectos relacionados à produção sobre os quais se estruturam uma Manufatura de Classe Mundial. Cada um desses pilares apresenta objetivos específicos a serem implementados pela organização para o desenvolvimento do sistema. (CORTEZ, 2010)

Faria (2012) explica que os pilares técnicos possuem padrões e diretrizes que direcionam as atividades de forma que facilite o entendimento dentro do pilar de custos das maiores perdas e priorizá-las.

Segundo Ribeiro (2014), cada pilar é constituído por 7 passos que guiam as respectivas atividades para evoluir até um processo robusto, deixando de ter ações reativas e desenvolvendo ações preventivas e pró-ativas, definindo os pilares apresentados na Tabela 2:

- Segurança ocupacional

Melhorar as condições de trabalho e eliminar as condições de acidentes, visando atingir zero acidentes.

- Repartição de custos

Identificar e atacar as perdas e desperdícios no sistema produtivo-logístico, evidenciando as principais perdas e direcionando os projetos que acarretam no maior impacto.

- Foco em melhorias

Visa atacar as principais perdas do sistema produtivo, aplicando técnicas, instrumentos e métodos específicos que são capazes de tratar problemas de alta complexidade e dificuldade de forma sistêmica.

- Atividades autônomas

Melhorar o posto de trabalho, fazendo o operador ter maior comprometimento com os objetivos e desenvolver maior envolvimento nas atividades exercidas, sendo capaz de relatar problemas, promover ações de ver e agir e colaborar com a segurança, participando ativamente da metodologia.

- Manutenção planejada

Tem o intuito de aumentar a eficiência, diminuindo a incidência de falhas e custos com manutenção.

- Controle de qualidade

Permite garantir que o produto gere a maior satisfação do cliente.

- Logística

Visa aperfeiçoar os fluxos buscando a maior eficiência, entendendo todas as possíveis variáveis e reduzindo os estoques de forma que evite avarias aos produtos.

- Gestão preventiva de equipamentos

Desenvolver equipamentos que sejam confiáveis, de fácil manutenção e com o menor custo de vida.

- Desenvolvimento das pessoas envolvidas

Colabora com o maior diferencial da metodologia, desenvolvendo pessoas para que sejam capazes de gerar alto rendimento com os ensinamentos recebidos.

- **Preservação do meio ambiente**

Fazer o uso correto e consciente dos recursos naturais e materiais disponíveis na planta.

2.4 Processo de Fabricação da Caixa de Engrenagem da Lavadora

2.4.1 Sistema de Produção

As empresas geralmente são estudadas como um sistema que transforma, via um processamento, entradas de insumos em saídas de produtos úteis aos clientes. Este sistema é chamado de sistema produtivo (TUBINO, D.F., 2007).

Para Shingo (1996) “Atividades de produção são redes de processos e de operações.” Ou seja, podemos definir o que é caminho pelo qual se transformam os produtos, sendo os processos a cadeia de eventos em que a matéria prima é transformada em produto e as operações a cadeia de eventos durante os quais trabalhadores e máquinas trabalham nos itens.

Sipper e Bulfin (1997) esclarecem que o objetivo dos sistemas de produção de fabricar e entregar no prazo correto os produtos, são atingidos a partir do processo de fabricação adotado. Para que a empresa se torne competitiva no seu segmento e atinja seus objetivos é necessário que busque produzir um produto com qualidade superior ou igual a dos seus concorrentes, o custo deve ser menor e entregue sempre no prazo adequado a seus clientes. Produção sob encomenda, em lotes e contínua, são considerados tipos básico de produção, sendo a produção sob encomenda as realizadas quando as especificações da mercadoria são requisitadas pelos clientes e sua fabricação só se inicializa após o pedido, não permitindo a previsão adequada da demanda gerando incertezas durante o processo de produção. Outro tipo de produção é a produção em lotes, realizada por empresas que fabricam um produto com quantidade limitada, atendendo a demanda das vendas. Além da produção contínua, a qual é utilizada por empresas que fabricam o mesmo produto por um longo tempo, permitindo que o processo de produção não sofra mudanças, permitindo a previsão dos resultados finais (CHIAVENATO, 2008).

2.5 Caixa de Engrenagem da Lavadora de Roupas

2.5.1 Sistema de Transmissão

Para Franceschi e Antonello (2014), os sistemas de transmissão são responsáveis por transmitir força, rotação e torque do eixo motor até o eixo movido. Esse processo acontece devido a diversos componentes que em conjunto realizam o trabalho.

Segundo Bianchi (2009), as transmissões por engrenagens apresentam grande confiabilidade e capacidade de transmissão de torque, sendo amplamente utilizadas na área industrial devido a seu amplo campo de aplicação.

Na visão de Silva (2015), às transmissões por engrenagens são definidas como ligações entre dois ou mais elementos que apresentam relação de movimentos, sendo classificada conforme suas características físicas.

A Figura 2 apresenta um sistema de transmissão por engrenagem.

Figura 2: Imagem ilustrativa da caixa de engrenagem



Fonte: Google Imagens (2023)

2.5.2 Engrenagem

Segundo Filho (1973), as engrenagens são rodas dentadas que têm a função de transmitir movimento e força entre dois eixos. A transmissão se dá através do contato entre os dentes das engrenagens, podendo ser classificadas em cilíndricas, cônicas, helicoidais, parafuso coroa sem fim.

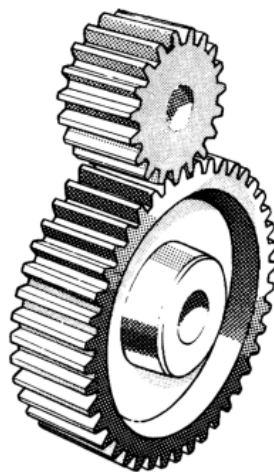
Na visão de Gasparin (2004), as engrenagens transmitem movimentos que permitem alterar a velocidade angular, torque e direção de movimento de um eixo em relação a outra, sua geometria permite a redução ou aumento do momento de torção, diminuindo as perdas de energia e impossibilitando patinação.

Para Bini e Rabello (2007), engrenagens são elementos mecânicos formados por dois aros que possuem dentes, de tal maneira que os dentes se introduzem sem choques, permitindo a transmissão de movimentos por empuxo direto.

Para Richards (2013), a função da engrenagem é transmitir movimento de um eixo para outro de velocidade uniforme.

Na Figura 3 observamos duas engrenagens cilíndricas acopladas.

Figura 3: Par de engrenagens cilíndricas



Fonte: Richards (2013)

3 Metodologia

Este capítulo apresenta as características da metodologia adotada no desenvolvimento da pesquisa, abordando suas principais classificações, materiais e métodos, indicadores, instrumentos de coleta de dados, tabulação e as considerações finais.

Para Marconi e Lakatos (2003), o método é o conjunto de ações sistêmicas e racionais que permitem alcançar um objetivo, deixando um registro que auxilia outros pesquisadores a tomar decisões e detectar erros.

3.1 Tipo de Pesquisa

Para Gil (2002), as pesquisas são concebidas por um sistema com procedimentos lógicos, com o objetivo de atender a solução para um problema proposto, podendo ser classificadas em três grandes grupos, sendo elas exploratória, descritiva e explicativa.

Na visão de Vergara (1998), uma pesquisa exploratória tem o intuito de buscar maior conhecimento em áreas com pouca pesquisa acumulada e sintetizada. A pesquisa descritiva expõe características de um fenômeno ou população, já na investigação explicativa tem o objetivo de tornar algo entendível, esclarecendo os fatores que contribuem para a ocorrência de determinado fenômeno.

Marconi e Lakatos (2002) explicam que as técnicas de análise de conteúdo tem o intuito de descrever sistematicamente o conteúdo das comunicações, trazendo a ideia de técnicas quantitativas e qualitativas, no qual as medidas quantitativas respondem à pergunta “quanto” e as qualitativas à questão “como”.

Ainda na visão de Lakatos e Marconi (2002), a pesquisa quantitativa pode ser definida como a apresentação de quantificação da coleta e tratamento dos dados utilizando técnicas estatísticas.

Para Creswell (1998), as pesquisas qualitativas possuem o intuito de estudar fenômenos em seus ambientes naturais, buscando interpretar sua forma de visão. Desta maneira, essa técnica está relacionada com abordagens empíricas, sejam elas experiência pessoal, observação, históricos, interação de fenômenos ou fatores e entre outros.

Vergara (1998) aborda a Pesquisa-ação como um tipo particular de pesquisa participante que supõe intervenção participativa na realidade social e quanto aos fins é, portanto, intervencionista.

Com base no contexto apresentado, este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa qualitativa. Pode ser classificada como pesquisa bibliográfica, exploratória e descritiva. Utiliza a técnica de pesquisa-ação.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados materiais de pesquisa e instrumentos de coleta e análise, sendo definidos, conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Materiais utilizados no estudo.

Materiais de Pesquisa	<ul style="list-style-type: none">● Livros;● Artigos;● Dissertações;● Teses;
Instrumentos de Coleta e Análise	<ul style="list-style-type: none">● Formulários;● Sistema da Empresa;● Tabelas no Google Sheets;● Gráficos no DataStudio;

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

3.2.2 Métodos

Para o alcance dos objetivos deste trabalho foi utilizado o método OEE, no sentido de identificar a performance, disponibilidade e qualidade da caixa de engrenagem, antes e após a implementação da manutenção produtiva total.

3.3 Variáveis e Indicadores

Para analisar o procedimento empregado pela manutenção produtiva total e entender seus impactos no processo produtivo de uma empresa é primordial considerar variáveis e indicadores.

Para Lakatos e Marconi (2003), uma variável é entendida como classificação ou medida que varia conforme o conceito operacional, apresentando variação conforme um fator ou propriedade aplicado, possibilitando a percepção de um determinado fenômeno.

Dessa forma, na Tabela 7 são apresentados os indicadores e variáveis utilizados para o desenvolvimento deste estudo.

Tabela 7: Indicadores e variáveis utilizados no estudo.

Variáveis	Indicadores
OEE	<ul style="list-style-type: none">● Performance● Disponibilidade Física● Taxa de Qualidade

Fonte: Pesquisa direta (2023)

3.4 Instrumento de Coleta de Dados

Para a coleta dos dados foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Formulário do google sheets ;
- Banco de dados da empresa, área do estudo, via software;

3.5 Tabulação e Análise de dados

Os dados foram coletados durante trinta dias, a partir da amostragem retirada dos resultados de OEE, sem a implementação do TPM.

A partir da análise dos resultados do OEE antes da TPM, foram implementados os conceitos do TPM no processo de fabricação e novamente foram coletados dados amostrais e realizado o cálculo do OEE.

3.6 Considerações Finais do capítulo

Este capítulo teve o intuito de apresentar toda a metodologia utilizada para a realização da pesquisa, detalhando o passo a passo das atividades de forma coerente aos objetivos do estudo.

No próximo capítulo serão apresentados os dados obtidos antes e depois da implementação do TPM, demonstrando de forma comparativa os resultados alcançados com a pesquisa.

4 Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os resultados alcançados a partir do desenvolvimento da pesquisa sobre a contribuição da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) para os indicadores de OEE do processo de fabricação da caixa de engrenagem da Lavadora, conforme os objetivos e a metodologia proposta.

Para o alcance do objetivo geral foi utilizada a metodologia OEE (*Overall Equipment Efficient*), conforme previsto no Capítulo 3.

O objeto do estudo é uma das linhas de montagem do processo de fabricação do componentes do sistema mecânico da lavadora de roupas. Este componente é definido como caixa de engrenagem.

Os parâmetros operacionais do processo de fabricação do componente para efeito de cálculo do OEE são: Disponibilidade, Performance e Taxa de Qualidade. Esses parâmetros foram calculados, conforme as equações apontadas no Capítulo 2, levam em consideração os valores descritos na Tabela 8 para o seu cálculo.

Tabela 8: Valores utilizados para o cálculo dos parâmetros

Variável	Indicador
Tempo de Carga	167,5 h
Tempo Operacional	144,05 h
Tempo de Processamento Teórico	18 s
Tempo de Processamento Real	27,7 s
Quantidade de Produtos Conforme	17849 un
Quantidade Total de Produtos	18106 un

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Na tabela 8, é possível observar as variáveis operacionais utilizadas para cálculo dos indicadores do OEE, sendo esses indicadores primordiais para o controle do desempenho operacional.

O tempo de carga corresponde ao tempo total em que o equipamento foi planejado para produzir. O tempo operacional foi o tempo em que o equipamento realmente esteve produzindo. O tempo de processamento teórico é o tempo estimado no projeto para produzir um produto. O tempo de processamento real é o tempo que realmente foi utilizado para produzir o produto. A quantidade de produtos conformes é o número de produtos que atendem os parâmetros de qualidade e a quantidade total de produtos é o número de produtos que foram produzidos.

Conforme os valores apresentados na Tabela 7, a Equação 7 mostra como os cálculos foram realizados para encontrar a Disponibilidade, na Equação 8 encontramos a Performance e na Equação 9 a Taxa de Qualidade.

$$Disponibilidade = \frac{144,05 \text{ horas}}{167,5 \text{ horas}} \times 100 = 86\% \quad (7)$$

$$Performance = \frac{18 \text{ segundos}}{27,7 \text{ segundos}} \times 100 = 64,9\% \quad (8)$$

$$Taxa \text{ de } Qualidade = \frac{17849}{18106} \times 100 = 98,6\% \quad (9)$$

Conforme os valores obtidos com as Equações 7,8 e 9, a Tabela 9 apresenta os parâmetros para o cálculo do OEE.

Tabela 9: Parâmetros para o cálculo do OEE antes da TPM

Variáveis do OEE	Indicadores do OEE
Disponibilidade	86,0%
Performance	64,9%
Taxa de Qualidade	98,6%

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Como é possível observar na Tabela 9, fez-se a análise de cada indicador separadamente e, em seguida, considerou-se o panorama geral.

O parâmetro de Disponibilidade encontrado em 86%, conforme cálculo disposto na Equação 7. Para Nakajima, as perdas de disponibilidade estão atrelados a falhas de equipamento ou Inicialização do Equipamento, sendo fundamental conhecer essas perdas para desenvolver um plano eficaz de contra-medidas.

O parâmetro de Performance encontrado na Equação 8 é 64,9%, sendo a maior perda dentre os parâmetros, esse valor está relacionado a velocidade de produção ou pequenas paradas e pode envolver análise de gargalos no fluxo de produção e identificação de tempos de espera excessivos. Ao eliminar essas causas raiz, a produtividade e a eficiência do processo de fabricação podem ser aprimoradas, observando a maior oportunidade de ganho do OEE.

A Taxa de Qualidade está em 98,6% conforme a Equação 9, sendo o maior parâmetro. Isso é um indicativo positivo, sugerindo que a grande maioria dos produtos produzidos está em conformidade com os padrões de qualidade estabelecidos e que os processos de controle de qualidade estão funcionando bem. Esse valor já era esperado, pois o objeto de estudo tem a característica de um processo de fabricação com alto padrão de qualidade, conforme benefício apontado no Capítulo 1.

Para o contexto geral, o cálculo do OEE foi disposto na Equação 10.

$$OEE = 86\% \times 64,9\% \times 98,6\% = 55\% \quad (10)$$

Com o valor de 55% encontrado para o OEE na Equação 10 é possível fazer uma análise do antes da implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).

Observa-se que a Eficiência Geral do Equipamento tem oportunidade de muitos ganhos, indicando que existe a incidência de quase metade das possíveis perdas, o que indica que a linha de montagem tem espaço para melhorias significativas, dessa forma a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) tem um grande potencial de impacto.

Na etapa de implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*), três etapas foram adotadas:

- Análise de dados;
- Plano de execução;
- Execução;

Na etapa de análise de dados, foram classificadas as possíveis perdas do processo considerando as grandes perdas descritas por Nakajima, conforme descrito na Tabela 10.

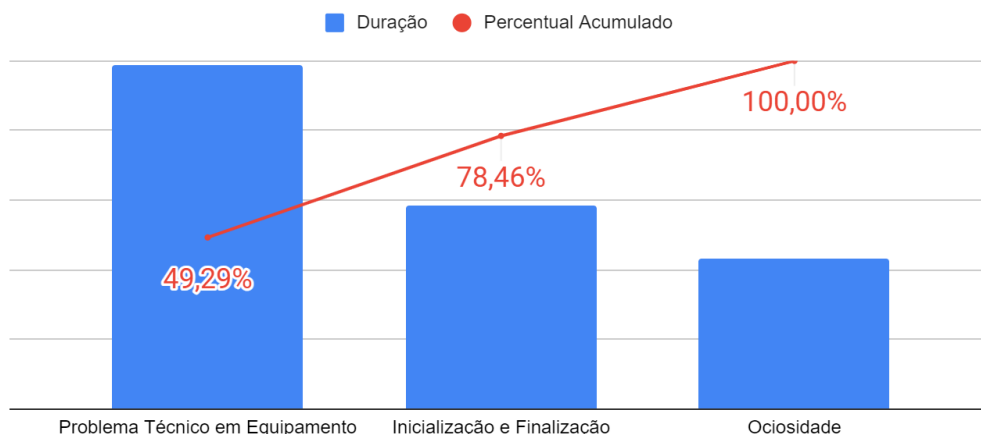
Tabela 10: Classificação de perdas de produção.

Classificação	Indicador Afetado	Descrição
Problema Técnico em Equipamento	Disponibilidade ou Performance	Quebras afetam o indicador de Disponibilidade e pequenas ajustes o de Performance
Inicialização e Finalização	Disponibilidade	Afetam o tempo estimado para iniciarem a produção a partir do início do turno e tempo de parada de produção em relação ao fim do turno
Ociosidade	Performance	Toda perda de produção ocasionada por um fator resultante

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

A classificação de perdas descritas na Tabela 10, em conjunto com a ferramenta estatística do gráfico de pareto, permite identificar a representatividade das perdas no processo, possibilitando entender o grau de relevância para estabelecer prioridades. Essa análise foi fundamental para a otimização da implementação. A Figura 4 apresenta o gráfico de pareto das perdas descritas na Tabela 10.

Figura 4: Gráfico de Pareto de Perdas de Produção



Fonte: Pesquisa Direta (2023)

De acordo com a Figura 4, é possível entender o impacto das perdas, onde a maior perda apontada está relacionada ao equipamento, devido a quebras e pequenos ajustes. Em sequência, a inicialização e finalização da produção com alto impacto e por último, a ociosidade, deixando o equipamento parado devido a fatores resultantes.

Após as estratificações realizadas, é possível entender melhor as perdas relacionadas aos indicadores e priorizar as ações de maior relevância na busca de resultados, direcionando o plano de implementação Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) para melhorar os Problemas Técnicos em Equipamentos, Inicialização e Finalização e Ociosidade. Com isso, a Tabela 11 retrata a segunda etapa, o plano de execução para implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).

Tabela 11: Plano de execução para implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM

Priorização	Variável	Falha	Detalhamento	Ação	Pilar Correspondente
1	Performance	Problema Técnico de Equipamento	Pequenas paradas para Ajustar parâmetros do Equipamento	Treinamento de operadores para intervenções rápidas no equipamento	Manutenção Autônoma
2	Disponibilidade	Inicialização e Finalização	Início e final de produção variando tempo	Padronização de atividades em tempo pré determinado	Gestão da Fase Inicial

3	Disponibilidade	Problema Técnico de Equipamento	Quebra de Equipamento	Elaboração de calendário de preventiva	Manutenção Programada
4	Performance	Ociosidade	Atraso de abastecimento de matéria prima para produção	Revisão de Rota logística e melhoria de gravitacionais	Sistemas de Suporte
5	Performance	Ociosidade	Ausência do Operador no posto de trabalho	Definição de padrões operacionais	Melhorias Específicas
6	Disponibilidade	Problema Técnico de Equipamento	Falhas que geram risco de Segurança	Mapeamento de riscos e melhoria de condição	Saúde e Segurança
7	Performance	Ociosidade	Falha no abastecimento do equipamento	Padronização de fluxo de abastecimento	Sistemas de Suporte
8	Performance	Ociosidade	Abastecimento incorreto de matéria prima	Revisão de Rota logística	Sistemas de Suporte

Fonte: Pesquisa Direta

Na terceira etapa da implementação da TPM, consistiu na execução do plano da tabela 11, a execução contou com a coparticipação multifuncional, diversas cadeias de responsabilidade analisaram e debateram oportunidades de melhoria, com vista às ações para que o plano se concretizasse.

Após a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*), foram realizados novamente os cálculos do OEE. Os resultados alcançados foram demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12: Parâmetros do OEE após a TPM

Variáveis do OEE	Indicadores do OEE
Disponibilidade	95,6%
Performance	82,5%
Taxa de Qualidade	99,2%

Fonte: Pesquisa Direta (2023)

Conforme os parâmetros descritos na Tabela 12, foi realizado novo cálculo do OEE, conforme a Equação 11.

$$OEE = 95,6\% \times 82,5\% \times 99,2\% = 78,2\% \quad (11)$$

O resultado de 78,2% do OEE obtido na Equação 11 tornou possível a análise comparativa dos indicadores de OEE que antecedem a implementação e que sucedem a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).

A Tabela 13 demonstra os resultados antes e após a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).

Tabela 13: Comparativo do antes e depois da TPM.

Indicadores	Antes da implementação da TPM	Após a implementação da TPM
Disponibilidade	86%	95,6%
Performance	64,9%	82,5%
Qualidade	98,6%	99,2%
OEE	55%	78,2%

Fonte: Pesquisa Direta (2023).

É possível observar na Tabela 13 a análise comparativa demonstrando uma melhoria significativa nos parâmetros após a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*), refletindo em uma melhoria no OEE do equipamento.

As práticas de manutenção preventiva implementadas, o aumento da conscientização e engajamento dos operadores por meio da manutenção autônoma e as melhorias específicas realizadas nos processos acarretam em um aumento dos indicadores do OEE, com um aumento de 9,6% de Disponibilidade e 17,6% de Performance.

Comparando os valores do OEE antes e depois da implementação, observa-se um aumento de 23,2% no desempenho, essa melhoria pode ser atribuída ao plano robusto esboçado a partir do conhecimento das perdas.

Esses resultados destacam a contribuição positiva da implementação da Manutenção Produtiva Total para o indicador de OEE na empresa em estudo. A efetividade foi evidenciada pelos ganhos alcançados nos aspectos de Disponibilidade e Performance e Taxa de Qualidade do equipamento.

5 Conclusões e Recomendações

Este capítulo tem como objetivo apresentar as limitações do estudo, conclusões finais e recomendações a partir da análise da contribuição da Manutenção Produtiva Total para os indicadores do OEE no processo de fabricação da caixa de engrenagem da lavadora de uma empresa do setor de eletrodomésticos. Essas conclusões e recomendações são baseadas nos resultados e discussões apresentados nos capítulos anteriores.

5.1 Conclusões

Com base na análise dos resultados apresentados, a Manutenção Produtiva Total demonstrou ter uma contribuição significativa para a melhoria dos indicadores de OEE na indústria. A implementação resultou em aumentos consistentes na disponibilidade dos equipamentos e na performance, refletidos nos indicadores de OEE. A redução de perdas por falha de equipamento teve o maior impacto no resultado, pois a ausência de conhecimento dos operadores ocasionava na má interpretação de pequenas falhas e na dependência de pessoas especializadas para resolver falhas simples, dessa forma a instrução e treinamento dos operadores foram fundamentais para otimizar o primeiro filtro na parada do equipamento, permitindo que em casos simples o próprio operador retomasse o funcionamento do equipamento. Entender a causa raiz de quebras dos equipamentos também possibilitaram a extinção do problema, evitando a reincidência da quebra. Além disso, a padronização foi fundamental para entender desvios e adequar à melhor condição operacional. Esses resultados reforçam a importância de adotar práticas eficazes de manutenção para otimizar a eficiência dos equipamentos, sendo uma estratégia eficaz e reforça a importância da gestão proativa dos equipamentos, da manutenção preventiva e manutenção autônoma na busca pela excelência operacional.

Embora a qualidade tenha se mantido constante ao longo do período analisado, é importante ressaltar que a implementação da Manutenção Produtiva Total pode ter contribuído indiretamente para a manutenção dos padrões de qualidade, uma vez que foca na prevenção de falhas e na manutenção proativa dos equipamentos. Portanto, mesmo que a qualidade não tenha apresentado melhorias diretas, a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) pode ter ajudado a evitar problemas de qualidade decorrentes de falhas nos equipamentos.

Os conceitos da Manutenção Produtiva Total, que aspira envolver não apenas a manutenção, mas também a participação de todos os funcionários e melhorias nos processos, foi fundamental para o sucesso da implementação. Os resultados obtidos mostraram que ações como manutenção preventiva, treinamentos, manutenção autônoma, padronização, engajamento dos funcionários e identificação de oportunidades de melhoria são elementos essenciais para maximizar o impacto da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) nos indicadores de OEE.

Os resultados alcançados sugerem que a implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) pode ser uma estratégia promissora para melhorar os indicadores de OEE na indústria. No entanto, é fundamental continuar a análise e avaliar mais a fundo, bem como considerar os resultados em conjunto com as limitações e desafios identificados.

5.2 Recomendações

É importante ressaltar que existem desafios e limitações a serem considerados ao interpretar os resultados. As limitações do estudo descritas no capítulo 5 devem ser reconhecidas e levadas em conta na interpretação dos resultados. Essas limitações apontam para a necessidade de pesquisas adicionais para confirmar e expandir os achados obtidos neste estudo.

Nesta seção são apresentadas recomendações práticas com base nas conclusões do estudo. Essas recomendações devem fornecer diretrizes para empresas e profissionais que desejam implementar a Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) com o intuito de melhorar os indicadores de OEE. Algumas recomendações que podem ser abordadas são:

pesquisas que abordam (mostrar para o meio acadêmico):

- Um estudo que busca mostrar formas de incentivar a cultura da manutenção; onde todos os funcionários reconheçam a importância da manutenção preventiva e participem ativamente das atividades para auxiliar na melhoria dos indicadores de OEE.

- Pesquisa apontando o aprimoramento da eficiência dos equipamentos através de um programa contínuo de manutenção preventiva e preditiva, focado na redução de tempos de parada e na otimização do desempenho dos equipamentos.
- Pesquisas relacionadas à melhoria da qualidade; embora a qualidade tenha se mantido constante nesse estudo, é importante explorar maneiras de melhorar ainda mais os processos de controle de qualidade, buscando atingir zero defeitos e reduzir retrabalho.
- Um estudo de caso do impacto de um monitoramento constante dos indicadores de OEE correlacionando os aprendizados preciosos para a melhoria contínua e do impacto da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).
- Um estudo de caso de como a utilização de tecnologias avançadas e automação, como sensores de monitoramento, análise de dados em tempo real e sistemas de manutenção computadorizados podem potencializar os resultados da implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*).
- Realizar pesquisas comparativas em diferentes setores da indústria para uma compreensão mais aprofundada dos benefícios da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) e sua relação com os indicadores de OEE.
- Realizar pesquisas comparativas com empresas que adotaram em relação às que não adotaram a Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) para comprovação da eficácia da abordagem.

Essas recomendações visam ao fortalecimento da implementação da Manutenção Produtiva Total - TPM (*Total Productive Maintenance*) e maximizar os benefícios alcançados, garantindo uma manufatura mais eficiente, confiável e produtiva.

5.3 Limitações do Estudo

É importante reconhecer algumas limitações deste estudo. Primeiramente, a pesquisa foi conduzida em uma única indústria, o que pode limitar a generalização dos resultados para outras organizações. Além disso, o período entre as coletas de dados é grande e a amostra limitada, podendo ter variações e particularidades que não são percebidas, dificultando o tempo de resposta e o estudo de longo prazo.

O objeto de estudo possui viés de seleção, tendo interesse no aumento de desempenho do equipamento, podendo não refletir a situação de outras empresas que não possuem o mesmo engajamento.

Ao reconhecer essas limitações, é importante interpretar os resultados com cautela e considerar a necessidade de pesquisas adicionais para complementar e validar as conclusões obtidas. Essas limitações não invalidam o estudo, mas fornecem um contexto crítico para compreender suas limitações e direcionar pesquisas futuras.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[HTTPS://OLIST.COM/BLOG/PT/COMO-VENDER-MAIS/INTELIGENCIA-COMPETITIVA/MERCADO-DE-ELETRODOMESTICOS/](https://olist.com/blog/pt/como-vender-mais/inteligencia-competitiva/mercado-de-eletrodomesticos/). In: Mercado de Eletrodomésticos no Brasil: análise e tendências do setor em 2022. [S. l.], 25 jul. 2022. Disponível em: <https://olist.com/blog/pt/como-vender-mais/inteligencia-competitiva/mercado-de-eletrodomesticos/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

A. L. GASPARIN (2004). Comportamento Mecânico de Polímero Termoplástico para Aplicação em Engrenagem Automotiva. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

XENOS, H. (2014). Gerenciando a manutenção produtiva. Nova Lima, Minas Gerais: Editora FDG.

TAKAHASHI, Y; OSADA, T. (2002). Manutenção Produtiva Total. São Paulo: Instituto IMAM.

RIBEIRO, H. Manutenção Produtiva Total - A Bíblia do TPM. Santa Cruz do Rio Pardo: Viena, 2014.

MANUTENÇÃO INDUSTRIAL:IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM). Revista E-XACTA, [S. l.], p. 176-196, 30 jul. 2012. Disponível em: <https://unibh.emnuvens.com.br/dcet/article/view/735/452>. Acesso em: 26 ago. 2022.

SILVA, Paulo Sergio D. da. Desenvolvimento De Uma Metodologia Para Otimização Do Projeto De Transmissões Por Engrenagens Cilíndricas De Perfil Evolvente Com Aplicação De Técnicas De Correção De Perfil. Dissertação de Mestrado enviada a Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, 2015.

RICHARDS, Keith L. Design Engineer's Handbook. CRC Press. Taylor & Francis Group. New York, 2013.

RIBEIRO, H. Manutenção Produtiva Total - A Bíblia do TPM. Santa Cruz do Rio Pardo: Viena, 2014.

BHOYAR, A. S.; RAUT, L. P; MANE, S. Total Productive Maintenance: The Evolution in Maintenance and Efficiency. International Journal of Engineering Research and Application, n.11, v. 7, p.26-32, 2017.

RIBEIRO, A. P. Utilização da manufatura de classe mundial (WCM) como uma ferramenta estratégica de diferenciação competitiva. 2014.30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) –Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

NAKAJIMA, Seiichi. Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989. Disponível em <<http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy/biblio.html>>. Acesso em 1 set. 2022.

ORIGEM e princípios do WCM - World Class Manufacturing. [S. l.], 5 abr. 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/origem-e-princ%C3%ADpios-do-wcm-world-class-kennd-felix/?trk=pulse-article&originalSubdomain=pt>. Acesso em: 1 set. 2022.

VEIGA, Leandro Ferreira. Estudo do pilar manutenção autônoma pela metodologia WCM (World Class Manufacturing). 2018. Disponível em: <<https://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/22009/1.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2022.

LAKATOS E. M; MARCONI, M, A. Técnicas de Pesquisa. 5ª Ed. – São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

VERGARA, S. C; Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração. 2ª Ed. São Paulo:

FILHO, M. S. ENGENHAGENS. 1º ed. São Paulo: McGRAW-HILL DO BRASIL LTDA, 1973. Editora Atlas, 1998.

SANTOS, Ana Carolina Oliveira; SANTOS, Marcos José. Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura – um estudo de caso. In: ENEGEP, 27, 2007, Foz do Iguaçu. Anais... [Foz do Iguaçu]: ABREPO, [2007]. p. 1-10. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR570426_0265.pdf> Acesso em: 10 set. 2022.

HANSEN, Robert C. Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros. Tradução Altair Flamarion Klippel. Porto Alegre: Bookman, 2006.

YAMASHINA, H. World Class Manufacturing: Métodos e instrumentos. Material interno de aplicação WCM da empresa, 2009.

FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. – Confiabilidade e Manutenção Industrial. São Paulo: Elsevier Ed., 2009.

WYREBSKI, J. Manutenção Produtiva Total - Um Modelo Adaptado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

CORTEZ, P.R.L et al. Análise das relações entre o processo de inovação na engenharia de produto e as ferramentas do WCM: estudo de caso de uma empresa do setor automobilístico. XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, 2010

KARDEC, A.; NASCIF, J. (2017). Manutenção Função Estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda.

FARIA, A. C. Redução de custos sob a ótica da manufatura enxuta em empresa de autopeças. Revista Gestão Industrial, pgs. 186-208. Ponta Grossa, 2012

BRANCO FILHO, Gil. Indicadores e Índices de Manutenção. Rio de Janeiro: Ciência moderna Ltda. 2006. 15

CHIAVENATO, Idalberto. Planejamento e controle da produção. São Paulo: Editora Manole, 2008.

SIPPER, D.; BULFIN JR., R. L. Production planning, control and integration. New York, McGraw-Hill, 1997.

SELEME, R. Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento. Curitiba: Intersaberes, 2015

PEREIRA, Mário Jorge. Técnicas Avançadas de Manutenção. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2010. 80 p.

TUBINO, D.F. O Planejamento e Controle da Produção – Teoria e Prática. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. Manutenção mecânica industrial: princípios técnicos e operações / Paulo Samuel de Almeida. — São Paulo: Erica, 2015. 152 p.: il. (Serie Eixos).

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JHONSTON, R. (2007). Administração de Produção. São Paulo: Atlas

TONI, Giovanna Porto. Elaboração e proposta de indicador de eficiência global de equipamentos (OEE) para terminal intermodal. 2018. Disponível em: <[https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23500/1/Elabora%
c3%a7%c3%a3oPropostaI ndicador.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23500/1/Elabora%c3%a7%c3%a3oPropostaI ndicador.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2022

SHINGO, Shigeo. Sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. Fundamentos de metodologia científica. [s.l: s.n.].

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas, 1999.

FRANCESCHI, Alessandro de. ANTONELLO, Miguel Guilherme. Elementos de Máquinas. Santa Maria: rede e-Tec. 2014.

MARIA SIMÕES RAMOS DA SILVA, Beatriz. Uso do indicador de eficácia global de equipamentos como ferramenta de gestão: estudo de caso aplicado à produção farmacêutica. 2012. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Tecnologia em Fármaco.