



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS, TECNOLÓGICAS
E HUMANAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

FELIPE FRANÇA DAMASCENO

**REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL (TPM) NA INDÚSTRIA**

CARAÚBAS-RN

2021

FELIPE FRANÇA DAMASCENO

**REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL (TPM) NA INDÚSTRIA**

Monografia apresenta a Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador (a): Profª. Pamela Larissa de Souza Vieira

CARAÚBAS-RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F155r França Damasceno, Felipe.
Referencial Teórico sobre a Importância da
Manutenção Produtiva Total (TPM) na Indústria /
Felipe França Damasceno. - 2021.
84 f. : il.

Orientador: Pâmela Larissa de Sousa Vieira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Manutenção Produtiva Total (TPPM). 2.
Indústria. 3. Manutenção. I. de Sousa Vieira,
Pâmela Larissa , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues

CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FELIPE FRANÇA DAMASCENO

**REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL (TPM) NA INDÚSTRIA**

Monografia apresenta a Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFRSA, Campus Caraúbas para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 12 / 11 / 2021

BANCA EXAMINADORA

PAMELA LARISSA DE SOUSA VIEIRA:10600439470
Assinado de forma digital por PAMELA LARISSA DE SOUSA VIEIRA:10600439470
Dados: 2021.11.23 15:33:08 -03'00'

Prof. Pâmela Larissa de Sousa Vieira
Presidente

JACKSON DE BRITO SIMOES:03617148409
Assinado de forma digital por JACKSON DE BRITO SIMOES:03617148409
Dados: 2021.11.24 20:43:06 -03'00'

Pr. Dr. Jackson de Brito Simões
Membro

WENDELL ALBANO:05837526404
Assinado de forma digital por WENDELL ALBANO:05837526404
Dados: 2021.11.23 18:52:23 -03'00'

Pr. Dr. Wendell Albano
Membro

Dedico este trabalho à minha namorada **Izodária Rutchely de Oliveira Menezes** e sua família, por sempre me ajudarem e colaborarem da melhor forma possível.

Dedico aos meus pais, **Herme Nunes Damasceno** e **Maria Marlene França Damasceno**, por sempre me incentivarem a buscar meus ideais, são meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

A princípio, quero agradecer a Deus por ter me concedido saúde e força para vencer as dificuldades.

A professora e orientador **Pamela Larissa de Souza Vieira**, por toda disponibilidade e acompanhamento.

A Universidade Federal Rural do Semi Árido que durante a minha vida acadêmica não foi só a minha instituição de ensino, mas também a minha segunda casa.

Agradecer aos meus pais **Herme Nunes Damasceno** e **Maria Marlene França Damasceno**, à minha namorada **Izodária Rutchely de Oliveira Menezes** e meus amigos que acreditaram sempre em mim e fizeram parte da minha formação.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”

Albert Einstein

RESUMO

A partir da década de 60 com o início da terceira revolução industrial até nos dias de hoje na quarta revolução (desde 2011), o cenário competitivo global gerou uma necessidade nas empresas em se destacarem, focando assim na busca por ferramentas com o objetivo de estabelecer uma cultura de melhoria contínua e que seja capaz de auxiliar na otimização da capacidade produtiva, performance, confiabilidade e qualidade. A Manutenção produtiva Total, usualmente chamada de TPM, do inglês *Total Productive Maintenance*, apresenta-se como uma metodologia voltada à disseminação da cultura de melhoria contínua, com o intuito de promover a mudança e adequação da cultura da organização com o propósito de alcançar objetivos como: a máxima eficiência produtiva; perda zero; defeito zero; maximização da eficiência dos equipamentos e máquinas; melhor gestão organizacional; minimização de paradas não programadas; e entregar qualidade com redução de custos. O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica para apresentar e demonstrar a importância da Manutenção Produtiva Total (TPM) para a indústria. Serão discutidas as concepções teóricas dos assuntos relacionados à Manutenção, TPM e a Indústria 4.0 para em seguida ser relatado os resultados obtidos por uma empresa que implementou a TPM, o caso foi apresentado pela Produttore, uma empresa especializada na capacitação e execução de projetos de consultoria com foco na excelência operacional da organização. Pela melhoria apresentada nos índices gráficos estudados, comprovou-se a importância e o efeito positivo da implementação da TPM sobre o resultado da empresa. Para a elaboração deste trabalho foram utilizados especialmente livros que abordam o assunto.

Palavras-chave: Manutenção produtiva Total (TPM), Indústria 4.0, Manutenção.

ABSTRACT

From the 60's with the beginning of the third industrial revolution until today in the fourth revolution (since 2011), the global competitive scenario generated a need in companies to stand out, thus focusing on the search for tools with the objective of establishing a culture of continuous improvement that is capable of helping to optimize production capacity, performance, reliability and quality. Total Productive Maintenance, usually called TPM, is presented as a methodology aimed at disseminating the culture of continuous improvement, with the aim of promoting change and adaptation of the organization's culture in order to achieve goals such as: maximum productivity efficiency; zero loss; zero defect; maximizing the efficiency of equipment and machines; better organizational management; minimization of unscheduled stops; and deliver quality with cost savings. This course conclusion work aims to make a literature review to present and demonstrate the importance of Total Productive Maintenance (TPM) for industry. Theoretical conceptions of matters related to Maintenance, TPM and Industry 4.0 will be discussed and then reported on the results obtained by a company that implemented a TPM. focusing on the organization's operational excellence. By the improvement shown in the studied graphic indexes, the importance and the positive effect of the TPM implementation on the company's results were proven. For the preparation of this work, books that deal with the subject were used especially.

Keywords: Total Productive Maintenance (TPM), Industry 4.0, Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de Manutenção	27
Figura 2 - Os oito pilares da TPM.....	44
Figura 3 - Fatores para determinação do OEE	48
Figura 4 - As quatro revoluções industriais	53
Figura 5 – Elementos formadores da Indústria 4.0	54
Figura 6 – Parque industrial da CCGL em Cruz Alta - RS.....	64
Figura 7 - Máquina piloto para implantação da TPM	65
Figura 8 - Roteiro de implementação da TPM	66
Figura 9 - Pilares escolhidos para implementação	66
Figura 10 - Estrutura responsável pela implementação da TPM	67
Figura 11 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de E&T.....	68
Figura 12 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de MP	70
Figura 13 – Gráfico de Manutenções Preventivas cadastradas	71
Figura 14 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de MA	72
Figura 15 - Manutenções corretivas nas linhas de envase e enfardo.....	73
Figura 16 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de MF	74
Figura 17 - IROG da linha piloto	75
Figura 18 - Produção diária de 8 máquinas de envase fracionado.....	76
Figura 19 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de GA	77
Figura 20 - Alteração da bomba centrífuga do pasteurizador.....	78
Figura 21 - Pilares da TPM dentro da CCGL.....	79
Figura 22 - Nova estrutura organizacional da empresa.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Custo da manutenção pelo faturamento bruto da empresa	21
Tabela 2 - Equipamentos cadastrados na prática de Manutenção Preventiva	70
Tabela 3 - Impacto da TPM na performance das máquinas	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução da manutenção.....	26
Quadro 2 - Evolução da Manutenção no Japão	35
Quadro 3 - As quatro gerações do TPM.....	36
Quadro 4 - Perfil dos empregados	38
Quadro 5 - As Grandes Perdas relacionadas ao TPM	39
Quadro 6 - Esquema de implantação da TPM	46
Quadro 7 - Exemplo teórico de cálculo de OEE	50

LISTA DE SIGLAS

5S's – *Seiri* (organização), *Seiton* (arrumação), *Seiso* (limpeza), *Seiketsu* (Limpeza pessoal ou padronização) e *Shitsuke* (disciplina).

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção.

CCQ – Círculo de Controle de Qualidade.

E&T – Educação e Treinamento.

GA – Gestão Antecipada.

IROG – Índice de Rendimento Global.

JIPM – *Japanese Institute of Plant Maintenance*, traduzido como Instituto Japonês de Manutenção de Planta.

LPU – Lição de um Ponto. Documento típico da TPM que contém instruções de forma visual e é utilizado para treinamento em tarefas bem específicas e pontuais.

MA – Manutenção Autônoma.

MF – Melhorias Focalizadas.

MP – Manutenção Planejada.

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

MTTR – *Mean Time to Repair*, traduzido como Tempo Médio para Reparo.

NARMNT – Normas Administrativas Relativas à Manutenção.

NBR – Normas Brasileira.

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

TPM – *Total Productive Management*, traduzido como Manutenção Produtiva Total.

ZD – *Zero Defects*, traduzido como Defeito Zero.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMA	17
1.2. JUSTIFICATIVA	17
1.3. CLASSIFICAÇÃO.....	18
1.4. OBJETIVOS	19
1.4.1. Objetivo Geral.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	20
2.2. DEFINIÇÃO DO TERMO MANUTENÇÃO	22
2.3. EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	23
2.4. TIPOS DE MANUTENÇÃO	27
2.4.1. Manutenção Corretiva Não Planejada	28
2.4.2. Manutenção Corretiva Planejada	28
2.4.3. Manutenção Preventiva	29
2.4.4. Manutenção Preditiva	30
2.4.5. Manutenção Detectiva.....	31
2.5. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	32
2.6. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM).....	33
2.6.1. Histórico.....	33
2.6.2. Definições da TPM.....	37
2.6.3. Objetivos Da TPM	37
2.6.4. As Grandes Perdas	39
2.6.5. Quebra Zero	41
2.6.6. Metodologia 5S na TPM	42
2.6.7. Os Oito Pilares Da TPM.....	43
2.6.8. Implantação da TPM.....	46
2.7. EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)	47
2.7.1. Índice de Disponibilidade	48
2.7.2. Índice de Performance Operacional	49
2.7.3. Índice de Qualidade do Produto.....	49
2.8. A INDÚSTRIA 4.0.....	51
2.8.1. Contexto histórico.....	51

2.8.2. Componentes-chave da Indústria 4.0	55
2.8.3. Os seis requisitos da Indústria 4.0	57
2.8.4. Manutenção na Indústria 4.0	57
2.9. IMPORTÂNCIA DA TPM NA INDÚSTRIA 4.0.....	59
3. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM).....	63
3.1. UNIDADE INDUSTRIAL DA COOPERATIVA CENTRAL GAÚCHO LTDA – CCGL	63
3.1.1. TPM.....	64
3.1.2. Ganhos	67
4. CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo (século XX), as atividades de manutenção eram consideradas um mal necessário por diferentes empresas de diferentes setores, pois suas atividades eram vistas como simples tarefas de reparos. Porém esta visão sobre a ganhou outros rumos devido às novas exigências (redução de custos, competitividade e melhorias crescente) que o setor industrial deveria cumprir para manter-se no mercado e continuar crescendo (XENOS, 1998).

Para Kardec e Nascif (2009) estas alterações são consequência de: projetos muito mais complexos, aumento da diversidade de itens físicos (instalações, equipamentos e edificações) que tem que ser mantidos, novas técnicas de manutenção entre outros. De acordo com Xenos (1998), a indústria vem se automatizando e tornando-se mais complexa devido ao grande volume de produção e as exigências por maior qualidade.

Surgiu uma maior preocupação com a produtividade e qualidade, e sobretudo com questões relacionadas à segurança no trabalho, a adequações às novas leis ambientais e com a depreciação e tempo de funcionamento dos equipamentos, já que a interrupção da linha produtiva pode gerar grandes impactos no faturamento total. Com isso a manutenção tornou-se um ativo fundamental na estrutura e planejamento de uma empresa (XENOS, 1998).

Ao longo dos anos a manutenção vem evoluindo dando origem a diversas gerações com diferentes níveis de exigências. Atualmente (2021) nos encontramos na 4º (quarta) geração da manutenção, que segundo (Kardec e Nascif, 2009) começou nos anos 2000, na chamada “Indústria 4.0” segundo (Schwab, 2016).

A indústria 4.0 é um conceito que engloba automação e tecnologia da informação, além das principais inovações tecnológicas desses segmentos, é caracterizada por uma internet mais onipresente e móvel, pela inteligência artificial e aprendizagem automática (SCHWAB, 2016).

As empresas do século XXI estão inseridas no ambiente extremamente competitivo da quarta revolução industrial e buscam um bom posicionamento no cenário econômico, e conseqüentemente, redução de custos e aumento da produtividade. Dessa forma, a qualidade e a produtividade empresarial estão ligadas

diretamente à manutenção que deve ser encarada como uma função estratégica dentro da organização.

Assim, compete ao processo de manutenção cuidar da conservação e operacionalidade dos equipamentos de produção, objetivando a antecipação dos defeitos através da observação técnica e criteriosa sobre a vida útil dos equipamentos realizando as intervenções necessárias para garantir a continuidade e qualidade da produção (MONCHY, 1987).

Baseando-se nesse conceito, as empresas têm buscado não só a melhoria de sua produção com novas tecnologias, mas também na adoção de metodologias que tornem os processos mais eficientes, com melhor gestão e redução de desperdícios, e como consequência aumentando sua produtividade.

Por isso vários modelos de gestão da produção têm sido aplicados nas empresas entre os quais se destaca a Manutenção Produtiva Total (MPT) ou *Total Productive Maintenance* (TPM). Segundo (Moraes, 2004) este é um sistema de gestão abrangente, que busca a eliminação contínua das perdas, obtendo assim a evolução permanente da estrutura empresarial, pelo constante aperfeiçoamento das pessoas, dos meios de produção e da qualidade dos produtos e serviços com o objetivo principal de melhorar a confiabilidade dos equipamentos e aumentar a qualidade dos processos.

O desenvolvimento da metodologia TPM baseia-se em uma estrutura de oito pilares de sustentação: Melhoria Específica; Manutenção Autônoma; Manutenção Planejada; Educação e Treinamento; Controle Inicial; Manutenção da Qualidade, TPM *Office*; Segurança, e as atividades de cada pilar são realizadas de forma totalmente integrada (KARDEC e NASCIF, 2009).

Por ser uma metodologia de gestão da produção, a implantação da TPM em uma indústria, tornaria a manutenção não mais um mal necessário, mas sim uma peça de importância ímpar para todo o processo, podendo trazer melhorias na eficiência dos equipamentos e integração de colaboradores de todos os setores.

1.1. PROBLEMA

Com o conceito de Indústria 4.0 ganhando cada vez mais força no cenário industrial, as empresas buscam à expansão do mercado consumidor por meio da redução de custos e melhoria dos processos de qualidade e de produto.

Segundo Xenos (1998) as fábricas estão se tornando cada vez mais automatizadas e complexas. Os volumes de produção e as exigências por maior qualidade são hoje bem maiores que há algumas décadas. Por isso, até mesmo as pequenas interrupções da produção podem causar grandes prejuízos.

Tais desafios criam a necessidade de desenvolvimento e implantação de ferramentas para o gerenciamento de todas as etapas de produção com a finalidade de atingir os objetivos da Indústria 4.0. Ao longo dos anos foram desenvolvidas várias técnicas e metodologias (FMEA, 5S, RCM, Lean Six Sigma) entre elas a Manutenção Produtiva Total (TPM).

A metodologia TPM se apresenta como um sistema gerencial que atua não só no processo de manutenção, mas em todo o processo produtivo. Com o objetivo de entender melhor e compartilhar a ideia e conceito da Manutenção Produtiva Total (TPM), este trabalho busca responder ao seguinte questionamento:

Adotar a manutenção produtiva total realmente proporciona uma vantagem competitiva para uma empresa?

1.2. JUSTIFICATIVA

Para Schwab (2016), o aumento dos níveis de competitividade trazidos pela quarta revolução industrial fez com que as empresas concedessem maior importância para o gerenciamento da produção. Os avanços tecnológicos e a busca por eficiência e produtividade máximas levaram a uma demanda por melhorias constantes e por minimização de desperdícios.

Neste sentido, novos sistemas, práticas e inovações surgem para a aplicação no setor de manutenção com foco na gestão da produção. Com objetivo do aumento da eficiência produtiva as organizações têm adotado políticas de caráter proativo como por exemplo a Manutenção Produtiva Total (TPM), (baseada na perda zero ou falha zero e na confiabilidade), de forma a garantir uma maior disponibilidade e *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dos equipamentos produtivos.

A Manutenção Produtiva Total visa minimizar as perdas e reduzir os custos com uma metodologia que engloba toda a estrutura organizacional do processo produtivo, garantindo por meio do gerenciamento que não ocorra nenhuma interrupção ou falha dos equipamentos evitando paradas indesejadas na produção (KARDEC e NASCIF, 2009).

Um entendimento do que é a metodologia TPM e dos desafios de implantação desse sistema em uma empresa pode ser um diferencial na busca por excelência na produtividade e eficiência.

Este trabalho se justifica por mostrar a importância de um planejamento de manutenção bem feito e o impacto da implantação do sistema TPM em uma empresa.

1.3. CLASSIFICAÇÃO

A presente pesquisa se caracteriza como qualitativa onde se baseia majoritariamente em pesquisas bibliográficas que demonstram a importância da TPM para as empresas. O tipo de pesquisa utilizado nesse trabalho, é explanatório, pois são realizados estudos bibliográficos para melhor entender a Manutenção Produtiva Total (TPM).

A pesquisa tem como objetivo compreender e explicar a evolução da manutenção nas empresas, e como aconteceram todo os passos, desde corretiva passando pela preventiva e preditiva até chegar no momento atual onde tem-se a implantação de uma engenharia de manutenção.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo principal apresentar a importância de implantação e possíveis contribuições da Manutenção Produtiva Total para a indústria.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Elaborar um referencial teórico sobre os tipos de manutenção e a manutenção produtiva total (TPM);
- b) Avaliar as consequências da implementação da TPM na indústria.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

O surgimento da indústria no fim do século XVIII e início do século XIX na Inglaterra foi um divisor de águas para a humanidade, transformando a economia e o estilo de vidas pessoas. Para Schwab (2016) a utilização da energia mecânica proveniente das máquinas no lugar da força muscular é o fator disruptivo no processo da revolução industrial, acelerando a produção de mercadorias e sendo responsável por grandes transformações no processo produtivo e desenvolvimento tecnológico.

Conforme descrito por Moubray (2000) a industrialização dos bens, que outrora eram produzidos de modo manual, fez surgir a necessidade dos primeiros reparos de ordem emergencial para evitar a paralisação das fábricas e das linhas de produção. Nesse período as máquinas e equipamentos eram simples e superdimensionados para evitar falhas e isso os tornavam mais confiáveis e consequentemente a manutenção não era tão necessária como nos dias de hoje, sendo vista até como um desperdício de tempo e material.

A manutenção surgiu como um mal necessário visto pela maioria das empresas como uma despesa e perda de tempo. Porém, nos últimos anos esse pensamento em relação à manutenção tem passado por mudanças e hoje ela já é reconhecida como uma função estratégica da empresa (XENOS, 1998).

O que antes era apenas uma correção de falhas no momento de quebra da máquina com prioridade na disponibilidade do equipamento tornou-se uma engenharia que prioriza a efetividade do negócio através do gerenciamento de perdas e custos com processos que visam a integridade física das pessoas e a conservação do meio ambiente.

Para Xenos (1998) os principais fatores que influenciaram essa mudança de atitude em relação à manutenção foram:

- a) exigências do mercado por maior qualidade e alta produtividade;
- b) novas regulamentações para segurança no trabalho e para preservação do meio ambiente;
- c) alta competitividade entre as empresas;

d) necessidades de reduções de custo sem alteração na produtividade.

Outro fator que reforça a importância de um projeto de manutenção é o impacto financeiro dentro da empresa que pode ser observado pelos indicadores de produtividade. O conceito de produtividade pode ser estabelecido como a relação entre faturamento e custos.

De acordo com Kardec e Lafraia (2002, p.18), para se maximizar o faturamento é necessário otimizar a disponibilidade e confiabilidade, isto pode ser obtido através das seguintes ações:

- a) Aumento da campanha das unidades produtivas;
- b) Minimização dos prazos de paradas dos sistemas;
- c) Minimização do tempo médio para reparo (TMPR ou MTTR);
- d) Maximização do tempo médio entre as falhas (TMEF ou MTBF).

O indicador de produtividade apresenta a relação entre o custo da manutenção e o faturamento bruto da empresa. A tabela 1 apresenta os dados históricos até o ano de 2011.

Tabela 1- Custo da manutenção pelo faturamento bruto da empresa

Ano	Custo total da manutenção/Faturamento bruto
2011	3,95%
2009	4,14%
2007	3,89%
2005	4,10%
2003	4,27%
2001	4,47%
1999	3,56%
1997	4,39%
1995	4,26%

Fonte: Documento Nacional da Manutenção: a Situação da manutenção no Brasil (2011).

Pelos dados apresentados na Tabela 1 observa-se que a menor proporção ocorre no ano de 1999 e a maior taxa ocorre no ano de 2001, a sequência dos dados

mostra ainda uma tendência de queda e uma estabilização em torno do 4%. Com o passar dos anos existe uma tendência de queda dos custos de manutenção pelo faturamento bruto com a aplicação de maneiras mais eficientes de manutenção.

Segundo Xenos (1998), a organização e o gerenciamento da manutenção são deficientes, existem deficiências de projetos, os recursos materiais são escassos, muitas empresas têm dificuldades na obtenção de peças e ferramentas especializadas e os recursos humanos são inadequados exigindo qualificação das equipes de manutenção.

Percebeu-se que a gestão da manutenção favorece a redução de custos e o aumento das receitas à medida que aumenta a produtividade e elimina as perdas e desperdícios. Diante disto, a manutenção ganhou destaque dentro das organizações com departamento exclusivo para a área, o peso no orçamento anual aumentou chegando a se tornar um parâmetro de desempenho dentro das empresas.

2.2. DEFINIÇÃO DO TERMO MANUTENÇÃO

A literatura disponibiliza diversas definições para o termo manutenção com diferentes enfoques que são estabelecidos de acordo com a finalidade que se pretende alcançar. De maneira geral, a definição básica gira em torno da correção e prevenção de falhas, onde dependendo da aplicação, do enfoque e do ambiente de forma geral, alguns aspectos tornam-se mais relevantes sobre os elementos econômicos envolvidos, preservação do meio ambiente, segurança do trabalho, otimização da produção, entre outros.

Alguns exemplos sobre definição para manutenção podem ser citados:

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462,1994) a manutenção pode ser definida como “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Reforçando esse conceito, Xenos (1998) descreve que as atividades de manutenção são todas as ações realizadas para garantir que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido.

Contudo, Pinto e Xavier (2001) ressalta que a manutenção não deve limitar-se em apenas garantir a disponibilidade da função dos equipamentos para atender a produção, mas também deve preservar o meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.

Em outras palavras pode-se dizer que o termo Manutenção se refere ao ato de estabelecer e gerenciar de forma contínua e sistemática as ações necessárias para realizar o controle das falhas e manter os equipamentos com maior índice de disponibilidade possível, assegurando durante toda sua vida útil, as características especificadas em projeto, além de garantir a saúde e segurança de seus usuários e a preservação do meio ambiente.

2.3. EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A necessidade de consertar as coisas sempre existiu, portanto, sempre foi necessário a realização de manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2009), foi com o desenvolvimento industrial que a prática se estabeleceu como necessidade absoluta das empresas.

As revoluções industriais e as grandes guerras levaram a expansão das práticas de manutenção fazendo com que fosse mais difundida no meio empresarial e estudada. De acordo com Schawb (2016) e Kardec e Nascif (2009), a partir da década de 30, a manutenção tem passado por diversas transformações podendo ser dividida em quatro gerações descritas a seguir:

Primeira geração: Abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, portanto, os períodos de paralisação não à espera de recuperação de falhas não eram tão importantes, isto significava que a prevenção de falhas dos equipamentos não era uma prioridade alta para os gestores da época. Os equipamentos eram simples e na sua grande maioria super dimensionados o que os tornavam confiáveis e fáceis de consertar. Consequentemente não existia a necessidade de uma prática de manutenção sistemática e rigorosa, tudo se baseava em praticamente limpeza, lubrificação e

assistência. A prática de manutenção era caracterizada pelo conserto após a falha ou manutenção emergencial (corretiva).

Segunda geração: Ocorre entre os anos 1950 e 1970, portanto após a Segunda Guerra Mundial. O caos causado pela guerra fez com que a demanda por todo tipo de produto aumentasse, porém, a mão de obra era escassa. Como consequência, ocorreu um forte aumento da mecanização e também a criação de estruturas industriais mais complexas.

As máquinas de todos os tipos ficaram mais numerosas e a indústria passou a depender mais delas, essa dependência levou à uma reavaliação sobre o tempo de parada dos equipamentos. A necessidade de maior disponibilidade, maior confiabilidade das máquinas e equipamentos em busca de maior produtividade fica em evidência. O bom funcionamento das máquinas era primordial, e isto levou a ideia de que as falhas precisavam e poderiam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva.

As manutenções passaram a ser realizadas em intervalos fixos de tempo pré-definidos, entretanto, os intervalos fixos para revisão e reparo dos equipamentos e máquinas ocasionaram redução de produção, aumento de custos de operação e dificuldades na prestação de serviços aos clientes. Segundo Moubray (2000), isso foi acentuado ainda mais, pois nesta fase, estava em vigor a prática *Just-in-time* (JIT), que tem como princípio a redução de desperdício e de estoques. Desta forma, ocorreu o nascimento da Manutenção Produtiva Total (TPM) e da terceira geração.

Terceira geração: A partir de 1970 acelerou-se o processo de mudanças nas indústrias. Ao mesmo passo que a produtividade e redução de custos era buscada pelas equipes de manutenção, acontecia por parte das áreas de planejamento da produção a aplicação de sistemas como o *Just-in-Time*. Nesse contexto, trabalhando com os estoques reduzidos significava que qualquer parada na linha de produção poderia afetar toda a fábrica.

Com o objetivo de equilibrar todo o sistema de produção, a automação e mecanização dos equipamentos tornavam-se cada vez mais comuns dentro das empresas. O aumento da automação e da mecanização acarretou na introdução de novos conceitos como Disponibilidade e Confiabilidade, que viriam a se tornar pontos-chave de toda a indústria.

De todo modo, em algum momento será necessário realizar paradas para manutenção dos equipamentos, segundo Kardec e Nascif (2009) como solução para os elevados custos dessas paradas é reforçado o conceito e utilização da manutenção preditiva. O avanço tecnológico permitiu a utilização de computadores pessoais mais velozes e o desenvolvimento de software potentes para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção, sendo essenciais para realização de técnicas preditivas.

Segundo Moubray (2000), todos os projetos que iniciaram nesse período tinham como foco aumentar a confiabilidade, contudo, a falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação impedia que os resultados fossem melhores e consequentemente as taxas de falhas prematuras eram elevadas. Ou seja, apesar dos avanços de tecnologia e práticas de manutenção da época, ainda existia uma lacuna para melhorias nos resultados obtidos, possibilitando que no início dos anos 2000 a quarta geração surgisse.

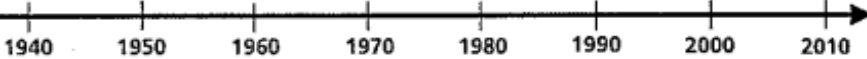
Quarta geração: Algumas expectativas existentes, que podem ser observadas no Quadro 1, na manutenção na terceira geração continuam a existir na quarta geração. Contudo, a preocupação com o gerenciamento dos ativos da empresa aumentou, a manutenção passou a ser centrada na confiabilidade gerando um aumento na utilização da manutenção preditiva. Ocorreu também a introdução de projetos de máquinas e equipamentos voltados para a confiabilidade, com isso as empresas passaram a ter participação ativa nos projetos desde a concepção até o produto final.

Tendo em vista que, as atividades de engenharia da manutenção, tem como principal justificativa de existência a garantia de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, o setor de manutenção passou a ser um ponto chave de toda a organização objetivando o perfeito funcionamento da planta industrial.

A manutenção tem como desafio a minimização de falhas para garantir maior disponibilidade e confiabilidade e reduzir ao máximo as práticas de manutenção corretivas e preventivas, com o objetivo de redução de custos e garantia da qualidade desejada.

Um resumo da evolução da manutenção é descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Evolução da manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	• Conserto após a falha	• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento	• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente	• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	• Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	• Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5	• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5
Mudança nas técnicas de Manutenção	• Habilidades voltadas para o reparo	• Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo)	• Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços	• Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida. • Contratação por resultados

Fonte: Kardec e Nascif (2009)

De acordo com Moubray (2000, p.4), cada vez mais a dependência pelos ativos físicos vai aumentando assim como seu custo operacional e custo de aquisição. Para garantir o máximo de retorno do capital investido, eles precisam ficar funcionando eficientemente a maior quantidade de tempo possível.

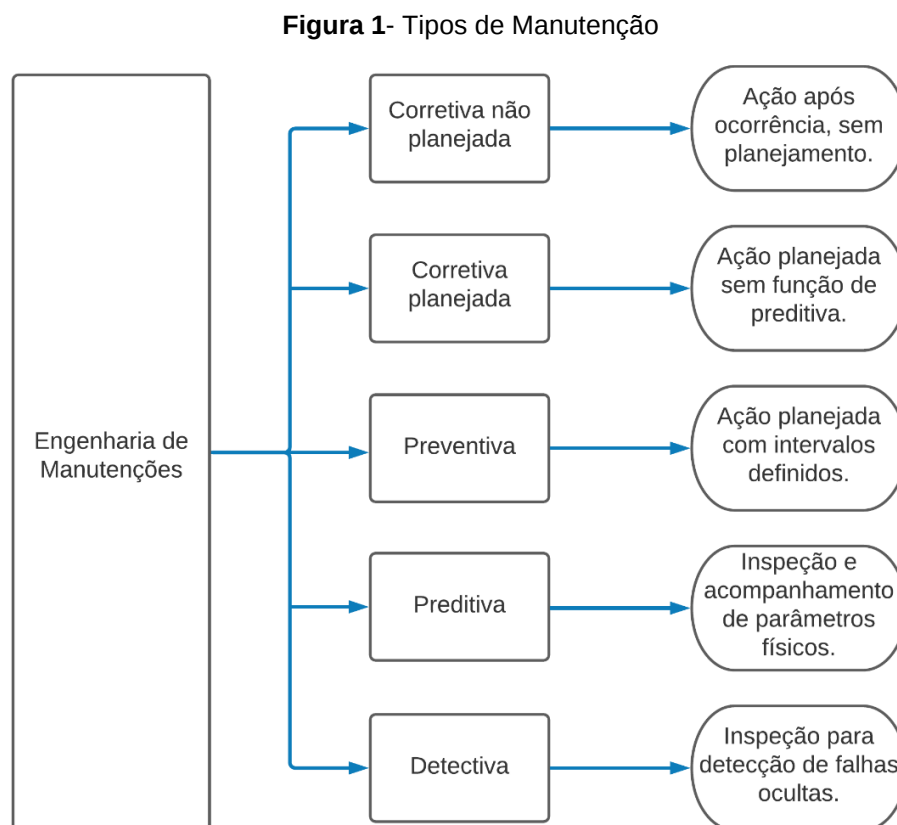
Como resultado, os custos de manutenção dentro de algumas empresas é o segundo maior, senão o maior, segundo Moubray (2000). O efeito dessa evolução foi que em menos de 30 anos um setor que era quase inexistente e até mal visto passou

a integrar o topo da lista de prioridades para redução de custos operacionais e para assegurar um *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) satisfatório à nível de mercado. O conceito de OEE será discutido ao longo do trabalho.

2.4. TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem diversas maneiras de caracterizar os tipos de manutenção. Os três métodos mais comuns e utilizados na indústria consistem em manutenção corretiva, preventiva e preditiva. O método a ser utilizado será decidido com base nos custos de manutenção e nos custos gerados pelas falhas, sendo assim, pode ser usado um ou mais método em um mesmo equipamento (XENOS, 1998).

Todavia, Kardec e Nascif (2009) consideram que os tipos de manutenção englobam além da manutenção corretiva, preventiva e preditiva, a detectiva e a engenharia de manutenção, como descrito na Figura 1.



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

2.4.1. Manutenção Corretiva Não Planejada

A manutenção corretiva é sempre feita depois de ter acontecido a falha. No Manual de Normas Administrativas Relativas à Manutenção (NARMNT, 2002, p.9) afirma que “Manutenção Corretiva não Planejada – é aquela que realiza a correção da falha de maneiras aleatória, ou seja, a correção da falha ou desempenho menor que o esperado, após a ocorrência de fato (não previsível)”

Do ponto de vista do custo de manutenção, Xenos (1998) relata que comparada aos métodos de prevenção de falhas nos equipamentos, a manutenção corretiva não planejada é mais barata, todavia, é sempre causada uma parada inesperada em toda a linha de produção o que leva à grandes perdas financeira e de produtividade.

Porém do ponto de vista de custo operacional total, onde é contabilizado não só os custos de manutenção, mas também os custos relacionados às perdas por paradas na produção, a manutenção corretiva não planejada pode sair muito mais cara do que o imaginado em princípio. (XENOS, 1998).

Na manutenção corretiva não planejada as intervenções são realizadas de forma provisória para colocar um equipamento em funcionamento e sempre acontecerá quando o equipamento vier falhar antes da previsão feita pela equipe de planejamento e controle de manutenção.

2.4.2. Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada acontece quando a manutenção é preparada, geralmente um planejamento técnico decide operar até a falha. É utilizado para equipamentos de baixa importância para a planta e baixo custo.

Conceitualmente Kardec e Nascif (2009, p.43) diz que a “Manutenção Corretiva Planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou a correção da falha por decisão gerencial”

A decisão de deixar o equipamento falhar já é de conhecimento da equipe de manutenção, portanto já existe uma ação planejada quando essa falha ocorrer.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a adoção de uma manutenção corretiva planejada pode estar relacionada com diversos fatores, entre eles:

- a) A falha não oferece nenhum risco à segurança dos colaboradores;
- b) A intervenção é compatível com outros interesses da produção;
- c) Garantia de peças de reposição;
- d) Capacidade profissional para executar o serviço.

Em alguns casos é mais vantajoso realizar manutenção corretiva em algumas partes menos críticas dos equipamentos, neste caso a equipe de manutenção espera a peça falhas e já realiza a troca por um componente novo. Para manter essa prática, a empresa precisará ter peças montadas estoque, que pode ou não, ser financeiramente viável. De qualquer modo, mesmo com manutenção corretiva, a busca pela identificação da falha deve continuar afim de bloqueá-las evitando seu retorno.

2.4.3. Manutenção Preventiva

Com uma idéia contrária à manutenção corretiva, a manutenção preventiva se caracteriza por atividades (limpeza, lubrificação, troca de componentes) realizadas periodicamente dentro da empresa. Uma programação de todas as paradas é realizada e deve ser seguida fielmente, uma característica importante desse método segundo Xenos (1998, p.24), é que todas as intervenções são feitas antes da falha crítica dos equipamentos.

Segundo Kardec e Nascif (2009, p.42) a “Manutenção Preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”

De acordo com Monchy (1987), a manutenção preventiva é realizada com a intenção de reduzir a probabilidade de falha de um bem ou a degradação e um serviço prestado.

A Manutenção preventiva é tratada por Xenos (1998) como o coração de todas as atividades de manutenção, essa prática de manutenção engloba algumas tarefas

sistemáticas tais como as inspeções, reformas, lubrificação e troca de componentes principalmente.

As trocas dos componentes podem ser baseadas no número de ciclos do equipamento ou no tempo de uso, e ocorre geralmente quando a inspeção é difícil de ser realizada. Apesar de praticada frequentemente, como descreve Xenos (1998, p. 24), a manutenção preventiva baseada no ciclo de vida do equipamento pode acarretar em desperdícios pela realização da troca prematura de peças que não se encontram no fim da vida útil.

Segundo Kardec e Nascif (2009), a forma técnica para se determinar o período de troca é utilizando o tempo médio entre falhas dos componentes, representado pela sigla MTBF (do inglês *Mean Time Between Failiures*). De todo modo, na manutenção preventiva, as trocas das peças acontecerão antes do seu fim de vida útil que conseqüentemente acarretará em desperdícios, tornando esse método um custo alto para a empresa quando comparado à manutenção corretiva.

2.4.4. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é também conhecida como manutenção sob condição de acordo com Kardec e Nascif (2009), seu objetivo é prever falhas e garantir a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

“A manutenção preditiva permite otimizar a trocar das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estarão próximos do seu limite de vida” (XENOS, 1998, p. 25).

“É a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 44). Na realidade, o termo manutenção preditiva é o ato de prever as condições de operação do equipamento, ou seja, a disponibilidade é privilegiada evitando que sejam feitas intervenções nas máquinas já que todas as medições para obtenção dos parâmetros são feitas com os equipamentos ainda funcionando.

Segundo a ABNT (1994), a manutenção preditiva possibilita que a qualidade do serviço seja mantida, por meio da utilização de métodos de supervisão para análise

dos equipamentos a fim de minimizar a prática da manutenção preventiva e da manutenção corretiva.

De acordo com Pereira (2011), a manutenção preditiva permite identificar os defeitos antes que ocorram, garante maior segurança na operação, bem como maior disponibilidade, confiabilidade e diminui as quebras por realizar o monitoramento dos equipamentos e obter parâmetros para análise.

De forma geral, a manutenção preditiva antevê as condições dos equipamentos através de parâmetros obtidos por técnicas preditivas como: ultrassom, análise de óleo, análise de vibrações, termografia, e quando é decidido realizar a intervenção, na prática é feita uma manutenção corretiva planejada.

2.4.5. Manutenção Detectiva

Manutenção detectiva é o método aplicado em equipamentos nos quais as políticas de manutenção corretiva, preventiva e preditiva não são totalmente adequadas. Segundo Kardec e Nascif (2009) em geral são equipamentos de proteção cuja falha só poderá ser identificada no momento do uso.

“É a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção” (KARDEC E NASCIF, 2009, p. 47).

As tarefas de execução para saber se um sistema de proteção está funcionando caracterizam a Manutenção Detectiva. Lâmpadas de sinalização e alarmes em painéis são objetos utilizados durante a execução da manutenção, por exemplo.

Além disso, Kardec e Nascif, (2009, p. 48), diz:

A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação. É cada vez maior a utilização de computadores em instrumentação e controle de processo nos mais diversos tipos de plantas industriais. São sistemas de dados, controladores lógicos programáveis, Sistemas Digitais de Controle Distribuído – SDCD, *multi-loops* com computador

supervisório e outra infinidade de arquiteturas [...] (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 48).

A busca pela confiabilidade e disponibilidade define o estado atual das empresas, e com a Manutenção Detectiva isso se torna cada vez mais possível. Nesta metodologia os especialistas realizam monitoramentos no sistema, sem a necessidade de uma parada, e são capazes de detectar falhas ocultas podendo corrigir o equipamento sem precisar tirá-lo de operação.

2.5. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A Engenharia de Manutenção é uma forma de gestão da manutenção que busca consolidar a rotina e implantar melhorias contínuas nas atividades de manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2009), algumas das principais atribuições da Engenharia de Manutenção, são:

- a) Aumentar confiabilidade com a prevenção de falhas mais aprimorada;
- b) Aumentar disponibilidade já que terá uma diminuição nas manutenções corretivas e preventivas;
- c) Aumentar a segurança;
- d) Elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer sua análise crítica;
- e) Capacitação dos profissionais do setor de manutenção;
- f) Extinção de problemas crônicos, etc.

Outro princípio da Engenharia de Manutenção é a minimização do custo do ciclo de vida dos equipamentos ainda durante a fase do projeto, pois esse custo é praticamente permanente após o término do projeto, pelo fato de que 90% a 95% do equipamento são inalteráveis após sua construção. (NAKAJIMA, 1989, p.80)

A minimização dos custos do ciclo de vida dos equipamentos consiste na utilização de dados adquiridos pela manutenção (Preditiva e Detectiva) para prover melhorias contínuas para a planta industrial. Esses dados são fornecidos para os fabricantes dos equipamentos com o propósito de ter um maquinário quase sob

medida para a instalação industrial e assim reduzir drasticamente as atividades de manutenção.

2.6. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

2.6.1. Histórico

Segundo Kardec e Nascif (2009), a TPM teve origem no Japão na empresa Nippon Denso KK, subsidiária do Grupo Toyota, que recebeu o Prêmio PM, em 1971, concedido às empresas que tiveram sucesso na aplicação desse método. Apenas em 1986 foi apresentado no Brasil pela primeira vez. Apesar da origem japonesa, considera-se que a TPM é derivada da manutenção preventiva, contemplado originalmente nos Estados Unidos, e da manutenção autônoma.

Para Kardec e Nascif (2009), o processo evolutivo da TPM desde sua criação até sua consolidação, como conhecido atualmente, se deu da seguinte forma:

a) Manutenção Preventiva – 1950

Inicialmente adotada com o conceito de intervenções planejadas para evitar falhas e melhorar o desempenho e a vida útil das máquinas e equipamentos.

b) Manutenção com Introdução de melhorias – 1957

Nessa etapa o foco era a criação de facilidades nas máquinas e equipamentos afim de aumentar a confiabilidade e melhorias nas intervenções da Manutenção Preventiva.

c) Prevenção da Manutenção – 1960

Nesse momento acontece uma quebra de paradigmas, pois o foco agora era eliminar qualquer necessidade de intervenção para manutenção. Para isso os projetistas tiveram que incorporar nos projetos das máquinas e equipamentos, soluções para cumprir essa nova exigência.

d) TPM – 1970

As novas exigências de mercado obrigaram as empresas a serem cada vez mais competitivas e eficientes. A busca pela eficiência máxima obrigou as empresas a:

- Eliminar desperdícios;
- Obter melhor desempenho dos equipamentos;
- Reduzir as interrupções de produção por quebra ou intervenções;
- Investir em capacitação técnica dos profissionais de manutenção.

A utilização de novas sistemáticas de trabalho como o CCQ – Círculos de Controle de Qualidade, ou ZD – Defeito Zero (*Zero Defects*), fez com que novos conceitos fossem difundidos e virarem base do TPM, são eles:

- Cada um deve exercer o autocontrole.
- A máquina é de responsabilidade do operador.
- Homem, máquina e empresa devem estar conectados
- A manutenção dos meios de produção deve ser uma preocupação geral.

O Quadro 2 ilustra a evolução da manutenção no Japão abrangendo o processo de caracterização da TPM.

Quadro 2 - Evolução da Manutenção no Japão

Década	DÉCADA DE 50: busca da consolidação da função e performance por meio da manutenção preventiva	DÉCADA DE 60: conceitos de confiabilidade, segurança e economicidade passam a ser visualizados como tópicos fundamentais dentro dos projetos de instalações industriais (Era da Manutenção do Sistema de Produção)	DÉCADA DE 70: ênfase na pessoa, administração participativa e visão global de sistema; incorporação dos conceitos de prevenção da manutenção com o desenrolar concomitante do TPM
Técnicas Administrativas	- Manutenção Preventiva (MP - a partir de 1951) - Manutenção do Sistema Produtivo (MSP – a partir de 1954) - Manutenção corretiva com a incorporação de melhorias (MM – a partir de 1957)	- Prevenção da Manutenção (PdM – a partir de 1960) - Engenharia de Confiabilidade (a partir de 1962) - Engenharia Econômica	- Incorporação de conceitos das ciências comportamentais - Desenvolvimento da Engenharia de Sistemas - Logística e Terotecnologia
Fatos em destaque	1951: Introdução da sistemática de Manutenção Preventiva (MP) nos moldes americanos pela Towa Fuel Industries 1953: Criação de um comitê para Estudo da MP, integrado por 20 empresas que abraçaram o programa, dando origem ao embrião do JIPM 1954: Visita de George Smith ao Japão para disseminação dos conceitos de PM	1960: I Simpósio Japonês de Manutenção 1962: Visita aos Estados Unidos da 1ª Delegação Japonesa para Estudo da Manutenção de Instalações promovido pela JMA (<i>Japan Management Association</i>) 1963: Simpósio Internacional de Manutenção em Londres 1964: Início do Prêmio PM, de excelência em manutenção 1968: Simpósio Internacional de manutenção em New York 1969: Criação do JIPE (<i>Japan Institute of Plant Engineering</i>)	1970: Simpósio Internacional de Manutenção de Tokyo promovido em conjunto pelo JIPE e JMA, além do Simpósio Internacional de Manutenção na Alemanha Ocidental 1971: Simpósio Internacional de Manutenção em Los Angeles 1973: Simpósio de Manutenção e Reparo em Tokyo, além do Simpósio Internacional de Terotecnologia em Bruxelas 1974: Simpósio Internacional de Manutenção em Paris 1976: Simpósio Internacional de Manutenção na Iugoslávia 1981: Fundação do JIPM (<i>Japanese Institute of Plant Maintenance</i>)

Fonte: NAKAJIMA (1989, p.11)

De acordo com Moraes (2004), a TPM tem passado por diversas evoluções desde seu surgimento, podendo ser dividido em quatro gerações:

No início do TPM as ações para maximização da eficiência global dos equipamentos focavam apenas as perdas por falhas e em geral eram tomadas pelos departamentos relacionados diretamente ao equipamento. Esse período pode ser denominado a primeira geração

do TPM. A segunda geração do TPM se inicia na década de 80, período em que o objetivo de maximização da eficiência passa a ser buscado por meio da eliminação das seis principais perdas nos equipamentos divididas em: perda por quebra ou falha, perda por preparação e ajuste, perda por operação em vazio e pequenas paradas, perda por velocidade reduzida, perda por defeitos no processo e perda no início da produção. No final da década de 80 e início da década de 90 surge a terceira geração do TPM, cujo foco para maximização da eficiência deixa de ser somente o equipamento e passa a ser o sistema de produção. A quarta geração do TPM que se inicia a partir de 1999, considera que o envolvimento de toda a organização na eliminação das perdas, redução dos custos e maximização da eficiência ainda é limitado. Essa geração contempla uma visão mais estratégica de gerenciamento e o envolvimento também de setores como comercial, de pesquisa e desenvolvimento também de produtos, para eliminação de 20 grandes perdas divididas entre processos, inventários e compras. (MORAES, 2004, p.38)

O Quadro 3 resume as quatro gerações da TPM.

Quadro 3 - As quatro gerações do TPM

	1ª geração 1970	2ª geração 1980	3ª geração 1990	4ª geração 2000
Estratégia	Máxima eficiência dos equipamentos		Produção e TPM	Gestão e TPM
Foco	Equipamento		Sistema de Produção	Sistema geral da Companhia
Perdas	Perda por falha	Seis principais perdas nos equipamentos	Dezesseis perdas (equipamentos, fatores humanos e recursos na produção)	Vinte perdas (processos, inventário, distribuição e compras)

Fonte: Palmeira e Tenório, (2002, p.92)

Como pode ser observado no Quadro 3, a TPM surgiu com foco apenas nos equipamentos definindo estratégias para alcançar a máxima eficiência e ao longo dos anos evoluiu para uma gestão de manutenção, passando a abranger toda a organização, desde colaboradores do chão-de-fábrica até os diretores e gerentes, com foco que vai além dos equipamentos e máquinas, mas com toda a estrutura que compõe a empresa.

2.6.2. Definições da TPM

Várias definições podem ser encontradas na literatura sobre a metodologia de Manutenção Produtiva Total, mais conhecida onde é aplicado pela sigla TPM (*Total Productive Maintenance*). Entre elas, tem-se:

A TPM é um conjunto de atividades cujo compromisso está voltado para os resultados positivos dentro da empresa, indústria que tenha interesse em atingir a máxima eficácia do seu sistema de produção e assim maximizar o ciclo total de vida útil dos equipamentos aproveitando todos os recursos disponíveis, sempre tentando atingir o ZD - Defeito Zero (NAKAJIMA, 1989).

De acordo com JIPM (2002):

Esforço elevado na implementação de uma cultura corporativa que buscar a melhoria da eficiência dos sistemas produtivos, por meio da prevenção de todos os tipos de perdas, atingindo assim o zero acidente, zero defeito e zero falhas durante o ciclo de vida dos equipamentos, cobrindo todos os departamentos da empresa incluindo Produção, Desenvolvimento, Marketing e Administração, requerendo o complexo envolvimento desde a alta Administração até a frente de operação com as atividades de pequenos portes (JIPM, 2002, p.1)

Ou seja, a TPM exige esforço focado no resultado. É mais que uma metodologia de manutenção, é uma “maneira de pensar”, que requer a integração de todos em busca do mesmo objetivo, a interrelação dos mais diferentes níveis da empresa é imprescindível para o sucesso.

A TPM é um conceito gerencial que começa pelo incentivo da proatividade e criatividade normalmente inexplorada na equipe de colaboradores. Seu objetivo é promover uma cultura onde os operadores sintam-se donos e assim responsáveis de suas máquinas, para que aprendam muito mais sobre elas, e no processo consigam contribuir no diagnóstico de defeitos e falhas, na resolução de pequenos problemas e no projeto de aperfeiçoamento do equipamento.

2.6.3. Objetivos Da TPM

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a TPM objetiva a eficácia da empresa através da maior qualificação profissional dos funcionários e melhoramentos

contínuos nos equipamentos. Também prepara pessoas e organizações para que sejam aptas a conduzir a indústria da automação.

Um dos objetivos da TPM é promover uma cultura na qual os operadores se sintam responsáveis pelas suas máquinas, aprendendo mais sobre elas, podendo assim prover pequenos reparos e dar diagnósticos de problemas e sugestões de aperfeiçoamento. (BRANCO FILHO, 2003 *apud* BELINELLI, 2009).

Pode-se dizer que o objetivo da TPM é a melhoria da estrutura empresarial mediante a melhoria da qualidade de pessoal e equipamento. Tudo isso irá garantir maior disponibilidade das máquinas mediante à interação e entendimento do operador e seu equipamento. No Quadro 4 podemos observar o perfil dos empregados e a capacitação necessária de acordo com a função.

Quadro 4 - Perfil dos empregados

FUNÇÃO	RESPONSABILIDADES
OPERADORES	Execução de atividades de manutenção de forma espontânea (lubrificação, regulagens, etc).
MANTENEDORES	Execução de tarefas na área de mecânica.
ENGENHEIROS	Planejamento, projeto e desenvolvimento de equipamentos que “não exijam manutenção”.

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009, p.195)

Segundo JIPM (2002), os cinco principais objetivos que definem a TPM são:

- 1) Maximizar a eficiência de produção;
- 2) Reduzir todos os tipos de perdas, com a meta de zero defeitos, zero acidentes e avarias em todo o sistema de produção;
- 3) Envolvimento de todos os setores da empresa na implantação do TPM;
- 4) Envolvimento de todos os níveis de funcionários, desde a gerência até o chão de fábrica na implantação do TPM;
- 5) Utilizar pequenos grupos de trabalhos, com fim de realizar melhorias contínuas para obter a meta zero.

Deste modo, é visível que a melhoria no resultado global da empresa é o principal objetivo da TPM e, portanto, sendo necessário o desenvolvimento intelectual e técnico de todos os colaboradores para que seja possível promover mudanças nas máquinas e equipamentos que segundo Kardec e Nascif (2009, p.195) realizando essas mudanças é provável obter a “melhoria no resultado final”.

2.6.4. As Grandes Perdas

Perda ou desperdício é tudo aquilo que não agrega valor ao produto final. O princípio básico da TPM é a eliminação de todas as perdas e falhas. A abordagem das perdas, conforme o Quadro 5, na visão da TPM, de acordo com Kardec e Nascif (2009, p.196).

Quadro 5 - As Grandes Perdas relacionadas ao TPM

As 6 Grandes Perdas	Causa da Perda	Influência
1. Quebras 2. Mudança de Linha	PARALISAÇÃO	Tempo de Operação
3. Operação em Vazio e Pequenas Paradas 4. Velocidade Reduzida em Relação à Nominal	QUEDA DE VELOCIDADE	Tempo Efetivo de Operação
5. Defeitos de Produção 6. Queda de Rendimento	DEFEITOS	Tempo Efetivo de Produção

Fonte: Kardec e Nascif (2009, p.196)

a) Perda por quebras

São as que mais prejudicam o desempenho operacional dos equipamentos. Podem ser de dois tipos:

- Perda em função de uma quebra repentina do equipamento;
- Perda em função da degradação ao longo do tempo que torna os equipamentos defeituosos.

b) Perdas por mudanças de linha

São perdas relacionadas a mudanças de uma linha para adequar um novo produto. As máquinas precisam ser interrompidas para as alterações necessárias de ajuste e regulagens.

c) Perdas por operação em vazio e pequenas paradas

São interrupções momentâneas causadas por problemas na produção e equipamentos, que obrigam uma intervenção do operador para que o sistema volte a funcionar.

d) Perdas por queda de velocidade

Provenientes da diferença entre a velocidade que a máquina foi projetada para funcionar e a velocidade que ela funcionando. Diferença esta, que pode ocasionar defeitos de qualidade, problemas elétricos e etc.

e) Perdas por produtos defeituosos

São perdas relacionadas à não conformidade do produto em relação a qualidade desejada. Além de gerar custos por retrabalho da peça ou descarte, pode gerar danos à imagem da empresa, caso o produto defeituoso chegue no mercado.

f) Perdas por Queda no Rendimento

São perdas relacionadas à não utilização de toda a capacidade nominal das máquinas, equipamentos e sistemas, causadas basicamente por problemas operacionais, como por exemplo: a falta de matéria-prima, instabilidade operacional e etc.

As organizações que adotam a metodologia TPM devem concentra-se em eliminar os principais causadores de perdas, visando atingir a máxima eficiência global do equipamento. Dessa maneira, fica fácil entender o objetivo da metodologia em capacitar e desenvolver intelectualmente os colaboradores, como já mencionado no item 2.6.3, para que conduzam a manutenção de forma espontânea e trabalhem proativamente para a melhoria das condições do equipamento, aliado a isso, a capacitação da equipe de manutenção para que seja multivalente e possa contribuir na redução de custos operacionais, como menciona Kardec e Nascif (2009, p. 203).

2.6.5. Quebra Zero

Na política da TPM o conceito de “Quebra Zero”, visto que a quebra do equipamento é um dos maiores fatores que contribuem para a queda de rendimento. Além disso as máquinas foram projetadas para funcionamento integral sem interrupções por falha ou quebra, portanto medidas e soluções precisam ser desenvolvidas para atingir esse objetivo.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), “Quebra Zero” significa que as máquinas não podem quebrar durante o período programado para estarem operando, o que não significa que a máquina nunca pode quebrar, são coisas diferentes.

Algumas medidas precisam são fundamentais para obter a quebra zero (KARDEC e NASCIF, 2009):

- a) Limpeza da área, lubrificação e ordem;
- b) Operar os equipamentos dentro das condições e limites estabelecidos;
- c) Recuperar o equipamento por problemas de envelhecimento e evitar quebras futuras;
- d) Eliminar as causas de envelhecimento do equipamento;
- e) Corrigir eventuais deficiências do projeto original;
- f) Capacitação e desenvolvimento técnico do operador para que ele seja capaz de diagnosticar e realizar os devidos reparos.

Pode-se dizer que o conceito de “Quebra Zero” tem como base a disponibilidade do ativo durante o período que no qual foi projetado para operar. Porém, isso não significa uma ausência de manutenção no equipamento, mas sim a garantia de operação sem interrupção não solicitadas.

Com um olhar rápido pode-se pensar que o conceito de “Quebra Zero” seja uma utopia em que nenhuma máquina falhe, nenhum acidente aconteça ou que não ocorra nenhum defeito. Porém, é preciso compreender que na realidade o conceito trata sobre evitar ao máximo todos os fatores causadores de falhas e, caso aconteçam, conhecer as causas. Todos os objetivos mencionados até aqui são aplicados e conquistados dentro de 8 (oito) pilares da TPM, assunto que será abordado mais adiante.

2.6.6. Metodologia 5S na TPM

Os pilares da TPM são divididos em oito atividades de apoio e uma fundação chamada de metodologia 5S. Os 5S's é a base da qualidade que dará sustentação ao programa e irá preparar a empresa para todas as mudanças causadas pela TPM, que segundo Kardec e Nascif (2009, p.187) sem uma cultura de 5S dificilmente será possível ter um ambiente que proporcione trabalhos de qualidade.

O TPM causa um grande impacto na rotina dos colaboradores da empresa, de todos os níveis de hierarquia, e envolve um grande processo de mudança cultural. O envolvimento dos funcionários com a implementação da TPM e o comprometimento com a manutenção dos níveis de excelência alcançados podem ser observados pelo gerenciamento dos 5S's. Fontes de contaminação, desorganização e outros indícios de descaso com o ambiente de trabalho e com os recursos produtivos revelam que a TPM não tem bases sólidas de implementação. (NAKAJIMA, 1989, p.6).

Ao entenderem a natureza das falhas e os princípios de funcionamento dos equipamentos os operadores deixam de praticar os 5'S somente nas áreas de mais fácil aplicação como por exemplo, corredores e armários e passam a aplicar em locais mais complexos e menos visíveis dos equipamentos e é nesse momento que a metodologia ganha força e passa a ser praticada intensamente trazendo os resultados desejados. (XENOS, 1998, p.297).

Coutinho (2019) diz que, "Os problemas não podem ser identificados quando o local de trabalho é desorganizado. Limpar e arrumar o ambiente ajuda a equipe a descobrir falhas, que é o primeiro passo para a melhoria."

A metodologia 5S baseia-se em 5 sensores, que devem ser aplicados de forma ordenada (COUTINHO, 2019):

- a) *Seiri* (Uso): Consiste em separar os itens necessários e desnecessários com base no grau de utilidade no local de trabalho, que determinará onde o item deverá ser guardado ou descartado;
- b) *Seiton* (Organização): Consiste em definir onde organizar e identificar os itens necessários, levando em consideração o tamanho e forma;

- c) *Seisou* (Limpeza): Significa preservar as funções do equipamento e eliminar riscos de acidente e perda de qualidade;
- d) *Seiketsu* (Limpeza pessoal ou Padronização): Consiste em cuidados e asseios com uniformes, ferramentas e com objetos utilizados no local de trabalho.;
- e) *Shitsuke* (Disciplina): Esse conceito prega a educação, disciplina e obediência as regras de trabalho, principalmente no que se refere a organização e segurança.

O programa 5S pode ser definido como uma estratégia de potencializar e desenvolver as pessoas para pensarem no bem comum e assim promove mudanças dentro da organização direta ou indiretamente que segundo Kardec e Nascif (2009, p.188) são:

- a) Melhoria da qualidade;
- b) Melhoria da produtividade;
- c) Redução de custos;
- d) Modificação da cultura da empresa;
- e) Maior participação em todos os níveis de hierarquia da organização;
- f) Incentivo à criatividade e proatividade dos colaboradores.

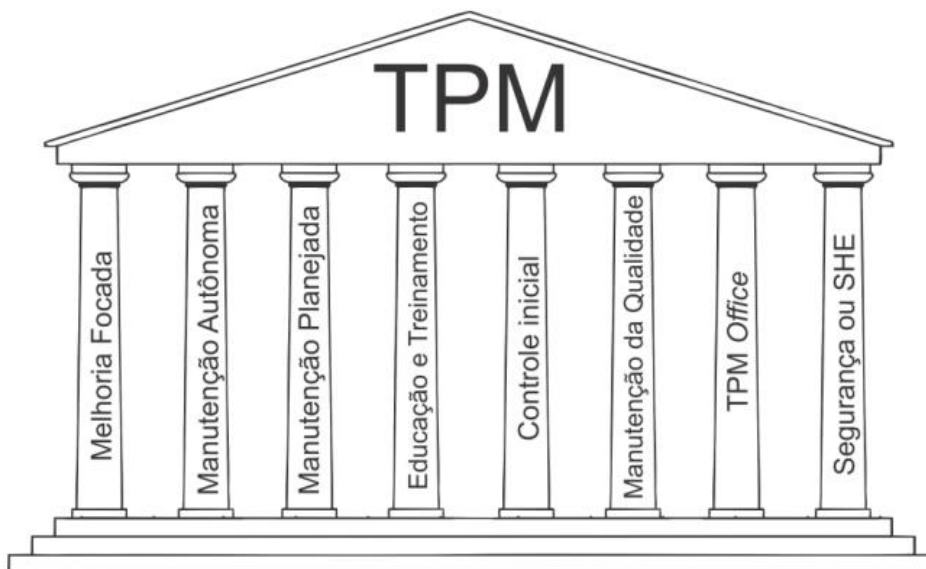
Observando as mudanças provocadas pela metodologia 5S fica mais claro o motivo de sua utilização como base de sustentação da política de manutenção TPM, o conceito de “Quebra Zero” como foi abordado no Item 2.6.5, será mais facilmente atingido uma vez que for implantado os 5 (cinco) sensores dentro da empresa.

2.6.7. Os Oito Pilares Da TPM

Embora cada empresa, em função de sua cultura, tenha suas peculiaridades para a implementação da TPM, existem alguns princípios que são básicos para todas elas e que são denominados os pilares de sustentação da TPM (NAKAJIMA, 1989, p. 42).

A Figura 2, representa a casa da TPM sustentada pelos oito pilares, que juntos formam um sistema produtivo mais eficiente.

Figura 2 - Os oito pilares da TPM



Fonte: Kardec e Nascif (2009)

Cada um dos pilares pode ser descrito como (KARDEC e NASCIF, 2009, p.199):

- a) Pilar da Melhoria Focada: Responsável pela gestão de informações e funcionamento das máquinas e equipamentos. Procura-se resolver problemas crônicos dos equipamentos para aumentar o desempenho do negócio;
- b) Pilar da Manutenção Autônoma: A manutenção autônoma cria uma relação de responsabilidade entre o operador e o equipamento, fazendo necessário o desenvolvimento técnico do operador para seu novo papel. De modo geral, a manutenção autônoma é realizada pelo operador, o qual procura manter a saúde da máquina, através de rotinas de limpeza, lubrificação, reajuste, etc;
- c) Pilar de Manutenção Planejada: Significa ter realmente o controle e planejamento da manutenção, o que implica em utilização de sistemas mecanizado de planejamento da programação diária e do planejamento de paradas. Desse modo a TPM, utiliza as tarefas tradicionais de preventiva, preditiva e corretiva como atividades básicas de manutenção dos equipamentos. Uma vez que a inspeção

dos equipamentos e a troca de peças não garante alcançar o conceito de “quebra zero”, a TPM indica, como manutenção planejada, a coleta de dados para a elaboração de um planejamento mais coerente e funcional;

- d) Pilar da Educação e Treinamento: Tem a função de receber a demanda dos outros pilares em relação a método e mão-de-obra dos colaboradores das áreas de atuação. Basicamente refere-se à aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais, para liderança, manutenção e operação;
- e) Pilar do Controle Inicial: Trata-se de consolidar toda a sistemática de levantamento de dados para elaboração de melhorias, processo realizado tanto para máquinas mais antigas como para máquinas mais novas. Torna-se necessário a elaboração de novos projetos baseados na Prevenção de Manutenção que eventualmente resultará em máquinas com “falha zero”;
- f) Pilar da Manutenção da Qualidade: Compreende as atividades que destinam a definir condições do equipamento para atingir a meta de “falha zero”. Tem como objetivo garantir a qualidade do produto e serviço eliminando todas as defeitos que influenciam negativamente na qualidade desejada;
- g) Pilar do TPM OFFICE: Conhecido como TPM de escritório, busca o aprimoramento do trabalho administrativo, eliminando quaisquer desperdício e perda gerados no trabalho de escritório. Se faz necessário que todas as atividades da empresa sejam eficientes, os resultados concretos devem ser alcançando para contribuir com seu gerenciamento;
- h) Pilar da Segurança ou SHE: Esse pilar tem como objetivo a segurança de trabalho dos operadores, focando no “acidente zero”, e ainda tem preocupações com o meio ambiente. A empresa deve possibilitar e exigir cuidados com a saúde de cada indivíduo que ali trabalha. Esses esforços resultarão em menor inadimplência causadas por doenças.

Pode-se observar que todos os oito pilares estão relacionados aos objetivos pretendidos pela TPM, e apesar de uma associação bastante clara em alguns casos

como da manutenção planejada, quebra zero, além da segurança, é preciso ser entendido como um conjunto, todos os pilares precisam ser empregados para se conseguir todos os objetivos.

2.6.8. Implantação da TPM

A metodologia TPM representa uma forma de revolução dentro da organização pois necessita da integração total das variáveis: homem x máquina x empresa. Para que a TPM seja implantada com sucesso e possa atingir seus objetivos, se faz necessário cumprir 12 (doze) etapas descritas no Quadro 6.

O Quadro 6 demonstra o esquema que normalmente a implantação da TPM é seguido:

Quadro 6 - Esquema de implantação da TPM

Fase	Etapas	Conteúdo
Preparação	1- Declaração oficial da decisão da Diretoria pela implantação da TPM	• Uso de todos os meios de comunicação disponíveis
	2- Educação, treinamento e divulgação do início da implementação	• Seminários para gerencia média/alta • Vídeos para os operadores
	3- Estruturação das equipes de multiplicação e implementação	• Identificação das lideranças e montagem dos comitês
	4- Estabelecimento da política básica e metas da TPM	• Escolha de metas e objetivos a serem alcançados
	5- Elaboração do plano diretor para implementação da TPM.	• Detalhamento do plano
Introdução	6- Lançamento do projeto empresarial TPM	• Convite a fornecedores, clientes e empresas contratadas
Implantação	7- Melhorias em máquinas e equipamentos	• Definição de área e/ou equipamentos e estruturação das equipes de trabalho
	8- Estruturação da manutenção autônoma	• Implementação da manutenção autônoma • Auditoria de cada etapa
	9- Estruturação do Setor de Manutenção e condução da Manutenção Preditiva	• Condução da manutenção preditiva • Sobressalentes, ferramentas e desenhos
	10- Desenvolvimento e capacitação pessoal	• TPM de escritório, revisão das rotinas administrativas com base na filosofia da TPM de eliminação de perdas
	11- Estrutura para controle e gestão dos equipamentos numa fase inicial	• Gestão do fluxo inicial • LCC (Life Cycle Cost)

Consolidação	12- Realização da TPM e seu aperfeiçoamento	• Obtenção de resultados que demonstrem o alcance e a manutenção da excelência em TPM
--------------	---	---

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Como já abordado, a TPM é uma filosofia que provoca grandes mudanças na empresa, tanto no âmbito cultural como no âmbito pessoal do envolvidos. A necessidade de aprendizado, conhecimento e amadurecimento de todos os colaboradores leva um certo tempo, e as 12 etapas de implementação podem ser agrupadas em quatro fases (NAKAJIMA, 1989, p.45):

1ª fase: Preparação que tem objetivo principal a preparação de um ambiente propício para a implementação, onde busca-se o comprometimento e conscientização de todos.

2ª fase: Introdução, onde ocorre o lançamento do projeto. Todas as atividades relacionadas ao projeto devem ser compreendida e servir como motivação para todos.

3ª fase: Implantação, onde todas as atividades voltadas para a eficiência global da empresa são colocadas em prática.

4ª fase: Consolidação, onde os desafios foram superados e os objetivos alcançados, a partir desse momento a manutenção dos resultados torna-se o maior objetivo.

Deste modo, é possível observar que a implantação da metodologia TPM deve respeitar a sequência apresentada composta por 12 etapas e cada etapa têm seu período de entendimento, aplicação e resultados que devem seguir rigorosamente o que foi previamente planejado.

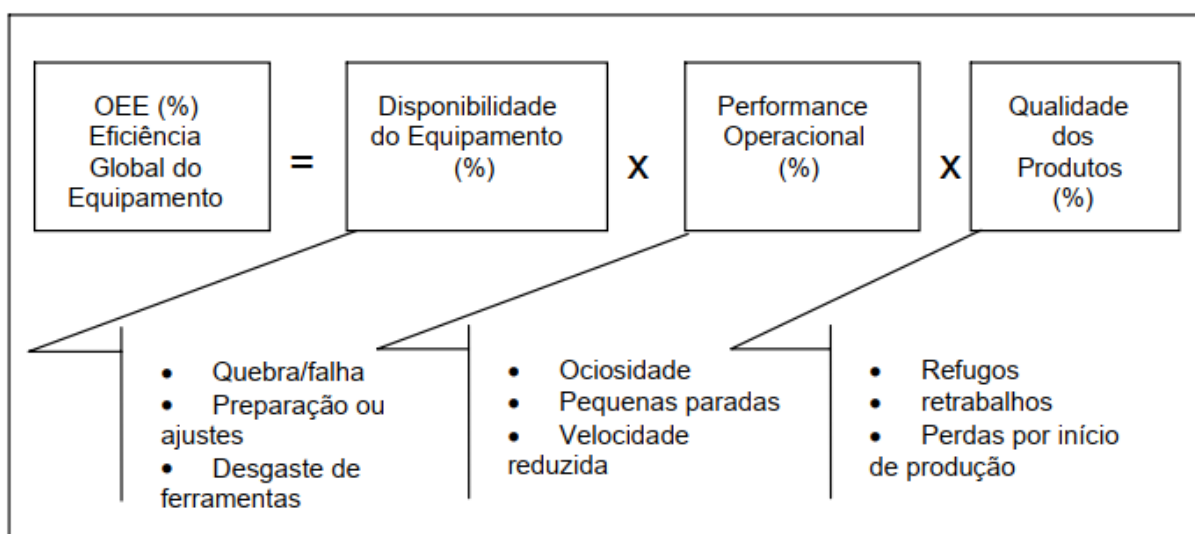
2.7. EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)

Na indústria 4.0 o principal objetivo é a redução de custos, portanto o foco é direcionado nas perdas do processo. Essas perdas são medidas em forma de um indicador chamado Eficiência Global do Equipamento, representado pela sigla OEE (*Overall Effectiveness Equipment*, sigla em inglês). A disponibilidade da máquina tem

de ser otimizada e precisa atingir níveis de excelência, para manter a empresa sustentável dentro do mercado competitivo.

Como demonstra a Figura 5, o indicador OEE é o resultado da multiplicação de outros três indicadores que são: disponibilidade do equipamento, performance operacional e qualidade do produto. Esse índice também é mundialmente utilizado para medir os resultados obtidos com a implementação da TPM (NAKAJIMA, 1989).

Figura 3 - Fatores para determinação do OEE



Fonte: NAKAJIMA (1989, p.25)

2.7.1. Índice de Disponibilidade

Segundo Moraes (2004), expressa a relação entre o tempo que o equipamento realmente operou e o tempo em que deveria ter operado, expresso na fórmula (1).

$$Disp (\%) = \frac{\text{Tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas não planejadas}}{\text{Tempo total programado} - \text{paradas planejadas}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- Tempo total programado: Tempo total programado para o equipamento com base no tempo teórico do ciclo de vida e na demanda da produção;
- Paradas planejadas: Tempo programado para manutenções planejadas, treinamentos e reuniões;

- c) Paradas não planejadas: Tempo gasto com operações inesperadas, geralmente causadas por problemas na produção devido a falha do equipamento.

Observa-se que quanto maior o número de paradas, menor será o índice de disponibilidade.

2.7.2. Índice de Performance Operacional

Conforme demonstrado na fórmula (2), é a relação percentual entre o tempo de ciclo de vida real enquanto o equipamento estiver operando e o tempo de ciclo de vida teórico que é normalmente determinado pela engenharia de manutenção, (MORAES, 2004).

$$Perf(\%) = \frac{\text{Tempo teórico de ciclo} \times \text{total de peças produzidas}}{\text{Tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas não planejadas}} \times 100 \quad (2)$$

Os principais problemas que podem afetar esse índice são:

- a) Operação em vazio: Equipamento ativado, mas nenhum item está sendo produzido;
- b) Quedas de velocidade de operação: Quando a velocidade de operação está menor que a programada, geralmente causado por inexperiência do operador;
- c) Pequenas paradas não registradas: Onde a máquina fica parada por algum motivo, porém não é apontado no indicador de Disponibilidade.

2.7.3. Índice de Qualidade do Produto

De acordo com Moraes (2004), é o percentual da quantidade total de peças produzidas com a quantidade de peças refugadas e retrabalhadas, conforme a fórmula (3).

$$Quali(\%) = \frac{\text{Total de peças produzidas} - (\text{Total de refugos} + \text{retrabalhos})}{\text{Total de peças produzidas}} \times 100 \quad (3)$$

O Quadro 7 apresenta um exemplo teórico de cálculo de OEE.

Quadro 7 - Exemplo teórico de cálculo de OEE

Índice de Disponibilidade				
Item	Descrição	Forma de cálculo	Valor	Resultado
A	Tempo Programado Total	8 horas	8 * 60	480 min
B	Tempo de parada programada (reunião, descanso, manut. preventiva)			20 min
C	Tempo Disponível (Tempo Total - Tempo parada programada)	A - B	480 - 20	460 min
D	Tempo Perdido (por quebra, falhas, ajustes e pequenas paradas registradas)			60 min
E	Tempo de Operação (Disponível-Perdido)	C - D	460 - 60	400 min
F	Índice de Disponibilidade (Tempo Operação/Tempo Disp)*100	(E / C)*100	(400 / 460) * 100	87%
Índice de Performance Operacional				
Item	Descrição	Forma de cálculo	Valor	Resultado
G	Total de peças produzidas (boas + ruins)			400 pç
H	Tempo teórico de ciclo			0,5 min / pç
J	Índice de Performance Operacional ((Tempo teórico de ciclo * Total pçs produzidas) / Tempo de Operação)*100	((H*G)/E)*100	((0,5*400)/400)*100	50%
Índice de Qualidade do Produto				
K	Total de defeitos (refugo + retrabalho)			8 pç
L	Índice de Qualidade do Produto ((Total pçs produzidas - Total de refugos e retrabalhos) / Total pçs produzidas) * 100	((G-K)/G)*100	((400-8)/400)*100	98%
Índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE)				
M	Índice de Efic Global Equip (OEE) (Disponib * Performance * Qualidade)	(F*J*L)/10.000	(87*50*98)/ 10.000	43%

Fonte: Adaptado de Moares (2004); NAKAJIMA (1989)

Segundo Nakajima (1989) uma empresa que utiliza o OEE para medição da eficiência dos equipamentos se depara inicialmente com valores entre 30% e 60%. Um OEE de 85% pode ser considerado um excelente resultado, desde que todos os dados para o cálculo sejam confiáveis e que todas as variáveis que influenciam o cálculo tenham sido consideradas. Em geral as empresas tem dificuldade no registro correto das ocorrências diárias o que pode ocasionar em um resultado final do OEE irreal para a empresa.

Moraes (2004 apud SHIRVANI, 2000, p.153) relata que um estudo realizado em uma empresa de autopeças inglesa e um dos líderes do mercado mundial no seu segmento, registrou valores de disponibilidade de 84%, performance de 76% e qualidade de 97% que multiplicados resultam em um valor de OEE de 62%.

2.8. A INDÚSTRIA 4.0

2.8.1. Contexto histórico

A história da evolução da indústria passa por períodos de revolução. O termo revolução remete à uma mudança radical e a uma transformação completa. Segundo Schwab (2016), na história as revoluções tem acontecido quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam mudanças profundas na cultura de uma sociedade e no seu sistema econômico.

Nossa primeira grande revolução aconteceu a mais de 10.000 anos atrás, e ficou conhecido como a revolução agrícola que combinou a força animal com a força humana, trazendo benefícios no transporte, agricultura e comunicação. Com a revolução agrícola, vieram várias revoluções industriais iniciadas no século 18 (SCHWAB, 2016).

Segundo Venturelli (2017):

A primeira revolução industrial foi de aproximadamente 200 anos (1712-1913), quando Henry Ford criou a linha de produção em massa, onde definimos a segunda Revolução Industrial, fazendo a produção empurrada, criando conceito da produção em escala, reduzindo o custo e popularizando o produto, para que a massa trabalhadora pudesse adquirir, criando um ciclo virtuoso na indústria e na economia.

A terceira revolução industrial começou na década de 60, foi chamada de revolução digital ou do computador, pois foi marcada pelo desenvolvimento do semicondutor usado na produção de processadores digitais presente nos computadores, no desenvolvimento da computação pessoa e da internet.

Nesse período foi implantado e difundido o uso de computadores no chão-de-fábrica, colocando sensores e outros dispositivos eletrônicos capazes de monitorar várias variáveis da produção, trazendo maior informação e com maior precisão. O resultado foi um aumento na produtividade, uma redução de custos e uma elevação na qualidade dos produtos (VENTURELLI, 2017).

Para Schwab (2016), o momento atual está em vigência a quarta revolução industrial, caracterizados pelos sistemas chamados físicos-cibernéticos (CPS). Esses

sistemas são uma extensão da integração da produção, sustentabilidade e satisfação do cliente, formando a base de sistemas e processos de redes inteligentes.

A quarta revolução, no entanto, não diz respeito apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Seu escopo é muito mais amplo. Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica. O que torna a quarta revolução industrial diferente das anteriores é a fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos (SCHWAB, 2016, n.p).

A quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, nasceu a partir de uma estratégia do governo alemão, apresentada em 2011, para o desenvolvimento de alta tecnologia para o setor produtivo no país, e ainda se tornar um fornecedor de soluções de ciência e tecnologia de diversas áreas, isto para alavancar a economia depois da perda de mercado nos últimos quarenta anos quanto ao valor agregado da sua base na indústria global (FIRJAN, 2016).

Para Teles (2018), a indústria 4.0 traz como marca o conjunto de mudanças nos processos de produção, suas operações e seus sistemas através de uma conexão digital integrada, sendo também classificada de fábrica inteligente. Pode-se dizer que é a transformação digital da fábrica, onde os equipamentos agora utilizam de inteligência artificial tornando possível a tomada de decisão de forma automática baseando-se em parâmetros previamente estabelecidos e com dados coletados e cruzados (TELES, 2018).

Sendo assim, conforme Schwab (2016), os principais objetivos da indústria 4.0 são:

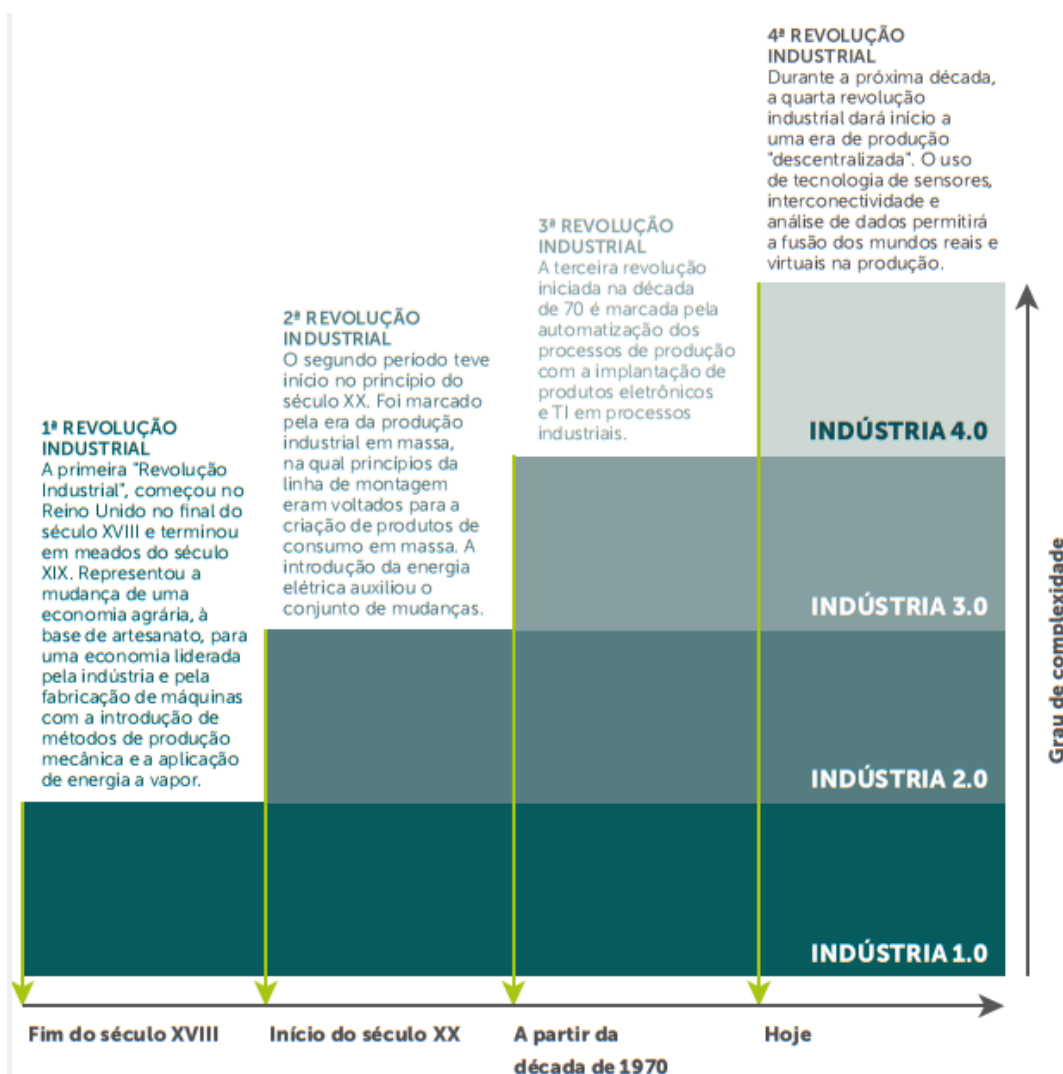
- a) Aumento da Produtividade;
- b) Maior disponibilidade;
- c) Maior agilidade;
- d) Conectividade;
- e) Melhoria das condições de trabalho.

Segundo Sacomano *et al.* (2018), a indústria 4.0 além de ter como objetivo a otimização das cadeias de valor em todas as fases do ciclo de vida do produto, também contempla a utilização de sistemas quer físicos quer cibernéticos, que trabalhando em conjunto com algoritmos que contêm métodos de análise avançados,

permitam que as fábricas inteligentes possuam máquinas autónomas e inteligentes que sejam capazes de prever potenciais problemas de desempenho através da análise de degradação dos seus componentes.

A Figura 3 ilustra as características de cada uma das quatro gerações da revolução industrial até os dias de hoje na Indústria 4.0.

Figura 4 - As quatro revoluções industriais



Fonte: Firjan (2016)

Além disso, Schwab (2016) afirma que a quarta revolução industrial evolui do conceito de internet e cliente-servidor, já implantado na terceira revolução, para o conceito de mobilidade total e integrada. Foi possível criar pontes entre os ambientes físico e virtual através de tecnologias como Internet das coisas (*IoT*, sigla em inglês),

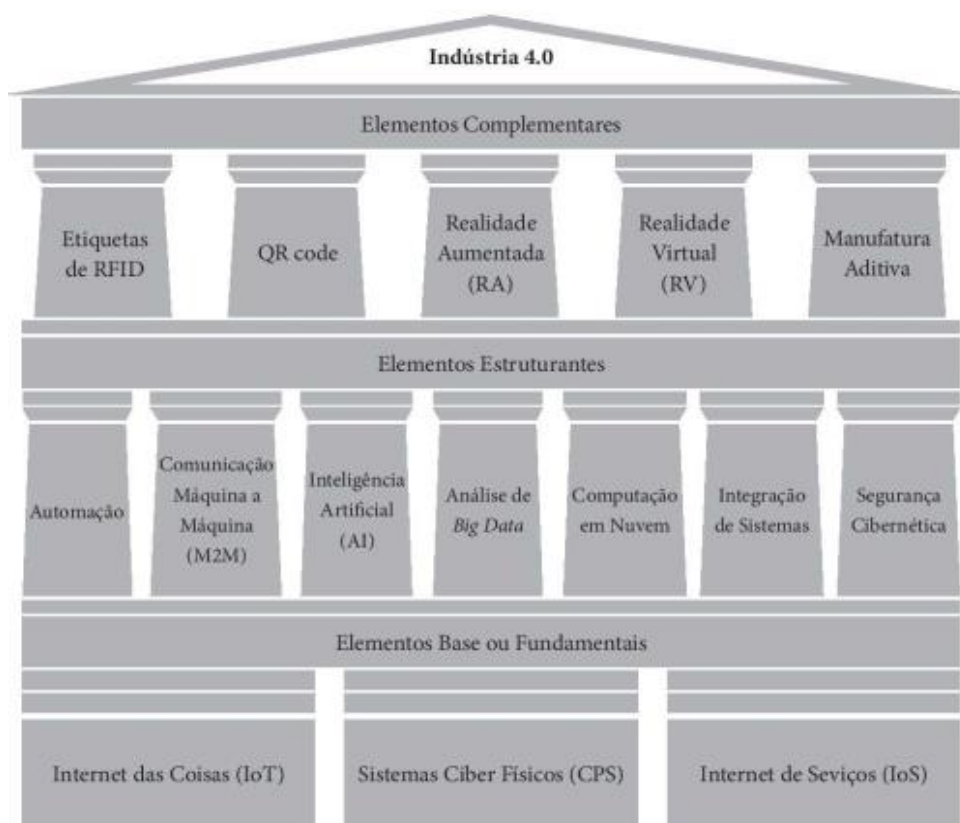
Big Data, Inteligência Artificial (IA ou AI em inglês), nanotecnologia entre outras, que permite à indústria 4.0 seja levada a níveis cada vez maiores de inovação e oportunidades com automação, mobilidade, e otimização de processos.

De acordo com Venturelli (2017), a principal arma da indústria 4.0 é a capacidade operacional em tempo real que ela proporciona. Obtém dados, registra e disponibiliza de forma instantânea. As principais vantagens oferecidas são:

- a) Redução de custos;
- b) Economia de energia;
- c) Aumento de segurança;
- d) Conservação ambiental;
- e) Redução de erros;
- f) Fim do desperdício;
- g) Aumento na qualidade de vida.

A conexão digital e física é vista na aplicação de 11 (onze) tecnologias interligadas, demonstradas na Figura 5.

Figura 5 – Elementos formadores da Indústria 4.0



Fonte: Sacomano *et al* (2018, p.39)

Uma vez que o conceito de Indústria 4.0 ainda permanece em discussão e evolução, uma classificação do que faz parte ou não desse cenário é ainda muito complexo. Sacomano *et al.* (2018, p. 33) apresenta uma proposta de classificação dos elementos formadores da Indústria 4.0 representados na Figura 5:

- a) Elementos base ou fundamentais: representam a rede base tecnológica fundamental sobre o qual a Indústria 4.0 se apoia e sem os quais não poderia existir. São considerados elementos base: os Sistemas Ciber Físicos (CPS), Internet das Coisas (IoT) e Internet de Serviços (IoS);
- b) Elementos estruturantes: são tecnologias e conceitos que permitem a construção de aplicações da Indústria 4.0, estão presentes em várias aplicações, porém nem todos são essenciais momentaneamente, contudo à medida que a indústria evoluir todos os elementos tendem a estar presentes. Sacomano *et al* (2018) considera nesta classificação que uma organização industrial seja entendida como participante do conceito 4.0, pelo menos boa parte dos elementos estruturantes devem estar presentes. Os elementos estruturantes são: Automação, Comunicação máquina a máquina, Inteligência Artificial (IA), Big Data Analytics, Computação em Nuvem, Integração de Sistemas, Segurança Cibernética;
- c) Elementos complementares: são elementos tecnológicos que aumentam as possibilidades de conectividade e interação na Indústria 4.0, mas que utilizados sem o acompanhamento de elementos estruturantes e/ou elementos base, não tornam uma indústria participante do conceito 4.0. Os elementos complementares são: Etiquetas de *RFID*, Código *QR*, Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Manufatura aditivada.

2.8.2. Componentes-chave da Indústria 4.0

Segundo Hermann, Pentek & Otto (2015) *apud* FIRJAN (2016), para a formação da Indústria 4.0, são necessários quatro elementos-chave:

- a) Sistemas ciber físico (*Cyber Physical Systems* - CPS): São sistemas compostos por unidades virtuais com a finalidade de controlar unidades físicas. Pode-se dizer que permite a integração do mundo digital e físico.
- b) Internet das coisas (*Internet of Things* - IoT): Rede de objetos, sistemas e plataformas, com o objetivo de estabelecer uma comunicação entre ambientes internos e externos. Enquanto na rede de internet convencional o emissor e receptor são os seres humanos, na IoT emissor e receptor são “coisas”, ou seja, os objetos utilizam a internet como um canal de comunicação.
- c) Internet dos Serviços (*Internet of Services* - IoS): Pela IoS novos serviços são disponibilizados por meio da internet ou internamente à empresa. Quando a Internet das Coisas funciona de maneira adequada, o conjunto de informações eleva os dados a um novo patamar, pode-se identificar oportunidades e introduzir novos serviços.
- d) Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*): Nestas fábricas, são utilizados os CPS, gerando ganhos tangíveis de eficiência, tempo, custo, quando comparados com uma fábrica tradicional. Existe uma comunicação entre todos os setores, trabalhando em conjunto, trocando dados a todo o tempo.

Com a utilização dos elementos-chave da Indústria 4.0 ganha-se um novo mundo com infinitas possibilidades de produtos e serviços que podem ser ofertados e facilitados. Por exemplo, produtos fabricados poderão ter sensores e atuadores para que possam enviar e receber informações fazendo uso da IoT, ou obter informações instantâneas em aparelhos portáteis sobre as condições de um equipamento ou máquina com a utilização da IoS. Os ganhos são imensos e segundo Sacomano *et al.* (2018, p.29) os principais benefícios são: aumento da competitividade, aumento da eficiência, redução de gastos e desperdícios, tomadas de decisões mais assertivas.

2.8.3. Os seis requisitos da Indústria 4.0

Firjan (2016) afirma que o estudo da *Technische Universitat Dortmund* aponta que além dos componentes-chave, existe seis requisitos primordiais para a eficácia da Indústria 4.0. Sendo eles:

- a) Interoperabilidade, possibilita a comunicação de todos os CPS do ambiente através das redes;
- b) Virtualização, permite que as informações retiradas dos CPS dos produtos e equipamentos físicos sejam passadas virtualmente e em simulações, possibilitando analisar os cenários;
- c) Descentralização dos controles dos processos produtivos, uma vez que com a Internet das Coisas, os computadores estarão na tomada de decisões com base nos dados;
- d) Adaptação da produção em tempo real, uma vez que existe uma análise constante dos dados, logo após identificar uma falha é possível realizar a correção;
- e) Orientação a serviços, ou seja, serão disponibilizadas informações em rede aberta, tornando a internet dos serviços ainda mais complexa;
- f) Sistemas modulares dos equipamentos e linhas de produção com uma maior flexibilidade para se adaptar as mudanças que julgar necessária.

Os seis requisitos surgiram para dar um ar mais sistemático ao conceito de indústria 4.0, e sobretudo para poder identificá-lo como fenômeno dentro da empresa. Esses insumos correlacionados definem os sistemas de produção inteligentes que tendem a surgir nos próximos anos.

2.8.4. Manutenção na Indústria 4.0

Dentro da indústria, o setor de engenharia de manutenção é responsável por traçar estratégias de manutenção que sejam capazes de garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Além de manter essa disponibilidade e

confiabilidade, a engenharia de manutenção também deve manter a produtividade da equipe de manutenção.

Segundo Borlido (2017) a junção de tecnologias é essencial para na prevenção de falhas, das onze tecnologias apresentadas na Figura 4, as principais utilizadas serão três: Big Data e Data Analytics, Internet das coisas (IoT), e Nuvem de Dados, suas funções são:

- a) Internet das coisas (IoT): Permite a coleta de informações através de dispositivos e sensores eletrônicos e a troca de informações entre máquinas utilizando a internet, podendo ser acessado remotamente. A eficiência operacional é o benefício mais importante da IoT, e a manutenção preditiva é o foco dessa tecnologia;
- b) Nuvem de dados: Proporciona o armazenamento e compartilhamento de informações e ainda possibilita que cálculos computacionais sejam realizados de maneira interligada por diferentes computadores que estejam conectados na internet, as informações ficam armazenadas em “nuvem” e podem ser acessadas por qualquer dispositivo que tenha conexão com internet;
- c) Big Data e Data Analytics: Promove o controle de gerenciamento operacional, onde é feita a coleta de grandes volumes de informações geradas, são organizações e podem ser analisadas em tempo real. É útil na manutenção preditiva, um algoritmo avançado de aprendizagem de máquina analisa os dados coletados para fornecer alertas de anomalias em estágio inicial e falhas do sistema, afim de manter a qualidade desejada do produto.

Como já mencionado no item 2.5, a engenharia de manutenção tem como principais objetivos a coleta e análise de dados, a elaboração de planos de manutenção e inspeção de falhas críticas e assim aumentar a disponibilidade do equipamento bem como sua segurança.

Portanto a qualidade dos dados é de extrema importância para o funcionamento da engenharia de manutenção, dados imprecisos e desorganizados levarão à planejamentos de manutenção incorretos causando um efeito inverso em

relação aos objetivos buscado. Então faz-se necessário a utilização de tecnologias como as já citadas, para garantir a qualidade dos dados.

2.9. IMPORTÂNCIA DA TPM NA INDÚSTRIA 4.0

A entrada de uma empresa para o modelo de indústria 4.0 envolve a atualização significativa das suas competências e capacidades digitais e implica em transformações em várias partes da organização (SPINA, 2020).

A indústria 4.0 engloba uma série de tecnologias para automação e troca de dados, como por exemplo: Big Data e Analytics, sistemas cyber-físico (CPS), inteligência artificial (IA), internet das coisas (IoT), sensores inteligentes, sistemas de monitoramento remoto de produção entre outros (RAMALHO, 2021).

Segundo Ramalho (2021), isto irá requerer operadores mais qualificados, tanto para gestão quanto para operação dos equipamentos mais sofisticados. Portanto, existe a necessidade de qualificação do pessoal de operação e manutenção que deverão ter:

- a) visão técnica dos sistemas e processos;
- b) senso crítico para análise de dados dos equipamentos;
- c) conhecimento para interação com as máquinas;
- d) capacidade de solucionar pequenos problemas para evitar paradas na produção.

Alguns outros desafios são pertinentes na indústria 4.0 como:

- a) segurança das informações;
- b) disponibilidade de peças de reposição;
- c) comunicação e coleta de dados.

Com a ampliação do conceito de indústria 4.0 as empresas tem buscado metodologias que forneçam não só melhoria tecnológica, mas também seja capaz de oferecer maior eficiência nos processos, menor desperdício e consequentemente maior produtividade.

A política TPM auxilia a indústria 4.0 na obtenção de indicadores de qualidade, na prevenção de quebra de equipamentos aumentando assim o tempo entre as falhas e reduzindo o tempo de reparo ocasionando maior disponibilidade e confiabilidade desses equipamentos além de proporcionar maior interação entre operador e máquina.

Basicamente evita-se erros de manutenções corretivas demoradas, inesperadas e desorganizadas e ainda se previne erros na linha de montagem garantindo a qualidade do produto assim reduzindo o alto índice de produtos defeituosos.

Pode-se relacionar os objetivos da TPM e os objetivos da indústria 4.0 para entender a importância da implementação dessa política em uma organização da quarta revolução industrial. Alguns impactos da TPM na indústria 4.0:

a) Menos paradas não planejadas

Uma das premissas da TPM – pilar de Manutenção Autônoma, é o enfoque no engajamento dos funcionários, que recebem treinamentos de qualificação e são incentivados a tornarem-se responsáveis por suas máquinas, o que aumenta o tempo de atividade de produção. Nessa metodologia os operários realizam atividades básicas de limpeza, aperto de parafusos e lubrificação das máquinas.

A TPM determina uma rotina de manutenção que envolve todos os níveis da organização, desde os operadores de chão-de-fábrica até os gerentes e diretores da empresa, dessa forma a manutenção deixa de ser apenas uma atribuição de equipes especializadas. Sendo assim as equipes de manutenção podem focar suas atuações em cima de problemas mais específicos que requer mais conhecimento e experiência.

b) Controle de Qualidade

Com as máquinas avançadas da indústria 4.0, atingir a qualidade esperada dos seus produtos é a obrigação de toda indústria. Para ajudar nesse processo, o sexto pilar da ferramenta TPM - Manutenção da Qualidade, tem por finalidade impedir que produtos defeituosos sejam gerados.

Assegurar que a qualidade seja mantida de forma preventiva é responsabilidade desse pilar da ferramenta TPM. O pilar da manutenção de qualidade proporciona ações que buscam estabelecer e manter o equipamento em perfeito

estado e assim obter a qualidade dos produtos ali processados. A qualidade é construída durante o processo e não apenas durante o controle de resultados.

Aliado a esse conceito, a automação atende as exigências da TPM ao fornecer plataformas capazes de coletar, armazenar e disponibilizar indicadores de produção, como por exemplo, contabilização de itens dentro dos padrões e descartados, desvio padrão e média entre outros.

c) Segurança no Trabalho

Como abordado anteriormente no Item 2.6.6, a TPM tem como base a metodologia 5S, sendo assim também prega seus conceitos, que tem por finalidade manter a organização, padronização e limpeza das máquinas e do local de trabalho.

Com novas linhas automatizadas, é preciso manter os níveis de segurança da operação adequados a fim de diminuir as possibilidades de acidentes de trabalho. As exigências da norma NR12 também trazem desafios extras as indústrias, principalmente na adequação do maquinário antigo.

O foco na metodologia dos 5S resulta em máquinas mais limpas e ajustadas e menos propensas a apresentarem defeitos de funcionamento, como por exemplo, vazamentos de lubrificantes e peças soltas. Além disso, manter o local de trabalho limpo e organizado reduz os riscos de acidentes.

d) Maximização da Produtividade

Investir em equipamentos novos e mais tecnológicos é necessário para garantir a tecnologia na Indústria 4.0, porém o preço dessas máquinas é comumente mais elevado o que acaba refletindo no custo final do produto. Portanto, para a redução dos custos precisa-se aumentar o tempo de funcionamento programado e consequentemente aumentar a disponibilidade, em outras palavras, precisa-se atingir a máxima eficiência possível.

Dessa forma a TPM apresenta-se como uma excelente opção, pois tem como principal objetivo atingir a maximização do rendimento operacional global, objetivo esse que é medido através do índice de Eficiência Global dos Equipamentos (OEE). Como já abordado no Item 2.7, o OEE é calculado com base nas três principais causas de perda ou aumento de produtividade – disponibilidade, desempenho e qualidade.

Com aplicação dos recursos da automação industrial e a metodologia TPM na Indústria 4.0, o aproveitamento tende a aumentar e seus custos desnecessários com paradas, retrabalho e troca de equipamentos tendem a reduzir drasticamente.

Haroldo Ribeiro em seu eBook – TPM os 5 passos para uma implantação de sucesso, enfatiza os pilares com relação direta com a maximização da eficiência global, que é chamado por ele de “Pilares Técnicos” que são: Melhorias Focalizadas; Manutenção Autônoma; Manutenção Planejada; Manutenção da Qualidade e Gestão Antecipada, e os demais pilares (Item 2.6.6.1) são os “Pilares Complementares” que tem por objetivo apoiar os “Pilares Técnicos”, reforçando o comprometimento da metodologia TPM na busca pela maximização da produtividade. Por esses motivos dentre outros, a TPM tem um grande papel a seguir nas estratégias de desempenho financeiro, à medida que melhora a produtividade e consequentemente adquire maior competitividade.

3. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso divulgado pela Produttore, uma empresa especializada em consultorias e treinamentos com foco na gestão da produção. O estudo de caso foi realizado na Unidade Industrial da Cooperativa Central gaúcho Ltda – CCGL.

3.1. UNIDADE INDUSTRIAL DA COOPERATIVA CENTRAL GAÚCHO LTDA – CCGL

A empresa CCGL é uma das maiores cooperativas do país com mais de 171 mil produtores e por 31 cooperativas, está presente em mais de 350 municípios gaúchos possuindo apoio de unidades especializadas em tecnologia agropecuária, laticínios e logística.

O setor de laticínios é o maior parque industrial de leite em pó do Brasil, produzindo mais de 3,4 milhões de litros por dia com um percentual aproximado de 15% da produção de leite de todo o Brasil.

A empresa tem como missão: “Ser uma organização para integrar as atividades do agronegócio com sustentabilidade, escala e rentabilidade, gerando diferenciais competitivos às cooperativas e seus produtores.”

E como visão: “Ser a melhor cooperativa central do agronegócio da América Latina, com rentabilidade, gerando desenvolvimento econômico e social na região de sua atuação.

O parque industrial da cooperativa (Figura 6) fica localizada na cidade de Cruz Alta no Rio Grande do Sul, e possui habilitação para exportação pelo Ministério da Agricultura e pelos principais fabricantes de alimentos do país.

Figura 6 – Parque industrial da CCGL em Cruz Alta - RS



Fonte: Google Imagens

3.1.1. TPM

A decisão para a implementação da TPM começou em agosto de 2018 com a automação das linhas de envase com cinco robôs realizando a paletização. O processo era realizado antes de forma manual e passou a ser automatizado, porém essa mudança do trabalho ocasionou em novo problema: a parada da máquina resultava na parada total da linha final de envase.

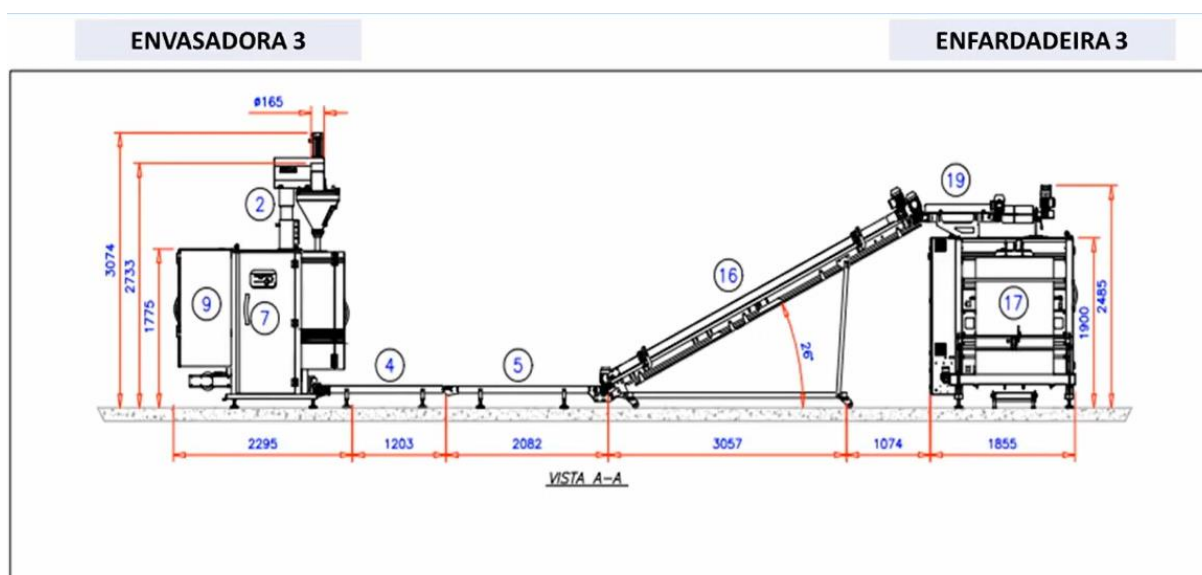
Para contornar esse problema, decidiu-se utilizar os operadores que já contavam no quadro de funcionários da empresa, descartando assim a terceirização da mão-de-obra qualificada. Contudo era necessário a capacitação técnica dos funcionários para que fossem capazes de identificar e solucionar problemas da nova linha de automação. A solução encontrada foi a implementação da TPM, no processo de diagnóstico, sendo observado a oportunidade de diversas melhorias como:

- a) Aprimorar a estrutura organizacional da Unidade Industrial;
- b) Aumentar a competitividade;
- c) Melhorar o conhecimento sobre os equipamentos;
- d) Sair de fato da manutenção corretiva;

- e) Aumentar a capacitação técnica na gestão da produção;
- f) Desenvolver a gestão de processos;
- g) Melhorar o ambiente de trabalho.

Para o início da implantação da TPM foi escolhido uma máquina piloto (Figura 7) que é composta por uma linha de envaso que é responsável pelo preenchimento com as quantidades necessárias de leite em pó, e a linha de enfardo que é responsável pelo processo de embalagem do leite. A figura 7 ilustra a máquina piloto em corte A-A, usada para iniciar o processo de implantação da TPM.

Figura 7 - Máquina piloto para implantação da TPM



Fonte: Produttare (2020)

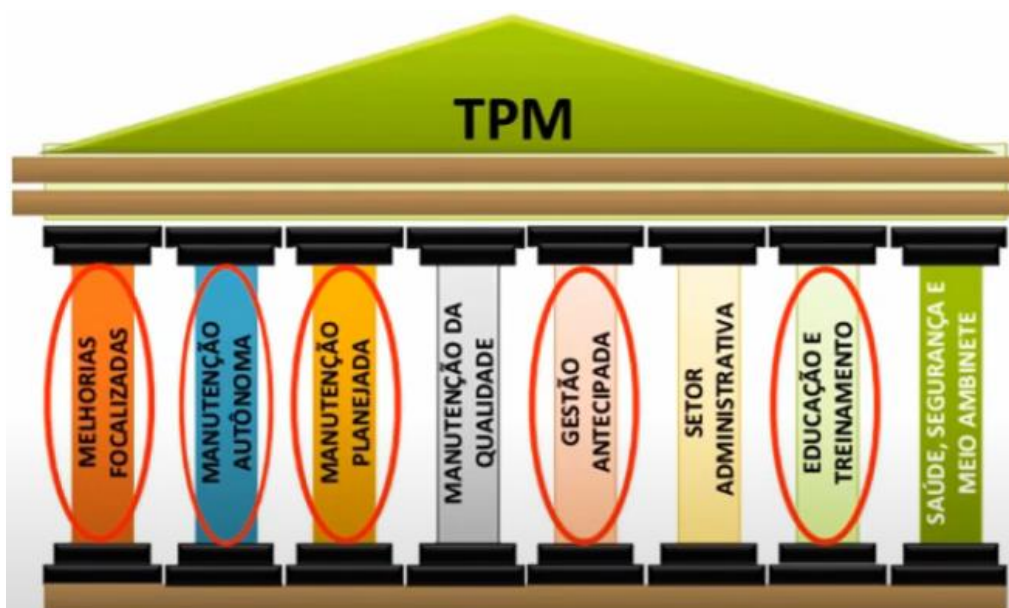
Segundo Rogério Perchim, Gerente Industrial da Planta de Lácteos Da CCGL, a alta direção participou de todo o projeto não deixando apenas como responsabilidade da empresa terceirizada responsável por aplicar a metodologia, por já entender que a TPM trata da melhoria estrutural da empresa e envolve a participação de todos.

A Figura 8 apresenta o fluxo para a implementação da TPM definido pela alta direção.

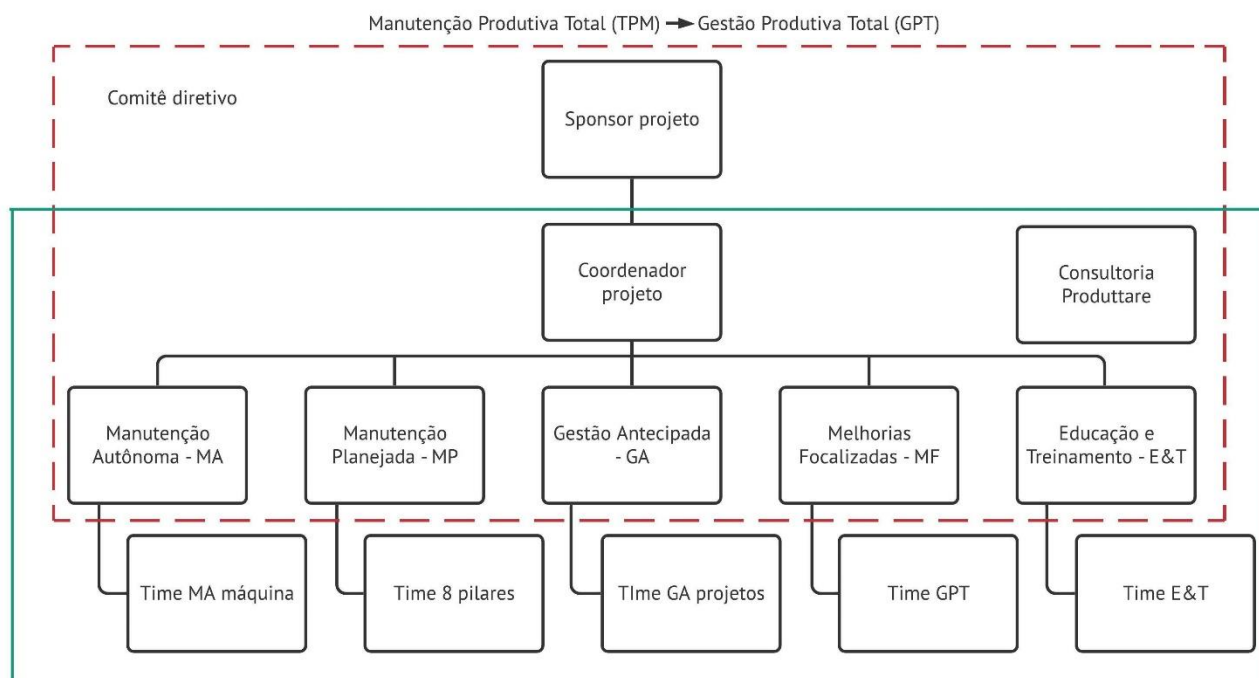
Figura 8 - Roteiro de implementação da TPM

Fonte: Prodttare (2020)

Foram definidos os pilares a serem implementados inicialmente, conforme a Figura 9, e a estrutura organizacional responsável contendo um coordenador geral e um coordenado para cada pilar e suas respectivas equipes conforme a Figura 10.

Figura 9 - Pilares escolhidos para implementação

Fonte: Prodttare (2020)

Figura 10 - Estrutura responsável pela implementação da TPM

Fonte: Produttore (2020)

Observa-se na Figura 9 que a linha vermelha tracejada se refere ao envolvimento conjunto de todas as áreas da empresa resultando em uma abordagem mais ampla da metodologia por parte dos coordenadores do projeto. A mudança de cultura da empresa é tão grande que passaram a tratar Manutenção Produtiva Total (TPM) como Gestão Produtiva Total (GPT), abandonando o termo manutenção para tratar toda a mudança como uma gestão de recursos.

3.1.2. Ganhos

Os ganhos obtidos pela empresa podem ser observados de maneira individual por cada pilar da TPM. Foram feitos gráficos com valores que variam de zero a cinco, que demonstram a evolução da empresa após a implementação da metodologia, quanto mais perto de 5 (cinco) melhor e consequentemente quanto mais perto de 0 (zero) pior o desempenho.

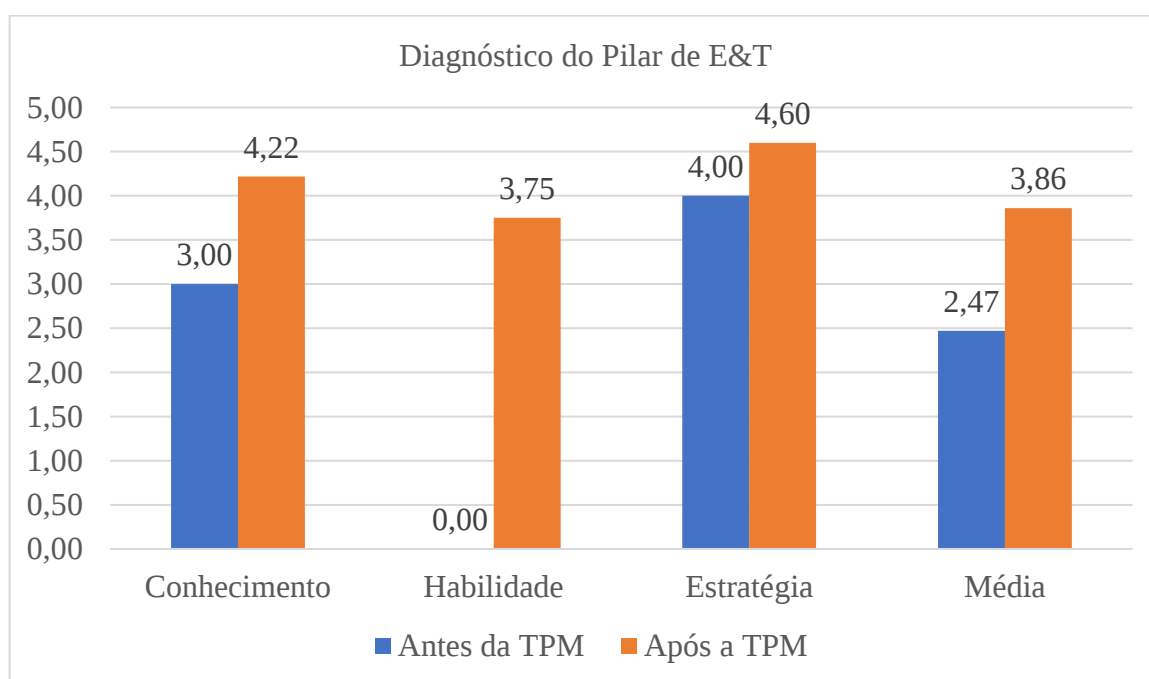
a) Educação e Treinamento (E&T)

O trabalho na capacitação dos colaboradores envolveu todos os níveis da empresa, desde gerentes e diretores até os funcionários de chão-de-fábrica, foram realizados mais de 5400 horas de treinamentos. Um fator muito importante foi a adição da ideia de os operadores fazerem uma LUP – Lição de um Ponto, sempre que for observado um defeito ou uma falha no equipamento o operador registra um ponto identificando as características do problema.

Pode-se observar uma evolução da equipe saindo de 2,47 pontos em média, conforme a Figura 11, para uma média de 3,86, uma melhora de mais de 56%. Ainda é possível salientar que os ganhos expressivos de 71% em conhecimento e do avanço considerável no fator habilidade pessoal, atingindo 3,75 pontos contrastando com a marca anterior que era de zero pontos.

As melhorias obtidas pela Educação e Treinamento proporcionaram maior capacidade técnica das equipes, sobretudo com forte ganho no fator habilidade do profissional, garantindo que a empresa atingisse seu principal objetivo com a implantação da TPM, que era qualificar seus colaboradores.

Figura 11 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de E&T



Fonte: Adaptado de Produttore (2020)

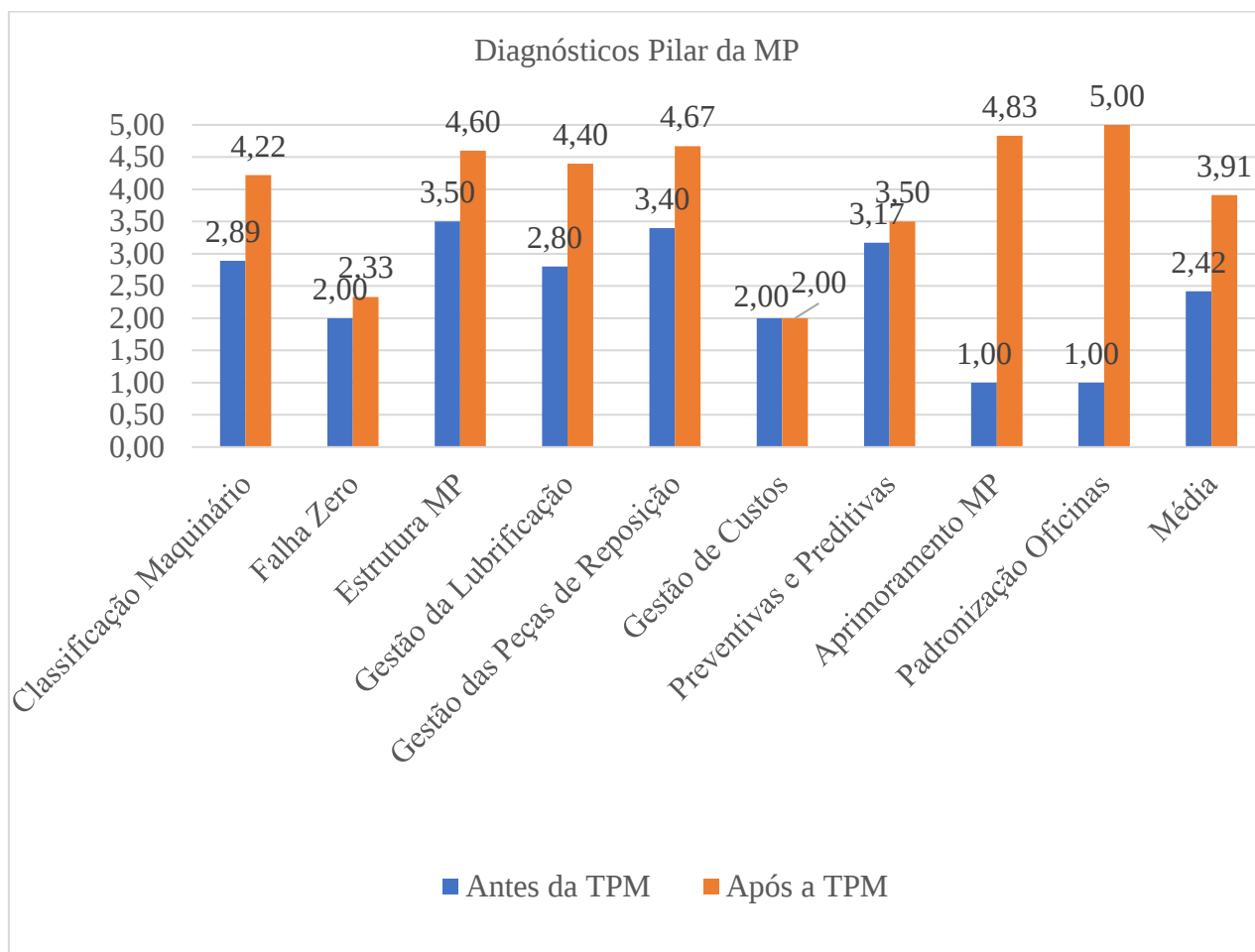
b) Manutenção Planejada (MP)

O pilar da Manutenção Planejada foi fortemente utilizado para obtenção da “falha zero” e “desperdício zero”, ocasionando um forte impacto no setor de reposição de peças, na gestão de lubrificação e principalmente na gestão de custos.

Outro fator primordial foi a padronização das oficinas, sendo implantado um desafio de 15 segundos, que consiste em o operador abrir a bancada de ferramentas e encontrar o que procura em no máximo 15 segundos. Antes da TPM, a empresa apresentou uma média de 2,42 pontos no gráfico e após a TPM esse índice aumentou quase 62% subindo para 3,91 pontos em média, conforma a Figura 12.

O ponto “Classificação de Maquinário” ajudou a identificar e catalogar todos os equipamentos com a informações ficando disponível para todos os setores da empresa, o ponto “Falha Zero” contribuiu para eliminar as grandes perdas identificadas pela TPM com técnicas de análise de quebras e análise de falhas ajudando a garantir maior disponibilidade dos equipamentos, a “Estrutura de MP” foi trabalhado contribuindo para adequação da TPM em toda a empresa.

Uma análise mais profunda do gráfico mostra que a maior parte das melhorias obtidas com a Manutenção Planejada foi na gestão de peças de reposição fator importante para a manutenção preventiva, aprimoramentos da manutenção planejada, na padronização das oficinas e na gestão de lubrificação dos equipamentos, o que acarreta em maior confiabilidade das máquinas, menor tempo para conserto em caso de falha e principalmente na manutenção do equipamento em operação aumentando a disponibilidade.

Figura 12 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de MP

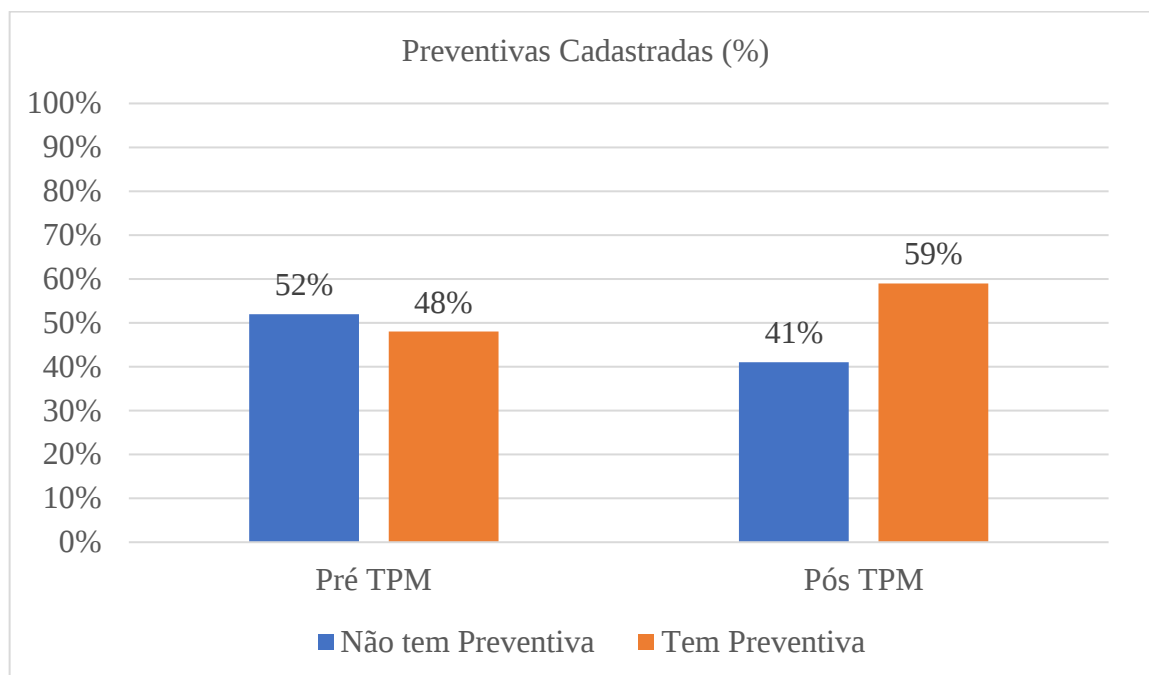
Fonte: Adaptado de Prodttare (2020)

Um desejo da empresa era diminuir as manutenções corretivas e aumentar as manutenções preventivas em seus equipamentos. Observando a Tabela 2, nota-se o aumento na quantidade de equipamentos cadastrados para realização de manutenções preventivas. Com o pilar de Manutenção Planejada foi possível ter um aumento das ações preventivas no maquinário em detrimento a outros tipos de manutenções como demonstrado na Figura 13.

Tabela 2 - Equipamentos cadastrados na prática de Manutenção Preventiva

Total de Equipamentos cadastrados	
Pré-TPM	2927
Pós-TPM	3620

Fonte: Prodttare (2020)

Figura 13 – Gráfico de Manutenções Preventivas cadastradas

Fonte: Produttore (2020)

No período Pré-TPM representado graficamente na Figura 13, observa-se que a maior parte dos equipamentos cadastrados não contavam com a manutenção preventiva, sendo a maior parte práticas de manutenção corretiva, já que a empresa não trabalhava com outro método de manutenção, fato que pode explicar o grande número de paradas nas novas linhas de envase automatizadas, tendo em vista que a manutenção corretiva é quase sempre de caráter emergencial e sempre que ocorrem a linha de produção precisa ser paralisada.

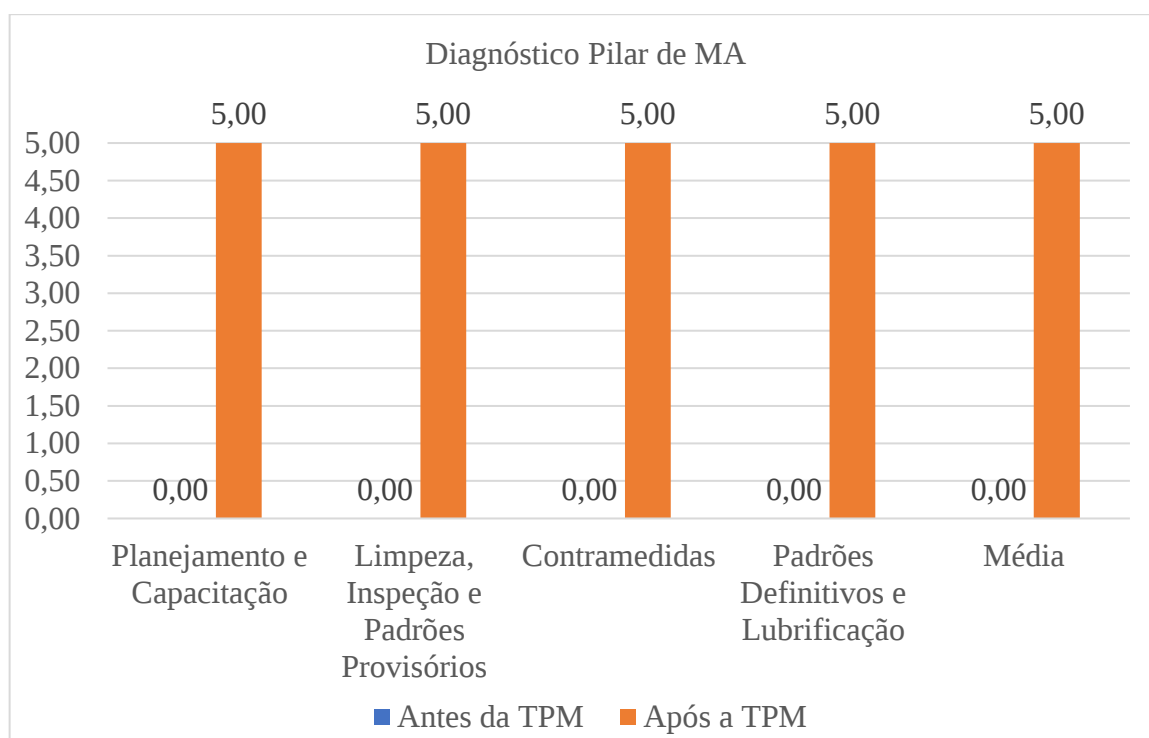
No período Pós-TPM verifica-se que houve uma redução nas manutenções corretivas que passaram de 52% para 41%, ao mesmo passo que as manutenções preventivas aumentaram, atingindo o objetivo da empresa com a TPM nesse setor. Vale ressaltar que a manutenção preventiva bem aplicada gera um aumento da produtividade, confiabilidade e disponibilidade do equipamento quando comparada à manutenção corretiva.

c) Manutenção Autônoma (MA)

A empresa não possuía atividades relacionadas ao pilar de Manutenção Autônoma antes da TPM como pode ser observado na Figura 14 pelos valores de zero representando a ausência desse pilar.

Antes da TPM era realizado apenas intervenções convencionais das equipes de manutenção, realidade que mudou após a adoção do pilar de Manutenção Autônoma, pois os operadores passaram a realizar pequenas atividades de manutenção nos equipamentos como limpeza e lubrificação passaram a identificar defeitos e falhas e agir com as contramedidas necessárias, utilizando os conhecimentos e habilidade adquiridos com o pilar de Educação e Treinamento. Por esse motivo esse foi o setor que mais evoluiu na empresa, chegando ao nível máximo de pontuação em todos os pontos analisados pelo diagnóstico.

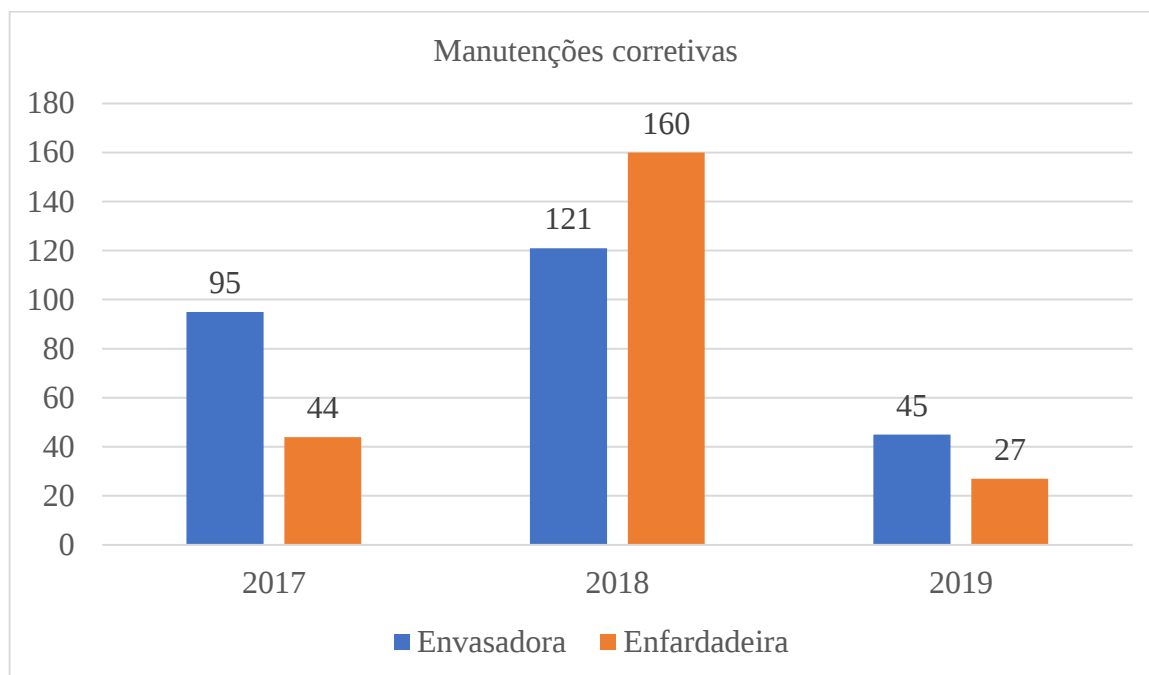
Figura 14 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de MA



Fonte: Adaptado de Produttore (2020)

Uma rotina de reuniões foi estabelecida para o debate e ajustes de pontos específicos, foi determinado uma reunião semanal onde é debatido assuntos de todos os pilares e uma reunião diária com o time e os operadores de manutenção autônoma.

Essa mudança cultural pode ser observada na Figura 15, onde é demonstrado a queda nas manutenções corretivas nas linhas de envase e enfardo.

Figura 15 - Manutenções corretivas nas linhas de envaso e enfardo.

Fonte: Produttare (2020)

A redução nas manutenções corretivas ao longo dos anos apresentadas graficamente na Figura 15, corroboram com os ganhos de limpeza, inspeção, planejamento, padrões definitivos e lubrificação apresentados na Figura 14, tendo em vista que a TPM passou a ser implantada na empresa por volta de agosto de 2018 explicando a melhoria obtida no ano de 2019.

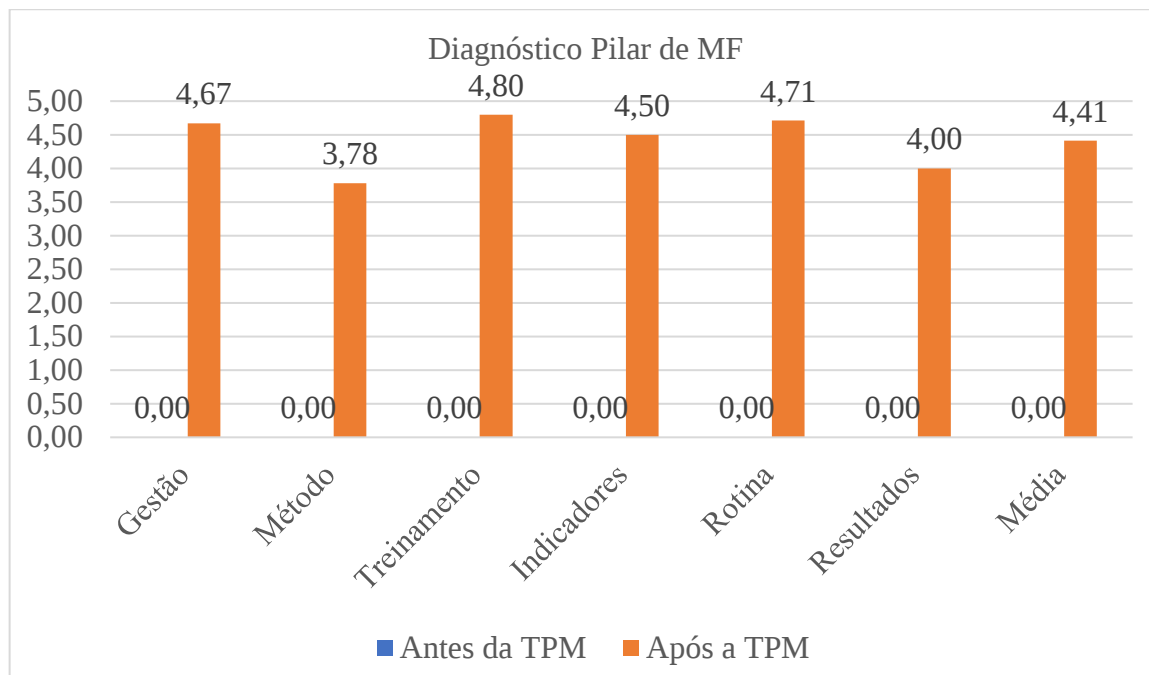
d) Melhorias Focalizadas (MF)

A Melhoria Focalizada não existia na empresa antes da TPM, conforme a Figura 16, e em apenas um ano de trabalho conseguiram resultados próximos ao 100%. Os outros pilares foram de extrema importância para o entendimento dos funcionários sobre as ações focalizadas.

Dos pontos analisados tem-se que a “Gestão” contribuiu para a formação das equipes de manutenção e para o planejamento das intervenções usando valores de referência para estabelecer objetivos, o “Método” contribuiu para descobrir e eliminar anormalidades nos equipamentos estabelecendo suas condições básicas, o “Treinamento” garante que o operador seja capaz de realizar todas as tarefas exigidas

pela função esse ponto é bastante trabalhado no pilar de Educação e Treinamento, os pontos de “Rotina” e “Resultado” colaboram para a realização do plano de melhorias e para a avaliação dos resultados obtidos.

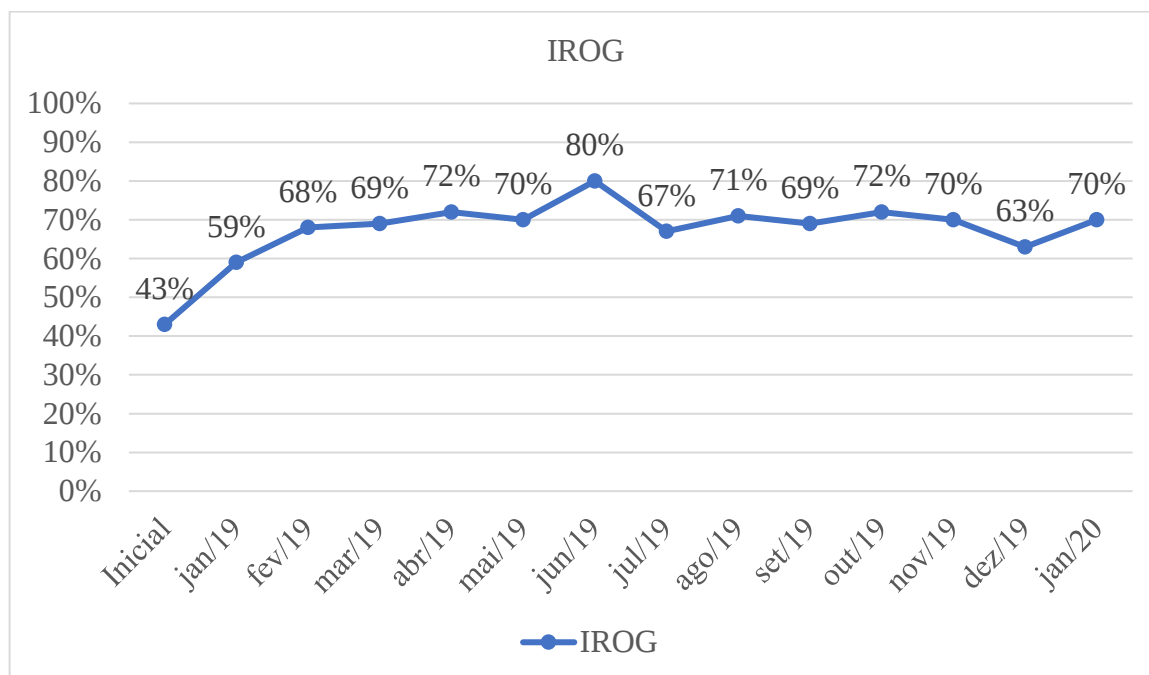
Figura 16 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de MF



Fonte: Adaptado de Produttore (2020)

Todas essas ações em conjunto contribuem para a eliminação das seis grandes perdas e desperdícios, já abordados no Item 2.6.4, garantindo maior disponibilidade dos equipamentos e performance operacional, assim melhorando o índice de rendimento global da empresa.

O pilar de Melhoria Focalizada teve grande impacto nos resultados, principalmente para a obtenção de disponibilidade, qualidade e performance da máquina e dos produtos. O IROG (Índice de Rendimento Operacional Global) que é baseado no OEE, aumentou muito após a implementação da TPM. Como pode ser observado na Figura 17, o IROG que era de 43% chegou a atingir 80%. Apesar das variações ao longo dos meses, manteve-se um ritmo constante com média de 70%, e vale ressaltar que a melhoria focalizada trabalha para identificar e resolver os causadores dessas variações.

Figura 17 - IROG da linha piloto

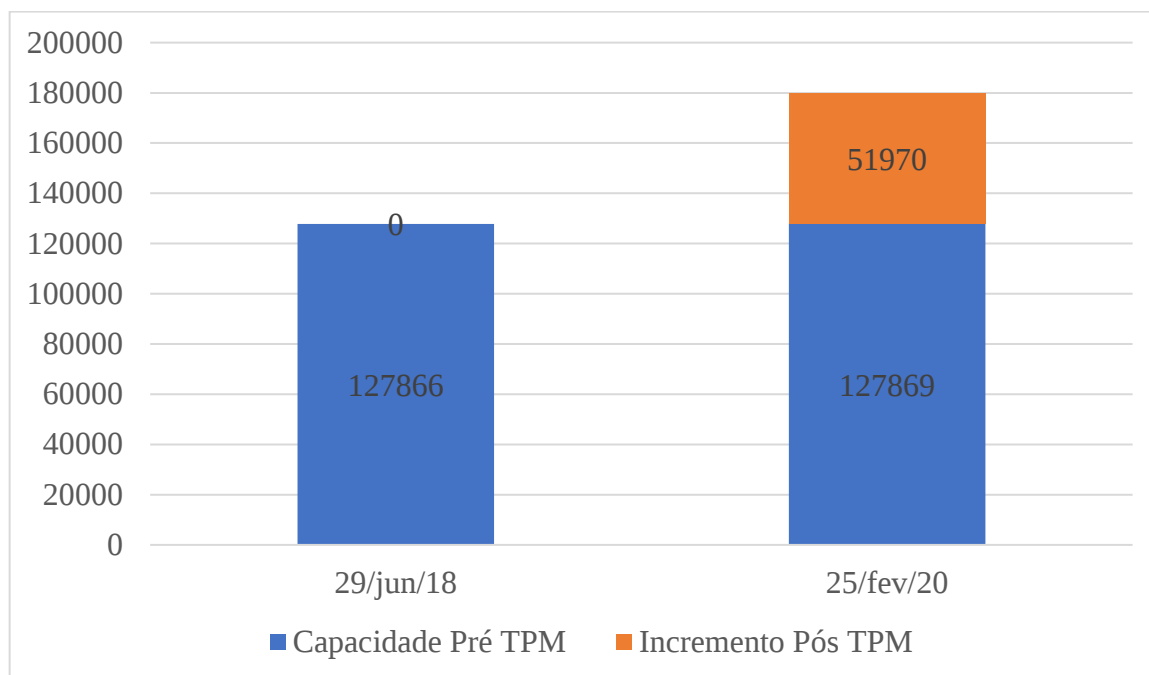
Fonte: Produttore (2020)

A melhoria do IROG refletiu positivamente na capacidade de produção da empresa como pode ser visto na Figura 18. A Tabela 3 demonstra a diferença de produção de uma máquina antes e depois da implantação da gestão TPM na organização.

Tabela 3 - Impacto da TPM na performance das máquinas

Capacidade de produção das máquinas	
Antes da TPM	16.030 Kg/dia
Após a TPM	23.373 Kg/dia

Fonte: Adaptado de Produttore (2020)

Figura 18 - Produção diária de 8 máquinas de envase fracionado

Fonte: Adaptado de Produttare (2020)

A empresa tinha uma programação de produção de 100.000 Kg/dia de leite em pó, em dezembro de 2018 a produção era realizada em 8 linhas de envase e após a implementação da TPM, em abril de 2019, a mesma meta de produção era alcançada com apenas 5 linhas de envase dando a possibilidade de desativar 3 linhas dessas linhas e continuar com a produção programada.

Portanto, o aumento da capacidade produtiva gerou uma redução de custos e uma maior disponibilidade de equipamentos e uma redução nas atividades de manutenção já que o número de máquinas em operação foi reduzido.

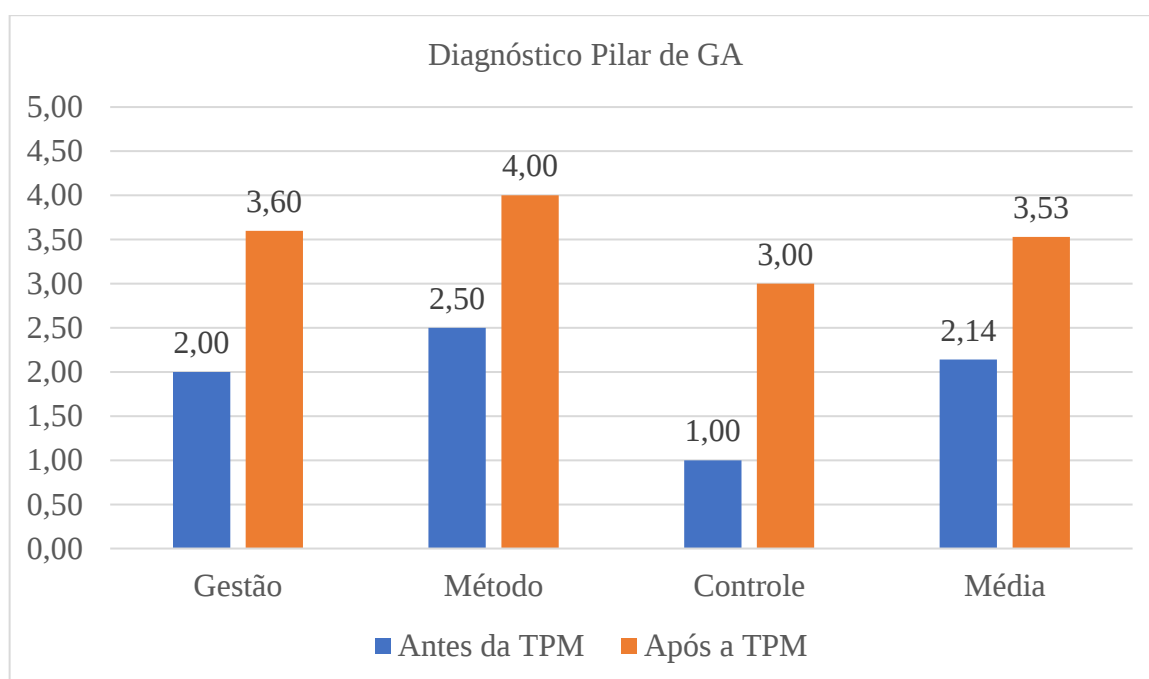
e) Gestão Antecipada (GA)

É um pilar importante para a organização pois utiliza o conhecimento adquirido dentro da empresa com a ajuda dos outros pilares, e transforma em parâmetros para a área da engenharia que influenciam na adequação de projetos facilitando o dia-a-dia das equipes de manutenção contribuindo para o aumento da disponibilidade e performance das máquinas.

A Figura 19 apresenta uma pontuação média de 2,14 do setor de GA da empresa antes da TPM e demonstra a evolução de 65% após a TPM ser implantada na empresa alcançando uma média de 3,53 pontos. Observa-se no gráfico que todos os pontos analisados no diagnóstico tiveram melhorias nos seus índices de pontuação, principalmente o “Controle”, fator que contribuiu para a aplicação dos conhecimentos adquiridos novos projetos.

É um pilar importante para a organização pois utiliza o conhecimento adquirido dentro da empresa com a ajuda dos outros pilares, e transforma em parâmetros para a área da engenharia que influenciam na adequação de projetos facilitando o dia-a-dia das equipes de manutenção contribuindo para o aumento da disponibilidade e performance das máquinas.

Figura 19 - Gráfico de diagnóstico do Pilar de GA



Fonte: Adaptado de Produttore (2020)

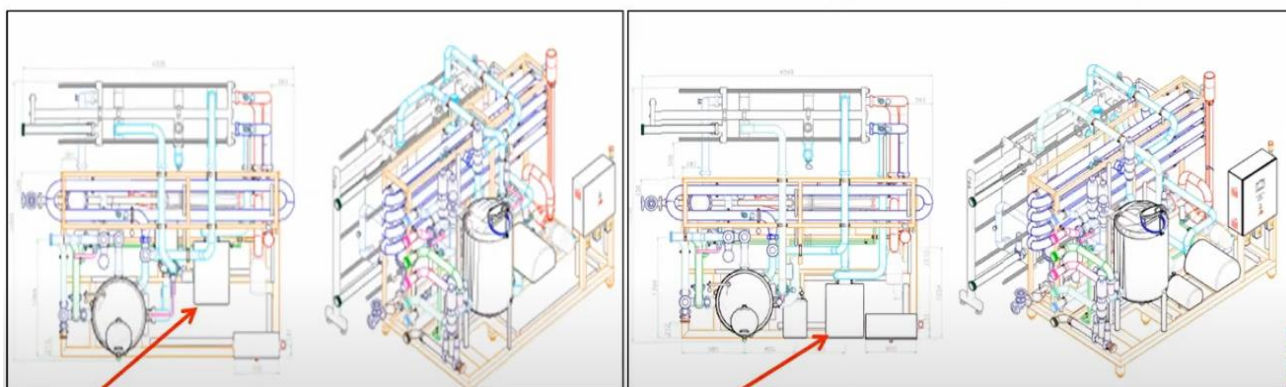
O pilar de Gestão Antecipada levou um retorno financeiro expressivo para a empresa pois utilizou todas as experiências e conhecimentos já adquiridos para a formulação de projetos personalizados de acordo com as necessidades da organização, esse retorno financeiro veio principalmente das reduções e melhorias das atividades de manutenção e das reduções do tempo de parada dos equipamentos.

Um reflexo da gestão antecipada dentro da empresa pode ser observado na Figura 20, onde foi alterado em planta a posição das bombas centrífugas do circuito de água quente do pasteurizador com o objetivo de facilitar a manutenção do equipamento. A seta vermelha indica a posição da bomba.

Figura 20 - Alteração da bomba centrífuga do pasteurizador

Antes GA

Depois Avaliação Time GA

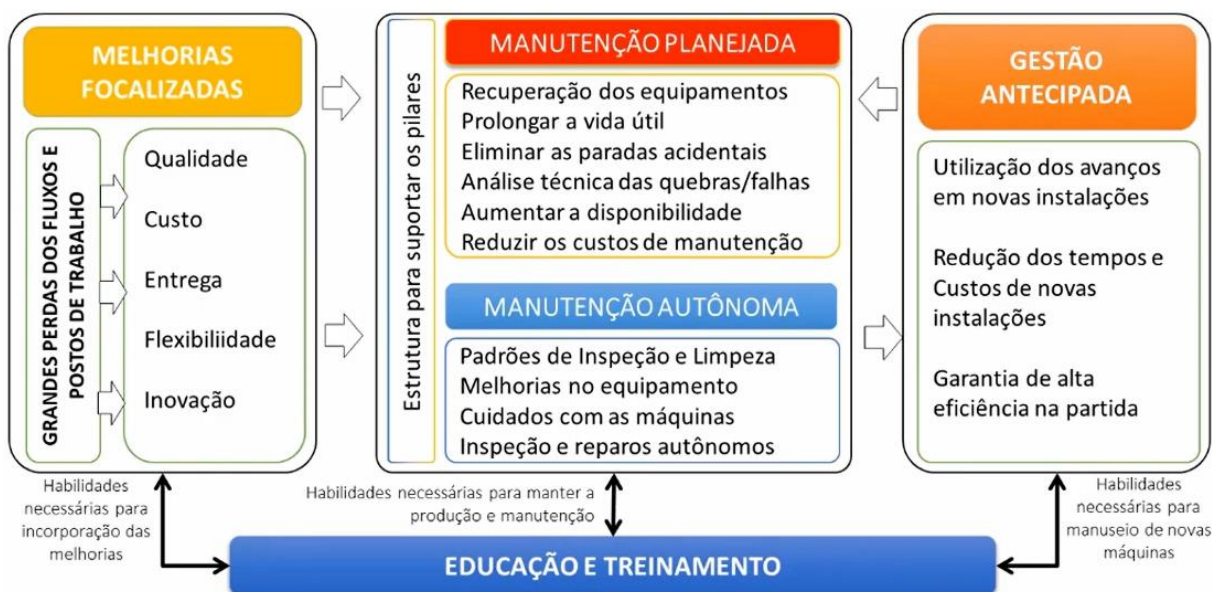


Fonte: Produttore (2020)

Com todo o trabalho feito de mudança de mentalidade dos colaboradores e mudança cultural da empresa conseguiu-se obter resultados melhores em 2019 quando comparado a datas anteriores à implantação da TPM, reforçando a importância da metodologia para a melhoria dos resultados da empresa.

A Figura 21 ilustra de forma bem didática como os pilares da TPM são utilizados e quais as melhorias que cada um é responsável dentro da empresa.

Figura 21 - Pilares da TPM dentro da CCGL

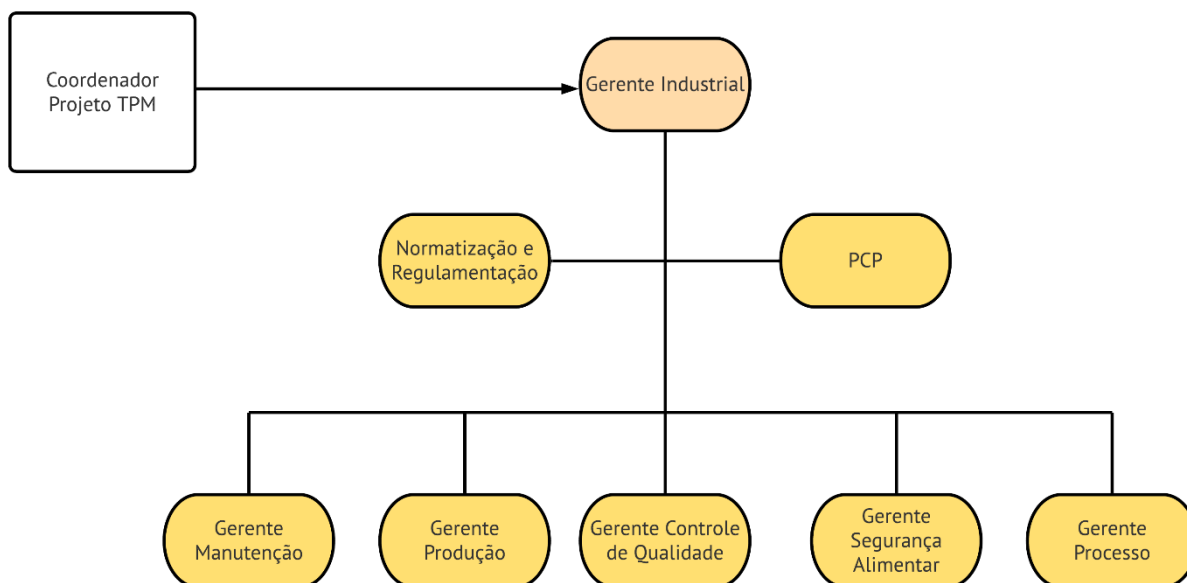


Fonte: Prodttare (2020)

Observa-se na Figura 25 uma sinergia muito forte entre os pilares, tem-se o pilar de Educação e Treinamento como base de toda a estrutura contribuindo para o desenvolvimento e aprendizado dos colaboradores, tem-se o setor de Melhoria Focalizada mandando informações de qualidade, custos, melhorias, para os setores de Manutenção Planejada e Manutenção Autônoma que também troca informações com o setor de Gestão Antecipada, tudo está interligado.

Outra mudança foi a otimização da estrutura organizacional que iniciou o projeto de implantação da TPM, ilustrada na Figura 26, vale ressaltar que tal mudança só aconteceu por conta dos conhecimentos adquiridos pela metodologia.

Quando comparada com a estrutura inicial apresenta na Figura 9, percebe-se uma otimização na gestão das equipes, o coordenador inicial do projeto passou a ser o gerente industrial da planta e os coordenadores dos pilares passaram a ser gerentes das áreas de produção, qualidade, processos, produção e segurança alimentar.

Figura 22 - Nova estrutura organizacional da empresa

Fonte: Adaptado de Produttare (2020)

De forma resumida os resultados obtidos pela empresa foram:

- a) Aumento da capacidade técnica da equipe;
- b) Reorganização da estrutura organizacional;
- c) Melhoria na performance da unidade industrial;
- d) Melhoria na comunicação entre os setores;
- e) Redução nas paradas;
- f) Redução de custos;
- g) Aumento na produtividade.

Com todos os dados apresentados até aqui, percebe-se que a TPM se trata de uma política de manutenção causando uma grande mudança cultural dentro da empresa, acarretando na otimização da gestão para melhoria dos processos.

Os ganhos obtidos vão além de melhorias na manutenção se estendendo para o conhecimento e desenvolvimento pessoal e organizacional dos colaboradores impactando diretamente na performance da unidade industrial, fica claro que o aumento da disponibilidade dos equipamentos, redução nas paradas e no custo e aumento da produtividade foram consequências de todo o conhecimento e disciplina adquiridos com a implantação da TPM.

4. CONCLUSÃO

Ao final podemos concluir que a Manutenção Produtiva Total (TPM) é uma forma de gestão capaz de proporcionar sucesso às empresas que implantarem esse sistema. Implantada e utilizada da forma correta, oportuniza a melhoria contínua da organização contribuindo para o alcance da máxima eficiência dos resultados.

Foi apresentado o estudo de caso de implantação da gestão TPM na cooperativa CCGL, onde a empresa objetivava a redução das paradas das novas linhas de envase automatizadas e também outros objetivos específicos com a adoção desse sistema de manutenção.

No decorrer do trabalho nota-se que com a aplicação do pilar de Educação e Treinamento foi possível melhorar a capacitação técnica dos seus colaboradores, com o pilar de Manutenção Planejada conseguiu-se aumentar as preventivas cadastradas e melhorar a padronização das oficinas, o pilar de Manutenção Autônoma possibilitou a redução das manutenções corretivas, com o pilar de Melhorias Específicas conseguiu-se aumentar a produtividade das máquinas e melhorar o IROG da empresa, e a gestão Antecipada possibilitou a aplicação de conhecimentos adquiridos para a melhoria de projetos futuros.

Sendo assim, é possível concluir que a gestão TPM promove melhorias nos resultados globais da organização como: aumento da disponibilidade do equipamento, melhoria da Eficiência Global do Equipamento (OEE), redução do tempo de parada das atividades de manutenção, aumento da produtividade e redução de paradas não planejadas para manutenções corretivas e capacitação técnica e comportamental dos colaboradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BERLINELLI, M. et al. A Manutenção produtiva Total (TPM) como ferramenta para aumento de disponibilidade da máquina: estudo de caso em uma indústria do ramo Siderúrgico. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XVI., 2009, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: UTFPR, 2009. Tema: Engenharia de Produção: Desafios, Tendências e Perspectivas, p. 1-12.

BRASIL. Separata nº 2 ao BE 27/02, de 5 de Julho de 2002. Normas Relativas à Manutenção (NARMNT). Boletim do Exército, Brasília, DF, 5 jul. 2002.

CIBILO, Giselia Brito de Menezes; TEXEIRA, Renata; SOUSA, Paulo Renato de; RIBEIRO NETO, Albino. Indústria 4.0. Rio de Janeiro: Senai, 2016. 18 p. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes>. Acesso em: 15 out. 2021.

COUTINHO, Thiago. Quais são os 8 pilares da TPM (Manutenção Produtiva Total)? **Voitto**, 30 jan. 2019. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/8-pilares-tpm>. Acessado em: 22 de setembro de 2021.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: Função Estratégica. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MONCHY, F. **A Função Manutenção**: Formação a Gerência da Manutenção Industrial: tradução de Jacqueline C. Karsaklian. São Paulo: Editora DURBAN Ltda, 1989.

MORAIS. P.H.A. **Manutenção Produtiva Total**: Um estudo de caso de uma empresa automobilística. Orientador: Dr. José Glenio Medeiros de Barros. 2004. 90f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Gestão e Desenvolvimento Regional, Departamento de Economia, Contabilidade e Administração - ECA, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2019. Disponível em: <http://migre.me/4FEPO>. Acesso em 15 de setembro de 2021.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 3ª ed. Lutterworth: Aladon, 2000.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM** – Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989.

PALMEIRA, J. N.; TENÖRIO, F. G. **Flexibilização organizacional**: aplicação de um modelo de produtividade total. Rio de Janeiro: FGV Eletronorte, 2002.

PEREIRA, J.M. **Engenharia de manutenção**: teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna, 2011.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção**: Função Estratégica. 2. ed. Rio De Janeiro: QUALITY MARK, 2001. p. 440.

PRODUTTARE (Porto Alegre) (org.). **Caso de Implantação do Total Productive Management (TPM) na CCGL**. 2020. Disponível em: <https://www.produttare.com.br/blog/caso-de-implantacao-do-total-productive-management--tpm--na-ccgl>. Acesso em: 02 set. 2021.

RAMALHO, Jairo. A indústria 4.0 e os Sistemas de Manutenção Indústria. **Business To Improvement**, 13 de maio, 2021. Disponível em: <<https://b2i.network/a-industria-4-0-e-os-sistemas-de-manutencao-industrial/>>. Acessado em: 19 de setembro de 2021.

SACOMANO, José Benedito, *et al.* **Indústria 4.0**: conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: EDIPRO, 2016.

SPINA, Felipe. Indústria 4.0: o que é e quais são seus desafios e oportunidades. **DISTRITO**, 18 out. 2020. Disponível em: <https://distrito.me/industrycafe/>. Acessado em: 20 de setembro de 2021.

TELES, Jhonata. Indústria 4.0 – Tudo que você precisa saber sobre a Quarta Revolução Industrial. **Engeteles**, 2018. Disponível em: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>. Acessado em 15 de setembro de 2021.

VENTURELLI, Márcio. Indústria 4.0: uma visão da automação industrial. Automação Industrial, **Automação Industrial**, 02 jun. 2021. Disponível

em: <https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Preventiva**: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.