

Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM

Bruno Guerra Almeida e Elton Fabro

Resumo

Atualmente as empresas tem como medidor de eficiência global o OEE. Dentre vários fatores que influenciam neste indicador este trabalho evidenciará a importância da área de engenharia de manutenção dentro de um processo fabril. A disponibilidade de máquina tem de ser otimizada e precisa atingir níveis de excelência, para manter a empresa sustentável dentro de um mercado cada vez mais competitivo. Baseado nisto os setores de manutenção buscam ferramentas e metodologias para auxiliar neste processo. A metodologia TPM é uma das principais ferramentas comprovadamente eficazes na busca pela melhora de disponibilidade e confiabilidade de equipamento. A análise de falha é um dos pilares presentes na metodologia TPM, onde se tem como objetivo a solução definitiva para que a falha não volte a acontecer. O correto apontamento das falhas pelo equipamento é muito importante para uma análise correta. Neste ponto a indústria 4.0 disponibiliza uma ferramenta muito útil e eficaz, aumentando a confiabilidade dos dados analisados.

Palavras-chave

OEE, engenharia de manutenção, disponibilidade, TPM, análise de falhas, indústria 4.0

Industry 4.0 as a tool in maintenance engineering based on TPM methodology

Abstract

Currently the companies have as global efficiency meter OEE. Among several factors that influence this indicator, this work will highlight the importance of the maintenance engineering area within a manufacturing process. Machine availability has to be optimized and needs to reach levels of excellence, to keep the company sustainable within an increasingly competitive market. Based on this the maintenance sectors seek tools and methodologies to assist in this process. The TPM methodology is one of the main tools proven effective in the search for the improvement of equipment availability and reliability. Failure analysis is one of the pillars of the TPM methodology, where the ultimate solution is to avoid failure. Correct pointing of failures by the equipment is very important for a correct analysis. At this point the industry 4.0 provides a very useful and effective tool, increasing the reliability of the analyzed data.

Key-words

OEE, maintenance engineering, availability, TPM, fault analysis, industry 4.0

I. INTRODUÇÃO

Manter e aumentar o lucro de uma empresa é uma premissa para que ela fique sempre sustentável e competitiva. Existem basicamente três caminhos para atingir este objetivo: aumentar a receita, reduzir os custos ou aumentar as receitas e diminuir os custos [1]. Sem dúvida a terceira opção se torna a preferida entre as grandes empresas. Para aumentar a produção geralmente há modernização de processos ou aquisição de novos equipamentos. Entretanto, neste caso tem como objetivo concomitante a redução de custos. Baseado nisto o foco é direcionado nas perdas do processo. Essas perdas são medidas em forma de um indicador chamado OEE (*Overall Effectiveness Equipment*).

O OEE é resultado da multiplicação de outros três indicadores que são: μ_1 (disponibilidade), μ_2 (performance) e μ_3 (qualidade) [2].

O presente trabalho se baseia na metodologia TPM (Total Production Maintenance) que tem como objetivo maximizar o indicador de eficiência global. Com foco no pilar MP (manutenção planejada) que visa o aumento de disponibilidade, ou seja, deixar o equipamento o maior tempo disponível para produzir.

Abordando somente as falhas de manutenção que fazem o equipamento ficar indisponível. Apresentando uma conexão da indústria 4.0 com a engenharia de manutenção, baseada na confiabilidade dos dados de parada de máquina. Sendo assim, aumentando a eficácia das ações e eliminando a causa raiz do problema.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Eficiência global

A base para análise de eficiência é o tempo calendário, que corresponde ao maior tempo disponível para a produção [2]. Este tempo se reduz devido as diversas e diferentes perdas em um processo até atingir o chamado tempo de agregação de valor. Cada redução de tempo é relacionada com um dos três indicadores de eficiência que compõem o indicador global.

Uma característica distinta deste indicador em relação aos demais dentro da indústria, é que ele envolve todas as áreas que são ligadas diretas ou indiretamente ao processo produtivo [2]. Sendo assim todos os setores tem sua parcela de contribuição para a gestão da eficiência da fábrica.

A fórmula (1) mostra que o OEE é resultado da multiplicação de três outros índices [3].

$$\mu_{global} = \mu_1 \times \mu_2 \times \mu_3 \quad (1)$$

1) Índice de disponibilidade (μ_1)

Corresponde ao tempo o qual o equipamento ou posto de trabalho ficou disponível para a produção, menos o tempo o tempo em que ele ficou parado [2]. Se o equipamento ou posto de trabalho for restritivo considera-se a hora

calendário, caso contrário é utilizado o tempo programado. Sendo (2) a fórmula mais utilizada para este fim.

$$\mu_1 = \frac{\text{Tempo disponível} - \sum \text{Tempo de paradas}}{\text{Tempo disponível}} \quad (2)$$

Quanto maior for o número de paradas, menor será o índice de disponibilidade. Estas paradas podem ser oriundas de produção ou manutenção.

No caso de paradas de produção pode-se citar por exemplo o setup de máquina, em que o equipamento fica indisponível para ajustes, troca de ferramenta entre outros motivos.

As paradas de manutenção são oriundas de uma falha, que consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item em desempenhar sua função [4].

Este trabalho aborda de maneira mais detalhada as falhas de manutenção. Tendo como base a metodologia TPM, com enfoque no pilar MP (manutenção) planejada.

2) Índice de desempenho (μ_2)

É diretamente ligado ao posto de trabalho. Tem como cálculo o tempo de produção total, produzindo produtos conformes e não-conformes e o tempo real produzindo[2]. O cálculo deste indicador é mostrado em (3).

$$\mu_2 = \frac{\text{Tempo de produção total}}{\text{Tempo real de operação}} \quad (3)$$

Os principais problemas que podem afetar este índice são [2]:

- Operação em vazio: equipamento ativado, mas nenhum item está sendo produzido.
- Tempo de paradas não registradas: onde a máquina fica parada por algum motivo e não é pontado no indicador de disponibilidade (μ_1).
- Quedas de velocidade de operação: ciclo de máquina maior que o programado por operador inexperiente.

3) Índice de qualidade (μ_3)

Este índice é sobre a qualidade dos produtos produzidos. É calculado em função do tempo de produção total, quando itens conformes e não conformes são produzidos [2]. Esse cálculo é feito conforme (4).

$$\mu_3 = \frac{\text{produtos conformes}}{\text{produtos conformes} + \text{produtos não conforme}} \quad (4)$$

É necessário salientar que os cálculos apresentados anteriormente para calcular a eficiência global são para um posto de trabalho, restritivo ou não [2]. No entanto em casos em que o fenômeno físico não é representado pela unidade de tempo, como por exemplo em processo de galvanização, máquina seladoras em esteiras utiliza-se um outro cálculo genérico conforme (5).

$$\mu_{global} = \frac{\text{produção real}}{\text{produção teórica}} \quad (5)$$

Na figura 1 possível observar o que cada um dos índices ($\mu_1 \times \mu_2 \times \mu_3$), representa na relação de tempo calendário com o tempo de valor agregado. Sendo a diferença entre eles as perdas do processo.

Atualmente as empresas possuem metas de indicadores individuais para o atingimento do indicador geral, assim cada área da empresa tem sua responsabilidade e suas metas individuais.

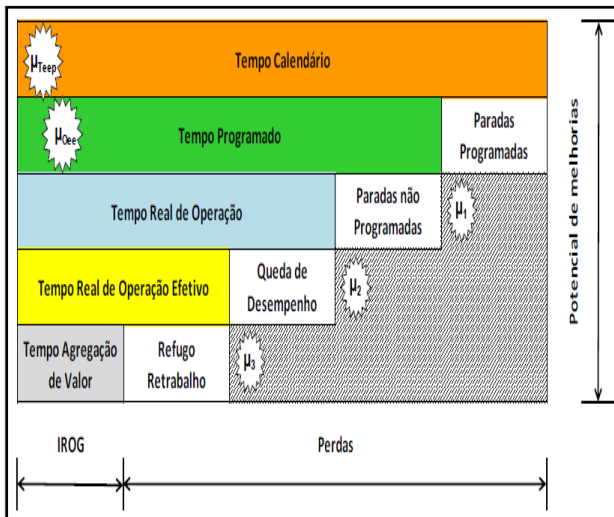


Fig. 1 - Indicador global

B. Manutenção

A manutenção é definida como a combinações de ações técnicas e administrativas, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida [5]. As atividades de manutenção existem para evitar a degradação de equipamentos e instalações. Essas degradações implicam negativamente de várias formas como, perda de desempenho, paradas de produção e produtos de má qualidade [5]. Portanto, a manutenção é uma área estratégica dentro de qualquer grande empresa, que tem como objetivo melhorar continuamente o indicador de eficiência global.

1) Tipos de manutenção

Existem basicamente quatro tipos de manutenção [5]. Essa classificação abrange todas as atividades técnicas de manutenção. São elas: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e melhoria dos equipamentos.

Manutenção corretiva sempre é feita depois que a falha ocorre [5]. A opção deste método deve levar em conta fatores econômicos. Do ponto de vista somente da área de manutenção esse método se torna o mais barato, mas é preciso levar em conta as perdas por paradas de produção o que na maioria das vezes deixa a manutenção corretiva muito mais cara do que se imagina [5].

Mesmo em casos de equipamentos menos críticos que se opta por somente o método corretivo, a falha não pode ser considerada natural. É necessário identificar as causas e evitar a reincidência.

Manutenção preventiva envolve tarefas sistemáticas, tais como inspeções, reformas e trocas de peças principalmente [5]. Do ponto de vista somente da área de manutenção esse método é mais caro que a manutenção corretiva, pois os componentes são trocados antes de atingirem seu limite de vida útil [5]. Entretanto a ocorrência de falhas diminui e a disponibilidade de equipamento aumenta [5]. Sendo assim, o método preventivo se torna mais barato que o corretivo do ponto de vista do indicador de eficiência global.

Manutenção preditiva tem como principal característica a otimização da troca ou reforma de peças, estendendo o intervalo de manutenção [5]. Nesse método é possível prever quando o componente estiver próximo ao seu limite de vida útil. A tecnologia disponível permitiu o desenvolvimento de técnicas de manutenção preditivas, geralmente caras. Esse método de manutenção ainda não pode ser aplicado em todos os tipos de componentes. Alguns exemplos mais utilizados são:

- Análise vibração (prevendo a troca de rolamentos)
- Análise de óleo (prevendo desgaste de componentes)
- Termografia (monitorando aquecimento em painéis elétricos)

Melhoria de equipamentos é uma evolução em relação aos demais métodos. Onde a engenharia de manutenção tem como objetivo melhorar gradativa e continuamente os equipamentos de manutenção [5]. Utilizando de metodologias para prever e analisar as falhas de forma contínua, diminuindo a quantidade de falhas e por consequência melhorando os indicadores de manutenção. Uma ferramenta muito utilizada e com comprovada eficácia é a manutenção produtiva total (TPM).

A tabela I mostra as vantagens e desvantagens de cada tipo de manutenção.

Tabela I - Comparativo tipos de manutenções

TIPO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
CORRETIVA	Os custos envolvidos em um eventual reparo são inferiores aos custos de manutenção preventiva.	Altos custos de mão-de-obra, peças e serviços. Tempo de máquina e instalações inoperantes.
PREVENTIVA	A continuidade do funcionamento das máquinas, só parando para consertos em horas programadas.	Requer um programa bem-estruturado. Necessita de uma equipe de técnicos eficazes e treinados.

Maior facilidade para cumprir seus programas de produção. Previsibilidade de consumo de materiais e sobressalentes. As peças são trocadas antes de atingirem seus limites de vida. Requer um plano detalhado e estrategicamente de manutenção.

MELHORIAS Quando o tempo de reparo é elevado e há possibilidade de propagação da falha. Quando o tempo médio entre falhas é grande, proporcionando dificuldades de avaliação e inspeção. Resolução de falhas pequenas e de baixo custo. Resolução de falhas com melhorias que necessitam mudanças no equipamento ou até mesmo no processo de produção.

2) Indicadores de manutenção

A manutenção é responsável diretamente pelos três índices que compõem o indicador de eficiência global, ou seja, é uma área estratégica dentro de uma grande empresa. No μ_1 tem como responsabilidade deixar o equipamento disponível o maior tempo possível. Já no μ_2 o objetivo é manter o equipamento com ciclo e velocidade nominais, do ponto de vista de equipamento. No μ_3 é garantir que o equipamento não tenha influência sobre a não conformidade de produtos.

Baseado nisto é preciso medir a eficiência da manutenção em relação aos equipamentos do processo.

O principal indicador é a disponibilidade de equipamento. Que tem por definição a probabilidade de um equipamento ou sistema estar disponível para uso ou sendo utilizado. Para calcular a disponibilidade é necessário calcular outros dois indicadores que compõem o indicador de disponibilidade, tempo médio entre falhas e tempo médio para reparo.

O tempo médio entre falhas (TMEF ou MTBF) é a média aritmética entre o fim de uma falha e o início de outra, considerando somente o tempo em funcionamento [6]. Conforme (6) a seguir.

$$TMEF = \frac{TOPT}{n} \tag{6}$$

Onde:

TMEF: tempo médio entre falhas
TOPT: tempo total operando
n: número de falhas

O tempo médio para reparo (TMPR ou MTTR) é a média aritmética dos tempos de reparo de um sistema [6]. Ou seja,

o tempo em que a equipe de manutenção leva para colocar o equipamento em funcionamento após ocorrida uma falha, conforme (7) a seguir.

$$TMPR = \frac{TMPT}{n} \tag{7}$$

Onde:

TMPR: tempo médio para reparo
TOPT: tempo total em reparo
n: número de falhas

Após os cálculos de TMEF e TMPR, é possível definir a disponibilidade de um determinado equipamento. Conforme (8) a seguir.

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \tag{8}$$

Onde:

DISP: disponibilidade
TMEF: tempo médio entre falhas
TMPR: tempo médio para reparo

III. MÉTODO

A. Metodologia TPM (*Total Productive Maintenance*)

É uma metodologia que representa uma forma de revolução, pois ela faz a integração total do homem, com o equipamento e com a empresa. Onde o trabalho de manutenção dos meios de produção para a ser responsabilidade e preocupação de todos [3].

O TPM é o resultado do aprimoramento de empresas japonesas de um método de manutenção preventiva que nasceu nos Estados Unidos na década de 50 [1]. Por volta de 1971 o TPM foi formatado no estilo japonês baseado em técnicas de manutenção preventiva, manutenção no sistema de produção, prevenção da manutenção e engenharia de confiabilidade [1].

O método ganhou grande importância após a criação do prêmio PM pelo JIPM (*Japanese Institute of Plant Maintenance*), que é o órgão responsável pela veiculação e implementação das atividades no Japão.

As principais características do TPM são:

- Falha zero e quebra zero nos equipamentos
- Zero defeito nos produtos
- Zero perdas nos processos
- Zero acidentes

Ou seja, a metodologia é baseada somente na parte cultural e comportamental. Onde todos os departamentos trabalham

juntos com o objetivo de minimizar as perdas e maximizar os lucros.

As perdas são oriundas da baixa eficiência de equipamentos, baixa eficiência de pessoas e baixa eficiência de materiais e recursos [7].

As perdas que diminuem a eficiência dos equipamentos são:

- Manutenção programada
- Falha no equipamento
- Ajustes de equipamento
- Setup
- Ociosidade
- Redução de desempenho
- Correção de defeitos
- Defeito no início do funcionamento

As perdas que diminuem a eficiência das pessoas são:

- Falhas administrativas
- Falhas operacionais
- Desorganização na linha de produção
- Falhas da logística
- Medições e ajustes excessivos

As perdas que diminuem a eficiência dos recursos e matérias são:

- Desperdício de energia
- Perdas de materiais
- Matrizes, ferramentas e moldes.

A principal quebra de paradigma, é que o TPM rompe a tradição quanto ao tratamento dado a máquina ou equipamento [7]. Por meio de uma mudança de postura dos três órgãos relacionados:

Produção: os operadores passam a ser responsáveis pelas atividades de manutenção mais simples, e são instigados a cuidar e preservar o seu equipamento.

Manutenção: é responsável pelo treinamento dos operadores nas atividades mais simples de manutenção. Continua sendo responsável pelas mais complexas, procurando manter e melhorar a confiabilidade do equipamento.

Engenharia: Passa a atuar de maneira mais eficaz sobre os problemas causados por deficiência ou projeto do equipamento. Melhorando o equipamento existente ou na aquisição de novos equipamentos.

Estas ações representam um incremento na produtividade e conseqüentemente melhora a competitividade da empresa.

Os objetivos da metodologia TPM podem ser observados de maneira mais didática na tabela II a seguir.

Tabela II - Itens de controle do TPM

FATOR		ITEM DE CONTROLE
QUALIDADE (QUALITY)	– Q	Redução do nível de produtos defeituosos. Redução do nível de reclamações internas e externas
PRODUTIVIDADE (Productivity)	– P	Aumento do volume de produção pelos operadores. Aumento da disponibilidade operacional das máquinas Redução das paradas acidentais das máquinas.
CUSTO – C (Cost)		Economia de energia. Redução do custo de manutenção ao longo do tempo Simplificação do processo (redução de etapas). Redução de volume estocado.
ATENDIMENTO (Delivery)	– D	Aumento do cumprimento do prazo
MOTIVAÇÃO – M (Moral)		Aumento do número de sugestões. Redução de absenteísmo. Redução/eliminação dos acidentes.
SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE – S (Safety)		Redução/eliminação da poluição e de gastos com tratamento de rejeitos.

Para sustentar a metodologia TPM, existem oito pilares conforme figura 2 a seguir [7].

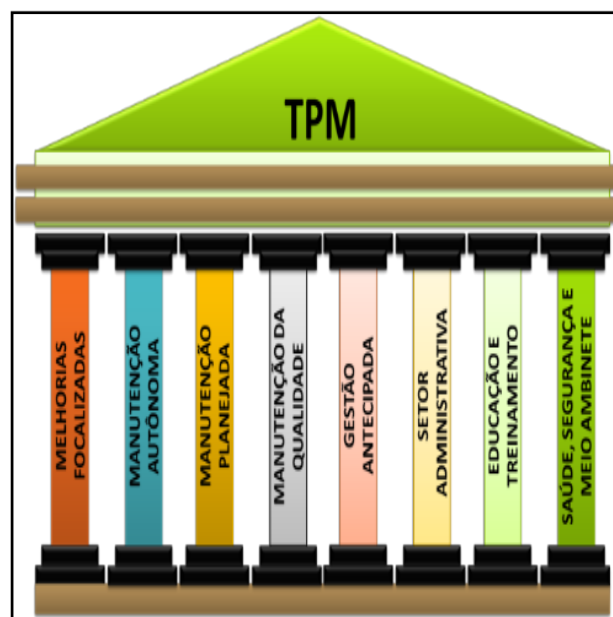


Fig. 2 - Pilares da metodologia TPM

Pilar 1 melhorias focalizadas: Responsável pela gestão das informações de funcionamento das máquinas e dos equipamentos. O objetivo é desenvolver melhoria contínua ao processo de manutenção de equipamentos.

Pilar 2 manutenção autônoma: É a manutenção dos equipamentos feita pelos operadores, para garantir alto nível de produtividade. As atividades de manutenção autônoma são de baixa complexidade e começam nos equipamentos e se estendem a toda produção. O objetivo deste pilar é mobilizar e motivar o operador de sua responsabilidade com seu equipamento.

Pilar 3 manutenção planejada: É o pilar responsável por todo o planejamento da manutenção em seu nível macro. A responsabilidade pela gestão desse pilar é do setor de manutenção da empresa e seus executores são os técnicos, os quais têm formação técnica que permite maior conhecimento dos equipamentos. O objetivo é aumentar a eficiência global dos equipamentos (IROG), com aumento da disponibilidade operacional.

Este pilar é o principal foco deste trabalho e será abordado de forma bastante detalhada.

Pilar 4 manutenção da qualidade: Através do eficiente reparo das máquinas de produção a TPM tem como meta “zero defeito” de produtos. O setor responsável por controle de qualidade e gerenciamento do sistema de gestão de qualidade deve atuar em conjunto com a gestão da manutenção, para atingir os objetos comuns;

Pilar 5 gestão antecipada: A execução de manutenção de equipamentos pode ter deficiência por falta de informações referentes ao histórico de funcionamento. É imprescindível, assim, uma gestão unificada de manutenção de novos equipamentos;

Pilar 6 setor administrativa: É o uso da metodologia da Manutenção Produtiva Total, em todos os setores de uma empresa. O objetivo é reduzir perdas administrativas.

Pilar 7 educação e treinamento: Gestão responsável pelo controle do conhecimento dos operadores, mantenedores e lideranças inseridas na Manutenção.

Pilar 8 saúde, segurança e meio ambiente: Frente de gestão que objetiva o nível zero de acidentes ambientais e do trabalho. Desta forma, o pressuposto para boa gestão dessa frente é manter o ambiente de trabalho em boas condições, limpo e seguro.

1) Pilar 3 Manutenção planejada

A manutenção planejada consiste em detectar e tratar as anormalidades dos equipamentos antes que eles produzam perdas ou defeitos [7]. Portanto, o foco principal deste pilar é eliminar as atividades não programadas de manutenção.

Para alcançar a máxima eficiência de um equipamento é fundamental o conhecimento de três conceitos que são as bases para a medição da eficácia do equipamento, que são confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

Confiabilidade é o conceito de um equipamento operar em condições normais de projeto, em um determinado período. As taxas de falhas se comportam de maneira diferente com o passar do tempo [7]. A figura 3 representa esse comportamento.

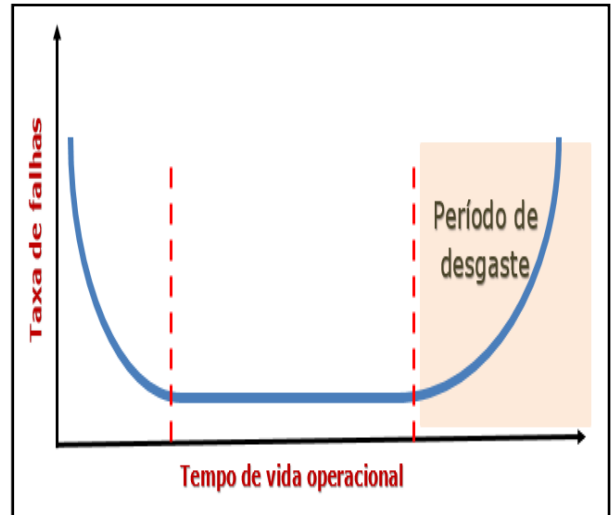


Fig. 3 - Curva da banheira

Manutenibilidade é a probabilidade de executar um reparo de uma falha dentro de um prazo estabelecido, com base em histórico [7]. Em muitos casos não existem dados precisos, em função da falta de qualidade dos dados e dos reparos serem diferentes entre si com variações de recursos como por exemplo mão de obra.

Disponibilidade como citado na seção de indicadores reflete o tempo em que a máquina fica disponível para produção [7]. Ou seja, não está indisponível por falha ou quebra oriunda de um problema de manutenção.

Baseado nestes conceitos a manutenção industrial evoluiu ao passar dos anos. Com o objetivo de deixar o equipamento mais confiável e disponível, minimizando ao máximo as perdas de eficiência por paradas de manutenção não programadas.

A figura 4 mostra a evolução da manutenção dos anos de 1920 até 2010, salientando a entrada do conceito de manutenção produtiva total a partir do ano de 1975.

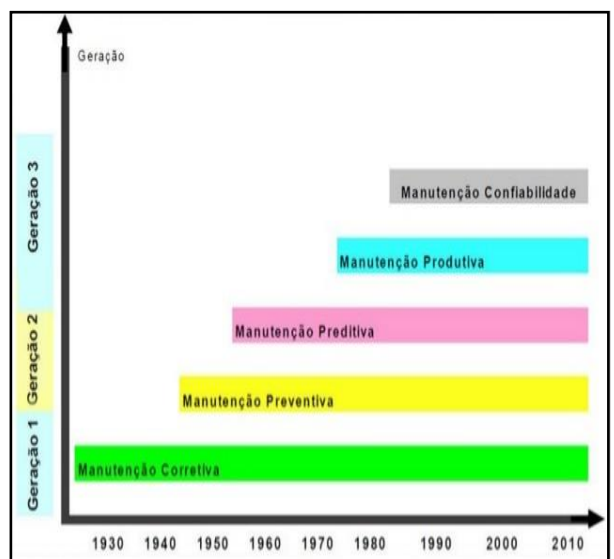


Fig. 4 - Evolução da manutenção

Na tabela III é possível observar fatores importantes para a evolução da manutenção ao longo dos anos.

Tabela III - Fatores da evolução

Época	Características	Consequências	Função manutenção
Até a 2ª guerra	Baixa mecanização. Poucas máquinas. Demanda maior que a oferta. Equipamentos simples e robustos.	Paralisações não afetavam as vendas. Máquinas fáceis de consertar.	Manutenção corretiva. Pouca especialização.
De 1950 até 1975	Aumento da demanda. Maior tecnologia.	Maior mecanização. Aumento do número de máquinas. Máquinas mais complexas. Elevação dos custos de manutenção.	Introdução de manutenção preventiva em intervalos fixos. Desenvolvimento de sistemas de planejamento e controle de manutenção. Maior especialização.
A partir de 1975	Aumento da competitividade e por meio de redução de custo por produto. Introdução de sistemas de produção puxada (just-in-time) Preocupação crescente com segurança e meio ambiente	Maior confiabilidade e disponibilidade do equipamento. Preocupação com o ciclo de custo de vida.	Introdução do monitoramento e da manutenção preventiva com base nas condições e do monitoramento. Análise do custo de manutenção com base na confiabilidade. Análise dos modos e efeitos das falhas. Alta especialização.

A. Implantação da metodologia TPM

A implementação do pilar de manutenção planejada que é a base deste trabalho, é feita em 6 etapas [1]:

Etapa 1: avaliação do equipamento e reconhecimento da situação atual.

Etapa 2: estabelecendo de uma organização de melhorias restaurando as condições

Etapa 3: estabelecendo um sistema de controle da informação.

Etapa 4: estabelecendo uma condição de preventiva baseada no tempo.

Etapa 5: estabelecendo um sistema de manutenção preventiva baseado nas condições.

Etapa 6: Mensuração dos resultados da manutenção.

Entretanto, existe um conceito mais amplo e não divide a implantação por cada um dos pilares do TPM, mas sim por

conceitos [3]. Mesmo assim divide em doze etapas e quatro fases, que ao final de todas concluídas a metodologia TPM toda atingirá seu objetivo. A tabela IV mostra de forma sucinta e objetiva cada uma destas etapas.

Tabela IV - Etapas implementação TPM

FASES	ETAPAS	CONTEÚDO
FASE PREPARATÓRIA	Decisão da adoção pela direção - anúncio oficial	- Divulgação acerca do TPM por toda a organização - Uso de meios de comunicação disponível (murais, jornais internos, etc.)
	Campanha para introdução e esclarecimentos iniciais	- Seminários específicos dirigidos às hierarquias superiores - Projeção de vídeo para elementos operacionais
	Estruturação do órgão encarregado da implementação	- Estruturação dos comitês para implementação
FASE INICIAL	Definição da política básica e metas a serem alcançadas	- Escolha do alvo e definição das metas a serem alcançadas
	Elaboração do plano diretor de implementação	- Detalhamento do plano-diretor
FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	Atividades relativas a introdução	- Convite a fornecedores, clientes e empresas afiliadas
	Incorporação de melhorias individualizadas sobre as máquinas e equipamentos	- Escolha da área piloto e estruturação da equipe de trabalho. - Implementação por etapas
	Estruturação da manutenção autônoma	- Auditoria de cada desenvolvimento e aprovação
	Estruturação do setor de manutenção e condução da manutenção planejada	- Condução da manutenção periódica - Administração do cronograma - peças de reposição, ferramentas e desenhos técnicos

FASE CONSOLIDADAÇÃO	Educação e treinamento para melhoria das habilidades do pessoal da produção e manutenção. Estrutura para gestão dos equipamentos na fase inicial de funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> - Preparação coletiva dos líderes - Educação e treinamento - Condução do projeto com prevenção da manutenção (PM) - Controle da fase inicial de funcionamento - custo do ciclo de vida (CCV)
	Consolidação do TPM e incremento do seu nível	<ul style="list-style-type: none"> - Candidatura ao prêmio PM de manutenção - Definição de objetivos de maior porte

Somente na etapa 8 são citadas as atividades de manutenção planejada. Mesmo assim, o setor de manutenção é a área com maior envolvimento na metodologia TPM. Sendo assim, a área de manutenção tem envolvimento direto com todas as etapas de implantação da metodologia TPM. Baseado nos objetivos citados por [3] que abrange o método como um todo, [8] mostra um método que detalha separadamente a implantação da manutenção planejada. Também utiliza etapas, que são sete e dedicadas somente a implantação do pilar de manutenção planejada que serão descritas a seguir.

B. Implementação do pilar de manutenção planejada

A implantação do pilar de manutenção planejada é de grande importância dentro da metodologia TPM. Pois a manutenção é envolvida em todas as áreas e em todas as etapas da metodologia TPM.

Essa implantação do pilar é então dividido em etapas. São elas:

Etapa 1: Reconhecimento da necessidade de uma estrutura de manutenção planejada. Identificar os problemas e funções atuais a partir do ambiente sob o qual a indústria esteja capacitada a confirmar o porquê a necessidade de estrutura de manutenção planejada.

Etapa 2: Estabelecer objetivos, diretrizes e metas de manutenção planejada. Decidir quais as finalidades os procedimentos de manutenção estão voltados. Assim como os objetivos, conceito e diretrizes a serem utilizados na implantação da manutenção planejada.

Etapa 3: Formação de uma organização e esclarecimento das funções. Obter um conceito pleno em relação as funções, negócios a serem realizados e funções dentro da estrutura de manutenção planejada.

Etapa 4: Esclarecimento dos itens de implantação para estabelecimento da estrutura. Para implantar a manutenção planejada de maneira concreta e sólida ela é dividida e implementada com o conceito de pilares.

Etapa 5: Estudo de aspectos específicos de implementação referentes a cada item. Esclarecer problemas e objetivos anteriores, assim como assuntos e métodos específicos a serem implementados, em relação a cada um dos pilares da implantação.

Etapa 6: Organização do plano de implementação. Emoldurar um plano de implementação. Observando ao mesmo tempo o plano piloto referente a cada pilar de implantação.

Etapa 7: Verificação dos resultados e estabelecimento do sistema de manutenção. Compreender os fatores que foram alcançados conforme o planejamento inicial, e verificar se as metas podem ser alcançadas.

1) Transformando etapas em pilares

Um conceito diferente de todos os outros autores é apresentado por [8]. Onde as etapas são cruzadas em 8 pilares em forma de matriz. Cada um dos pilares da manutenção planejada possui ações específicas e possuem atividades em todas as etapas da implementação da manutenção planejada.

A vantagem deste método é que os pilares podem ser implementados de forma mais detalhada e distinta e ao mesmo tempo.

Para cada pilar é necessário um responsável para executar as atividades oriundas de seu pilar e também para multiplicar os conhecimentos aos demais funcionários do setor de manutenção industrial.

Na figura 5 é possível observar como são relacionadas as atividades e cada um dos pilares com as etapas da implementação da manutenção planejada da metodologia TPM.

8 Pilares das atividades de Manutenção	Objetivos das atividades	Fase introdutória do TPM	Fase de implementação		Fase de aprimoramento		Fase de fixação	
			Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
1 Apoio e orientação para atividades	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria prematura dos "Fugual" e locais defeituosos das atividades. • Apoio do aprimoramento da habilidade de manutenção 	<p>Apoio de treinamento da linha - operação de etiqueta amarela</p> <p>Treinar na habilidade de manutenção</p>	<p>Controle da fonte geradora</p> <p>Apoio a eliminação dos 4 males</p> <p>Implementação do controle visual, indicação de nível, tipo de óleo, etc</p>	<p>Limpeza e lubrificação padrões</p> <p>Treinar os líderes de inspeção geral</p>			<p>Treinar a classe média de habilidade de manutenção</p>	
2 Atividades de zero defeito	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir defeito em toda fábrica para menos de 1/10 • Implementar as medidas de prevenção da recorrência em sua totalidade 	<p>Atividades de manutenção por defeito somente pela manutenção</p> <p>• Análise de defeito insuficiente</p> <p>• Técnicas analíticas são fracas</p> <p>• Método de coleta de estatística de defeito não está claro</p>	<p>Análise de defeito</p> <p>Análise de FMEA e PM</p>	<p>Medidas de combate diário de prevenção da recorrência</p> <p>Reunião matinal com as áreas envolvidas</p> <p>Desafiar o início com o pior equipamento e implementar nos outros</p> <p>defeito zero na máquina de concreto</p>				
3 Estabelecer estrutura de manutenção planejada	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar o sistema de gerenciamento de manutenção • Classificar a importância do equipamento • Implementação eficiente, como planejamento de manutenção. 	<p>Falta de planos devido a pressão dos defeitos</p> <p>Atraso na padronização</p>	<p>Revisão do padrão do sistema de gerenciamento</p> <p>Revisão da manutenção periódica - esclarecer a divisão de serviço de manutenção</p>	<p>Implementar a classificação de importância</p> <p>Operar e utilizar o calendário de manutenção</p>				
4 Atividades de gerenciamento da lubrificação	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminar defeitos causados por lubrificação • Consolidar os tipos de óleo e reduzir o consumo e espaço de armazenagem 	<p>Falta de planos devido a pressão dos defeitos</p> <p>Atraso na padronização</p> <p>Atraso na padronização</p>	<p>Estabelecer um padrão de gerenciamento da lubrificação</p> <p>Implementar controle visual</p> <p>Unificar os tipos de óleo</p>	<p>Sistematizar o sistema de compras</p> <p>Instalar estações de óleo</p>				
5 Atividades de gerenciamento de peças de reposição	<ul style="list-style-type: none"> • Redução nos custos de suprimento e gerenciamento. • Reduzir os tipos ao mínimo necessário. 	<p>Sistema de gerenciamento de peças não está claro</p> <p>Dispersões nas quantidades são grandes</p> <p>Locais de armazenagem não estão claros</p>	<p>Estabelecer um padrão de gerenciamento de peças de reposição</p> <p>Seleção do que é ou não necessário</p> <p>Definir locais de armazenagem e quantidades</p>	<p>Sistematizar o sistema de compras</p> <p>Implementar controle visual</p>				
6 Atividades de gerenciamento de custos de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer um sistema que possibilite ações para redução do custo de manutenção 	<p>Classificação dos custos de manutenção não está claro</p>	<p>Estabelecer sistema de gerenciamento de custo de manutenção</p> <p>Implementar e captar o gerenciamento da estratificação do custo de manutenção</p>	<p>Gerenciamento do custo de manutenção</p>				
7 Pesquisa da eficiência de SDM e manutenção produtiva	<ul style="list-style-type: none"> • Restaurar funções do equipamento e o desempenho para assegurar a operação até a próxima sessão de manutenção periódica • De (TBM&MB) a (CBM&TBM) • Período de SDM mais curto 	<p>Sistema de gerenciamento de gerenciamento não está claro</p> <p>Inspeções TBM e BM são principais</p>	<p>Estabelecer um padrão de gerenciamento de custo</p> <p>Reduzir o período pela análise, pelo item de trabalho e pelo trabalho eficiente</p> <p>Pesquisa de manutenção preditiva</p>	<p>Executar o gerenciamento SDM</p> <p>Mudar a inspeção de mudança de equipamento para inspeção CBM</p>				
8 Tecnologia e habilidades de manutenção aprimoradas	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia e habilidade de diagnóstico de manutenção preventiva e técnicas analíticas podem ser tratadas 	<p>Treinamento é dado aos poucos e não é suficiente</p>	<p>Sistema de treinamento</p> <p>Aprender técnicas analíticas</p>	<p>Obter qualificações de engenheiro de gerenciamento e técnico de serviço</p> <p>Comparecer aos custos de treinamento oferecidos pela JIPM</p> <p>Participar das escolas de treinamento patrocinadas por fornecedores</p>				

Fig. 5 - Matriz pilares x etapas

C. Os pilares da manutenção planejada

Salientando que são pilares que sustentam somente a manutenção planejada. São os oito pilares da implementação da manutenção planejada conforme figura 6.

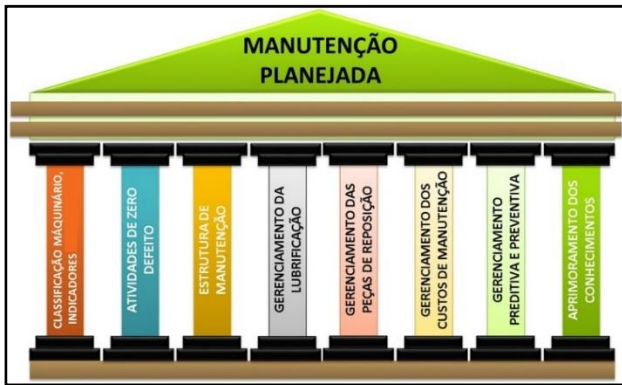


Fig. 6 - Pilares da manutenção planejada

1) Pilar 1 apoio e orientação as atividades

Esse pilar tem duas principais funções dentro da estrutura de manutenção planejada. A primeira é relacionada as atividades de apoio da manutenção a outros pilares do TPM, como por exemplo a manutenção autônoma (MA). A segunda função deste pilar é a orientação para os demais pilares dentro da manutenção planejada. A quantidade de equipamentos dentro de uma grande empresa é muito grande, então para isso é preciso ter um ponto de início para implementar a manutenção planejada. Sendo assim, as primeiras máquinas a ter o TPM implantado, precisam ser escolhidas baseado em alguns critérios. Para isso é preciso ter informações de quais máquinas impactam mais no OEE (indicador de eficiência global) da empresa, para primeiramente implementar a manutenção planejada nestes equipamentos. Os indicadores de manutenção já citados neste trabalho, mostram quais equipamentos tem uma disponibilidade menor. E, portanto, são os primeiros que necessitam da manutenção planejada.

Além dos indicadores de manutenção, é preciso analisar quais equipamentos tem maior impacto na eficiência global. Para realizar essa análise é criada uma classificação dos equipamentos, chamada de classificação de criticidade ou classificação ABC. Essa classificação deve levar em conta diversos critérios conforme tabela V.

Tabela V - Classificação ABC

CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			
ÁREA	Nº	CATEGORIA	CRITÉRIOS
MANUFATURA	1	Carga da máquina	4= trabalha em 03 turnos 2= trabalha em 02 turnos 1= trabalha em 01 turno
	2	Substituição da máquina	4= não (Impossível) 1= sim (É possível)

QUALIDADE	3	Influencia parada de produção	4= percebido no cliente Montadora 2= percebido no cliente externo 1= percebido no cliente interno 4=FMEA Característica crítica
	4	Influencia Qualidade final	3= Reclamações clientes 2= não conformidades internas 1= Não Influencia sobre a Qualidade final
	5	Tempo de parada para reparação	4=> 8h por pane 2= entre 2h - 8h por pane 1=<2h por pane
MANUTENÇÃO	6	Tempo de reposição /peças	4= > 48hs 2= entre 24 e 48 1= < 24hs
	7	Custos de manutenção anual	4 = ≥ R\$: 30.000 2 = ≥ 10,000 < 30.000 1 = ≤ 10.000
MEIO AMBIENTE	8	Influência no meio ambiente	5= Impacto que atinge a circunvizinhança 2= Impacto no local de trabalho 1= Baixo impacto
SEGURANÇA	9	Influencia na Segurança	5= elevado risco de acidente 4= médio risco de acidente 2= Baixo risco de acidente 1= nenhum risco de acidente

2) Pilar 2: Atividades para alcance de zero falhas

Falha é a perda da capacidade de um item para realizar sua função específica. É a diminuição parcial ou total da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar sua função durante um período de tempo [7]. Esse pilar tem como objetivo enfatizar os procedimentos e processos para reduzir ao máximo as falhas e defeitos em equipamentos, que são responsáveis pela queda de disponibilidade do equipamento e por consequência queda do indicador de eficiência global.

É importante distinguir modo de falha e causa de falha. O modo descreve o que está errado na funcionalidade do item, já a causa descreve porque está errada a funcionalidade do item [4]. É função da manutenção combater o modo de falha, mas além disso combater a causa da falha para que ela não ocorra mais. O modo de falha poder classificado basicamente em quatro grandes grupos [4]:

- Modos de falha mecânico
- Modos de falha elétrico
- Modos de falha estruturais
- Modos de falha humanos

Já as causas das falhas podem ser inúmeras inseridas dentro de um ou mais modo de falha. Para encontrar as causas das falhas existem métodos para isso, dentre eles

destaca-se o método de análise de causa raiz. Esta técnica visa identificar a origem da falha [8]. O pressuposto dessa abordagem é que somente quando o motivo original de ocorrência de uma falha é identificado, pode ser estruturado um plano para que a falha não volte a acontecer. Para permitir uma melhor efetividade na análise da causa raiz da falha, recomenda a aplicação de ferramentas como *Ishikawa*, “cinco porquês” e 5W2H [8].

O método de *Ishikawa* se baseia que a partir do problema, pode-se chegar a causa raiz. Separando as possíveis causas em áreas.

Materia prima: Quando a falha pode ter sido causada por um material inadequado. Por exemplo o eixo de um motor quebrou devido ao material não possuir a dureza necessária para o esforço mecânico da aplicação.

Máquina: quando a falha ocorre oriundo de um defeito da própria máquina. Por exemplo um inversor de frequência queima, mas isso devido ao seu ventilador de refrigeração não estar funcionando.

Medida: quando alguma medida do material está fora do especificado. Por exemplo um elo de corrente quebrado, pois a medida do elo é menor do que o especificado pelo fabricante.

Meio ambiente: quando o meio ambiente tem influência na falha. Por exemplo uma falha em uma caixa de redução, em que o óleo foi contaminado por sujeiras presentes no ambiente.

Mão de obra: quando a falha ocorre por falta de mão de obra ou pela falta de conhecimento de quem executa. Por exemplo, quando uma manutenção preventiva não é executada por falta de pessoas e o equipamento posteriormente falha.

Método: quando a falha no método de execução causa a falha no equipamento. Por exemplo um determinado item de uma máquina quebra, e este item não está no escopo de manutenção preventiva deste equipamento;

Na figura 7 é possível verificar a estrutura do método.

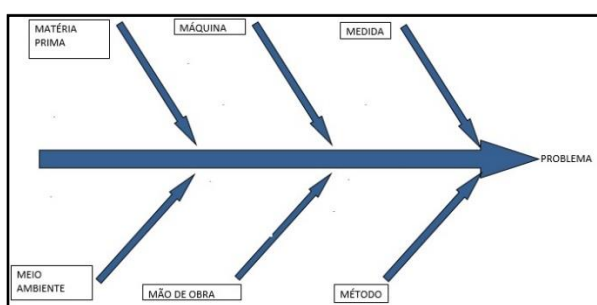


Fig. 7 - Diagrama de Ishikawa

Após identificadas as possíveis causas no diagrama de *Ishikawa* é necessário definir as ações que serão tomadas. Para isso utiliza-se o método dos “cinco porquês”, colocando cada uma das possíveis falhas no primeiro porquê e após ir perguntando o porquê da situação anterior. Conforme exemplo da figura 8 sobre uma falha em um cilindro.

PRIORIDADE	1° POR QUE ?	2° POR QUE ?	3° POR QUE ?	4° POR QUE ?	5° POR QUE ?
	FALHA NO CILINDRO	CAMISA DO CILINDRO RISCADA	ÓLEO CONTAMINADO	POEIRA NO MEIO AMBIENTE	NÃO POSSUI FILTRO ADEQUADO NA UNIDADE HIDRÁULICA

Fig. 8 - Análise dos cinco "porquês"

Após o método dos cinco “porquês” se chega a(s) causa(s) raiz (es). E então é necessário utilizar o método 5W2H para direcionar e gerenciar estas ações. Conforme figura 9 a seguir.

PLANO DE AÇÃO 5W2H						
QUE FAZER? (WHAT?)	ONDE FAZER? (WHERE?)	POR QUE FAZER? (WHY?)	COMO FAZER? (HOW?)	QUEM FAZ (WHO?)	QUANDO FAZER? (WHEN?)	QUANTO? (HOW MUCH?)
INSTALAR FILTRO	UNIDADE HIDRÁULICA	ELIMINAR A CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO	INSTALAR NA SECCÃO DA BOMBA	BRUNO	IMEDIATO	R\$ 5.000,00

Fig. 9 - Exemplo de plano de ação

3) Pilar 3: Estabelecer uma estrutura de manutenção planejada

A Atividade de manutenção é encontrada em todos os lugares e situações. Por isso sua estrutura e subordinação na empresa podem ser variadas, devido ao porte da empresa, segmento e tipo de produto [10].

Neste pilar é necessário avaliar a estrutura necessária para que contemple as novas atividades oriundas da manutenção planejada. Isto pode ser acréscimo de pessoas ou em alguns casos somente reorganização e redefinição de funções.

Isso depende da estrutura atual da empresa, do nível em que está e do nível em que almeja em relação ao cumprimento das atividades da metodologia TPM.

Atualmente utiliza-se três tipos de estruturas de manutenção dentro das empresas. São elas:

- Em linha direta, convencional ou tradicional
- Em estrutura matricial
- Em estrutura de times

A estrutura em linha preserva a identidade da manutenção com um grupo coeso e com subordinação. Suas vantagens é que garante o domínio tecnológico e possui um efetivo menor podendo realocar recursos. Sua desvantagem é que a manutenção pode se tornar um fim em si mesmo [10]. A figura 10 mostra como é formada essa estrutura.

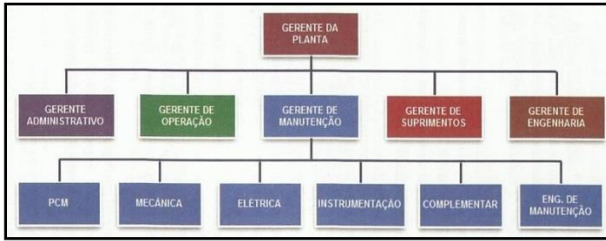


Fig. 10 - Estrutura em linha

A estrutura matricial apresenta duas linhas de autoridade: uma vertical que define o que e quando fazer e outra horizontal que define com quem e como executar a tarefa [10]. Tem como vantagem a maior cooperação e preocupação de um grupo com o funcionamento da sua unidade. Mas tem como desvantagem a descentralização de arquivos e resistência a dupla gestão. A figura 11 ilustra como é formada essa estrutura.

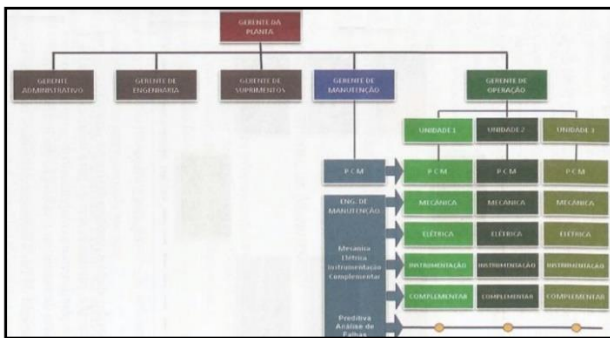


Fig. 11 - Estrutura matricial

A estrutura de times pode ter várias versões em função da característica da empresa. Uma versão que apresenta bons resultados em empresas de médio e grande porte é a que congrega um grupo responsável por uma área ou unidade. Esse grupo faz todos os trabalhos relacionados a sua área de atuação. A figura 12 mostra como é formada essa estrutura.



Fig. 12 - Estrutura em times

4) Pilar 4: Controle de lubrificação

A Lubrificação industrial é uma forma primitiva de manutenção preventiva que quando administrada de forma correta aumenta a disponibilidade de máquina, definindo-se assim como uma ferramenta eficaz na diminuição de custo e aumento de produtividade nas indústrias [11]. Sendo assim ela é importante no controle de atrito entre componentes mecânicos aumentando a vida útil e prevenindo o desgaste.

Como a lubrificação se faz presente em todas as manutenções industriais e em muitos casos o lubrificante tem um custo elevado se faz necessário um método de controle. O pilar 4 então foca na elaboração de ferramentas e métodos para diminuir este custo baseado em algumas premissas:

- Padronização dos lubrificantes utilizados
- Eliminar todos os vazamentos de lubrificante
- Sistematizar um controle de consumo de lubrificante.
- Implementação de um plano de lubrificação

5) Pilar 5: Controle de peças sobressalentes

A função do estoque de peças de reposição é dar condições ao setor de manutenção de manter seus equipamentos em funcionamento, ou seja, disponíveis para executar as funções para que foram projetados.

O estoque de manutenção não faz parte do estoque de insumos e produtos acabados de uma empresa, sendo assim não tem um consumo de itens baseado na demanda de produção. Sendo assim se faz necessário um melhor controle de estoque, para que não gere custos de impostos e armazenamento desnecessário.

Um estoque de manutenção deve ser composto em sua maioria por itens que são utilizados em manutenção preventiva. Sendo assim cada vez que uma manutenção programada for executada todos os itens necessários estão à disposição, garantindo a eficiência da manutenção preventiva.

Mas é necessário considerar que algumas manutenções corretivas podem acontecer (não programadas). E nestes casos é necessário manter um estoque de peças para que o tempo de máquina parada seja o menor possível.

O controle de peças deve ser feito de forma automática por meios de MRP baseado no ponto de reabastecimento. Mantendo a variação de estoque entre estoque máximo e ponto de reabastecimento para manutenções preventivas, e em caso de manutenções não programadas (corretivas) possui um estoque de segurança. A figura 13 ilustra esse meio de controle.

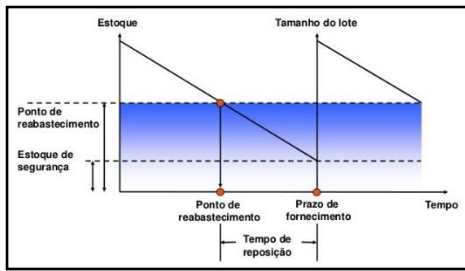


Fig. 13 - Controle tipo MRP

6) Pilar 6: Controle de custos de manutenção

Os custos de manutenção devem ser controlados e possuir indicadores para análise. Não se deve considerar somente o atingimento da meta de disponibilidade em um determinado equipamento, pois ele pode estar disponível, mas gerando um elevado custo para mantê-lo.

Por exemplo um equipamento que para atingir sua meta de disponibilidade precisa de diversas manutenções preventivas e substituição de peças durante o ano devido ao seu nível de depreciação. Isto gera um custo de mão de obra e de peças para manter o equipamento disponível, e nestes casos se faz necessário um estudo de investimento de retrofiting (reforma geral) ou até a mesmo a substituição da máquina.

Na maioria das empresas o custo de manutenção é limitado em um valor baseado no faturamento mensal. Essa definição é para não comprometer o lucro da empresa, ou seja, é necessário encontrar um ponto de equilíbrio entre disponibilidade e custo de manutenção. A figura 14 ilustra como é importante o controle de custos para não afetar o resultado da empresa.

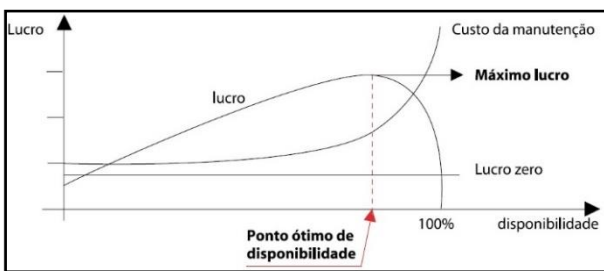


Fig. 14 - Lucro x custo de manutenção

7) Gerenciamento manutenção preventiva e preditiva

Manutenção preventiva é todo trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em condições operacionais, ainda que com algum defeito [13]. É uma manutenção baseada no tempo, e existem basicamente três maneiras clássicas de estabelecer o melhor momento para a fazer a manutenção preventiva [1]. São eles dados do fabricante, históricos de falhas e nível de desgaste.

Dados do fabricante: é recomendável quando não se tem histórico de manutenção ou experiência no tipo de equipamento. Esse método garante a confiabilidade, porém tem um custo elevado.

Histórico de falhas: é recomendável quando a empresa tem dados confiáveis de falha e profissionais qualificados para planejar e executar as tarefas. É uma desvantagem quando não se possui dados confiáveis.

Nível de desgaste: é recomendável para equipamentos que precisam de alta confiabilidade e com parâmetros de desgaste que podem ser medidos. A desvantagem é o alto custo no monitoramento.

A manutenção preditiva tem o objetivo de prever a situação do equipamento e encontrar falhas em estágio inicial, quando ainda não são prejudiciais ao equipamento e/ou processo de produção. Uma vez que a falha foi identificada em estágio inicial, podemos planejar e programar ações para eliminar essa falha [14]. Podem ser de três tipos: subjetivo, objetivo e contínuo [10].

Monitoramento subjetivo é quando as variáveis como temperatura, vibração, ruído e folgas são monitoradas sem a utilização de instrumentos. Somente baseado na experiência da equipe de manutenção com visão, tato e olfato. Sendo assim não é considerado um método confiável.

Monitoramento objetivo é realização das medições utilizando equipamentos e instrumentos. A vantagem é o acerto da grandeza medida. Mas a desvantagem é que não é feita todo tempo, pois necessita que um técnico treinado e capacitado vá até o equipamento com os instrumentos para realizar a medição.

Monitoramento contínuo é a realização das medições "full time", com a instalação de sensores de medição no equipamento. Tem como vantagem a independência de pessoal, envia dados em tempo real e pode gravar em banco de dados, pode bloquear o equipamento a qualquer momento evitando uma degradação maior. Tem como desvantagem o seu custo elevado, com sensores, CLP's e banco de dados. A figura 15 mostra a relação entre resultados e tipos de manutenção.

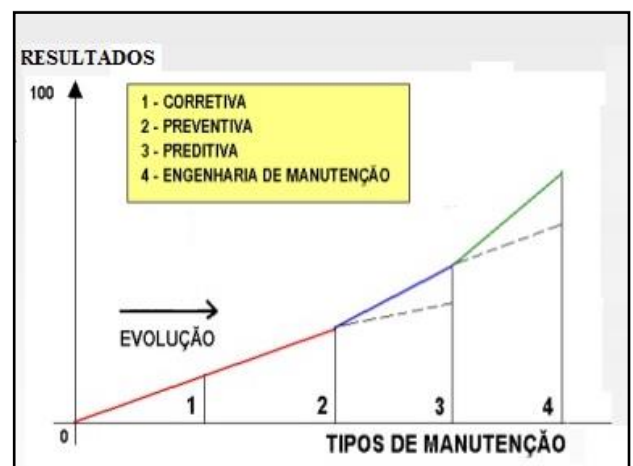


Fig. 15 - Resultados x Tipos de manutenção

8) Pilar 8: Aprimoramento dos conhecimentos de manutenção.

Este pilar trata dos conhecimentos necessários a toda equipe de manutenção. Tanto de conhecimentos básicos de

cada função, mas também os novos conhecimentos que devem ser adquiridos oriundos da metodologia TPM.

Para mensurar os conhecimentos de todos os funcionários da manutenção e após definir os treinamentos necessários, é criada uma matriz de habilidades.

O primeiro passo para criação da matriz é definir todos os conhecimentos necessários para cada uma das funções dentro do setor de manutenção. Na figura 16 abaixo um exemplo dos conhecimentos necessários de metodologia TPM.

Metodologia TPM	Metodologia de Classificação ABC;
	Preenchimento de Notas e Ordens de Serviço
	Conhecimento de Indicadores – MTBF, MTTR, MDT e Disponibilidade
	Atividade de Apoio à Manutenção Autônoma;
	Metodologia de Análise de Quebra
	Padronização das Oficinas 5S's
	Lição de um ponto (LUP)
	Conhecimentos Básicos sobre Preventiva e Preditiva

Fig. 16 - Conhecimentos necessários

Depois é necessário criar uma pontuação baseado no nível de conhecimento em cada uma das competências, conforme figura 17.

SCORE 0	Não sabe executar uma atividade - Falta de Conhecimento
SCORE 1	Conhece a teoria - Falta de treinamento
SCORE 2	Conhecimento teórico e prático (básico)
SCORE 3	Amplio conhecimento teórico e prático
SCORE 4	Multiplicador - Consegue ensinar os demais

Fig. 17 - Pontuação

A última etapa da criação da matriz de habilidades é a pontuação de cada um dos funcionários da manutenção em cada uma das competências. Com essa pontuação é possível observar o déficit por competência, por função ou por funcionário e assim montar um cronograma de treinamentos com o objetivo de elevar o nível de conhecimento. Na figura 18 é possível observar um gráfico radar de conhecimentos necessários e conhecimentos atuais.

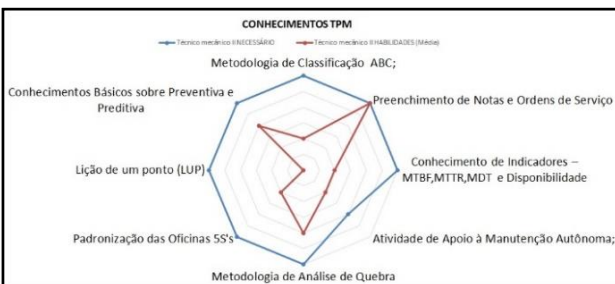


Fig. 18 - Déficit de competências

D. Engenharia de manutenção

A engenharia de manutenção tem como funções fundamentais a realização da sistemática da coleta, tratamento dos dados para subsidiar os estudos e as análises de manutenção, bem como a proposição de melhorias para o processo de gestão e execução da manutenção e melhoria do operacional dos equipamentos e instalações [9].

As principais atividades desenvolvidas pela engenharia de manutenção são: a definição e atualização do plano de manutenção; a normatização de procedimentos de manutenção; o controle e atualização do arquivo técnico; o desenvolvimento de fornecedores; a realização de estudos de melhoria dos processos de manutenção e de desempenho dos equipamentos; apoio técnico às equipes de execução da; a definição e especificação de peças sobressalentes; a execução e ensaios e testes especiais; a realização das auditorias de manutenção; a execução de análise de custos pertinentes ao processo de manutenção.

Para implementar a manutenção planejada (MP) proposta neste trabalho é necessário planejamento e controle de todas as atividades propostas em cada um dos oito pilares. E essa também se torna uma função da engenharia de manutenção, pois na maioria das atividades descritas tem uma relação direta com a manutenção planejada.

1) Indústria 4.0 na engenharia de manutenção

A Quarta Revolução Industrial, chamada também de indústria 4.0, surgiu em 2010 a partir de um projeto na área de alta tecnologia do governo alemão, que promove a informatização da fabricação e manufatura de produtos.

A indústria 4.0 cria o que foi chamado de "fábrica inteligente". Dentro das fábricas inteligentes os sistemas monitoram processos físicos, criam uma "cópia virtual" do mundo físico e tomam decisões.

Os equipamentos agora são inteligentes e capazes de tomar ações com base em dados previamente coletados, analisados e cruzados. Essas ações podem ser combinadas de infinitas formas, uma vez que temos uma capacidade enorme de coleta, análise e armazenamento de dados.

Na figura 19 é ilustrado a evolução da indústria até o surgimento da indústria 4.0

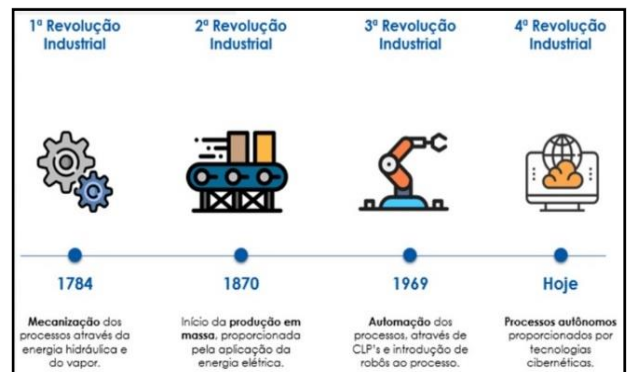


Fig. 19 - Histórico das revoluções industriais

A tecnologia da indústria 4.0 se baseia na união e na aplicação de 11 tecnologias, que quando combinadas podem trazer resultados muito bons. Conforme figura 20 a seguir.



Fig. 20 - 11 Tecnologias da indústria 4.0

Os principais objetivos da Indústria 4.0 são:

- Produtividade
- Crescimento da Receita
- Melhoria das Condições de Trabalho
- Investimento

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.

Em meados de 1950, entre o período da 2ª Guerra Mundial e o período de Pós-Guerra, a indústria teve que rever alguns conceitos básicos e dentre eles, estava a Manutenção Industrial.

As mudanças podem ser resumidas em quatro tópicos:

- Total Previsão de Falhas
- Elevação da Produtividade da Manutenção
- Redução dos Custos de Manutenção
- Desenvolvimento Técnico da Equipe

As combinações de algumas técnicas podem ajudar na previsão de falhas, onde passamos a tratar as falhas funcionais (aquelas que impedem que o equipamento desenvolva sua função dentro do processo) não sejam tratadas como uma opção. Conforme ilustrado na figura 21 as técnicas presentes na indústria 4.0 que auxiliam a engenharia de manutenção são:

- Rastreabilidade
- IIoT – Industrial Internet Of Things
- Big Data e Data Analytics
- Nuvem de Dados



Fig. 21 - As 4 técnicas da indústria 4.0

Como a engenharia de manutenção tem como função a realização da sistemática da coleta, tratamento dos dados para subsidiar os estudos e as análises de manutenção, a qualidade desses dados são muito importantes.

Uma grande vantagem das tecnologias que auxiliam a engenharia de manutenção é a qualidade dos dados.

Neste momento é onde se faz a ligação entre indústria 4.0 com o pilar de manutenção planejada presente na metodologia TPM.

IV. RESULTADOS ESPERADOS

A. Big Data e Data Analytics

O coletor é um aplicativo destinado ao apontamento de produção, paradas, setups, manutenções, chamados a áreas de apoio e diversos apontamentos realizados diretamente no ambiente fabril.

Geralmente utilizado em telas de toque (touch screens), visando a facilidade de uso. Quando integrado a outros sistemas permite realizar chamados para as áreas de apoio (manutenção, por exemplo), melhorando substancialmente os tempos de atendimento. Integrado ele permite a visualização em tempo real do status dos equipamentos.

Para garantir a acuracidade das informações apontadas, o pode ser integrado com I/O (entradas e saídas físicas de um equipamento). A figura 22 mostra um exemplo de interface de apontamento e coleta de dados de paradas de máquina.

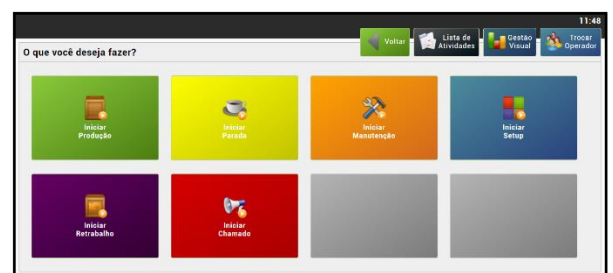


Fig. 22 - Interface de dados

Com os dados apontados e armazenados de forma confiável é possível estratificar informações de falhas no equipamento como:

- TMPR (tempo médio para reparo)
- TMEF (tempo médio entre falhas)
- DISP (disponibilidade)
- OEE (eficiência global)
- Tipo de falha
- Detalhes da falha

Na figura 23 é possível visualizar um exemplo onde o OEE é visto em tempo real.

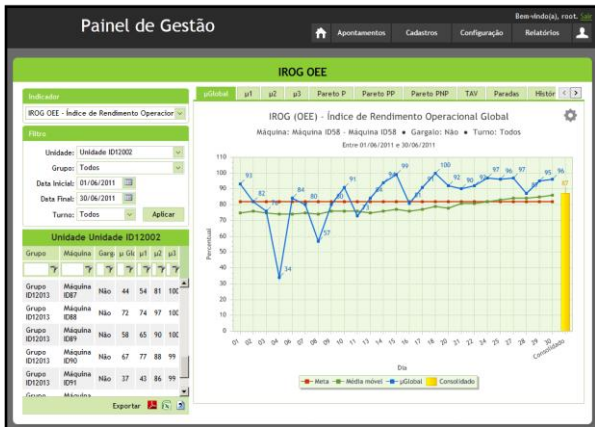


Fig. 23 - Tela de indicadores

Estas informações são utilizadas pela engenharia de manutenção para análise de falhas no pilar 2 da manutenção planejada e no pilar 7 de gerenciamento de preventiva e preditivas.

No pilar 2 com a qualidade dos dados é possível uma melhor objetividade na análise de causa raiz. Sendo assim, encontra-se a solução definitiva para que o problema não aconteça mais.

No pilar 7 de manutenção preventiva e preditiva, o histórico das falhas e tipos das falhas servem para melhorias nos planos de manutenção pela engenharia de manutenção. Alterando a periodicidade de uma preventiva, que por exemplo é semestral e com falha histórica de 4 meses. Nesse caso altera-se a periodicidade da preventiva de 6 meses para 3 meses, ou seja, antes que o item falhe evitando a manutenção corretiva.

Na figura 24 é ilustrado um gráfico do tipo pareto das paradas de manutenção de um determinado equipamento. Estes dados em tempo real e com qualidade e confiabilidade.



Fig. 24 - Pareto das paradas

Os dados com qualidade e confiabilidade relacionados as paradas de manutenção contribuem de forma significativa para o aumento de disponibilidade dos equipamentos e minimização dos custos de manutenção. Mas para isso é

necessário o conhecimento e habilidade da equipe de manutenção que se substitui um item a cada 3 meses, e com uma alteração na máquina pode aumentar a vida útil do item e prolongar a preventiva para 6 meses.

Na figura 25 é possível observar como a indústria 4.0 é utilizada como ferramenta no aumento do Oee através da área de engenharia de manutenção. E a engenharia de manutenção sustentada pelo pilar de manutenção planejada que faz parte da metodologia TPM.

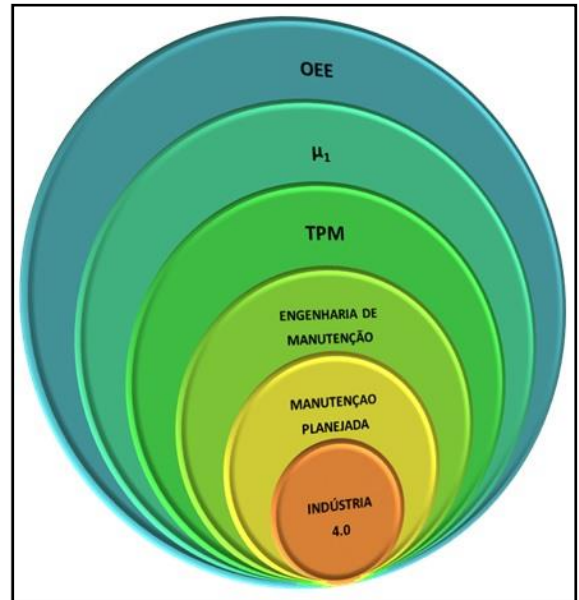


Fig. 25 - Pirâmide circular

V. CONCLUSÕES

A Indústria 4.0 já é uma realidade e tem sido aplicado com sucesso em indústrias de todo o mundo. A busca para a escalabilidade dos processos é o maior desafio, para colocar tudo isso em prática é necessário que seja economicamente viável e uma vez que isso acontecer, a revolução estará feita. Geração de emprego e renda, soluções de problemas sérios como a escassez da água, fome e a poluição atmosférica estarão cada vez mais próximas. A engenharia de manutenção que é uma área estratégica dentro das grandes empresas faz uso desta ferramenta para otimizar seu desempenho, aumentar a disponibilidade e minimizar custos de equipamento. A metodologia TPM é uma cultura que minimiza as perdas e aumenta a eficiência da manutenção. E aliando essa cultura às tecnologias da indústria 4.0, o atingimento do sucesso é feito de forma mais assertiva, rápida, eficaz e o mais importante de forma contínua.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a empresa Suspensys WE pela disponibilidade das informações, fundamentais para a conclusão deste trabalho. Também agradece ao professor Elton Fabro da Universidade de Caxias do Sul pelo apoio e disponibilidade no desenvolvimento do trabalho.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Haroldo Ribeiro, “Manutenção produtiva total: A bíblia do TPM”, PDCA Editora, 1ª edição, São Caetano do Sul, 2014.
- [2] J. Antunes; A. F. Klipel; A. Seidel; M. Klipel, “Uma revolução na produtividade: A gestão lucrativa dos postos de trabalho”, Bookman Editora, Porto Alegre, 2013.
- [3] Seichi Nakajima, “*Development Program: Implementing Total Productive Maintenance*”, Editora Productivity Press, Cambridge, 1989.
- [4] Iony Patriota de Siqueira, “Manutenção Centrada em confiabilidade: Manual de implementação”, Qualitymark Editora, 3ª reimpressão, Rio de Janeiro, 2014.
- [5] Harilaus G. Xenos, “Gerenciando a Manutenção Produtiva”, EDG Editora, 1ª edição, Belo Horizonte, 1998.
- [6] Gil Branco Filho, “Indicadores e índices de manutenção”, Ciência Moderna Editora, 1ª edição, Rio de Janeiro, 2006.
- [7] Haroldo Ribeiro, “Desmistificando o TPM”, PDCA Editora, 1ª edição, São Caetano do Sul, 2010.
- [8] *IM&C International, Japan Institute of Plant Maintenance*, Tokyo. Curso de Manutenção planejada TPM – Total Productive Maintenance, São Paulo, 2000.
- [9] Enon Lécio Nunes “Saberes da manutenção: uma visão sistêmica” UFPR Editora, 1ª edição, Curitiba, 2015.
- [10] A. Kardec; J. Nascif “MANUTENÇÃO função estratégica”, Qualitymark Editora, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2012.
- [11] K. Mobley; L. R. Higgins; Wikoff, “*Maintenance Engineering Handbook*”, New York Editora, 7ª Edição, Nova Iorque, 2008.
- [12] W.J. Kennedy; J. W. Patterson; L. D. Fredendall, “*An overview of recent literature on spare parts inventories*”. International Journal of Production Economics, 2001.
- [13] Gil Branco Filho, “A organização, o Planejamento e o Controle da manutenção”, Ciência Moderna Editora, 1ª edição, Rio de Janeiro, 2008.
- [14] Associação das Normas Técnicas, NBR 5462, Confiabilidade e manutenibilidade, ABNT, Rio de Janeiro, 1994.