

Paulo Henrique de Almeida Moraes

**MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL: estudo de
caso em uma empresa automobilística**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo curso de Gestão e
Desenvolvimento Regional do Departamento
de Economia, Contabilidade e Administração -
ECA da Universidade de Taubaté,

Área de Concentração: Gestão de Recursos
Socioprodutivos.

Orientador: Prof. Dr. José Glenio Medeiros de
Barros

Taubaté - SP

2004

Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

M827m Moraes, Paulo Henrique de Almeida
Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística / Paulo
Henrique de Almeida Moraes. - - Taubaté: UNITAU, 2004.
90f. : il.

Orientador: José Glenio Medeiros de Barros
Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté, Departamento de Economia,
Contabilidade, Administração e Secretariado, 2004.

1. Eficiência global do equipamento. 2. Manutenção produtiva total. 3. Manufatura 4
Desenvolvimento industrial e tecnológico - Dissertação. I. Universidade de Taubaté.
Departamento de Economia, Contabilidade e Administração. II. Barros, José Glenio
Medeiros de (orient.) III. Título.

PAULO HENRIQUE DE ALMEIDA MORAES

MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL: estudo de caso em uma empresa automobilística

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ, TAUBATÉ, SP

Data: ____ / ____ / ____

Resultado:.....

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr.....INSTITUIÇÃO.....

Assinatura:.....

Prof. Dr.....INSTITUIÇÃO.....

Assinatura:.....

Prof. Dr.....INSTITUIÇÃO.....

Assinatura:.....

À minha esposa Maristela, que soube fazer do esperar e do motivar, o modo de ser a minha principal ajuda na elaboração deste trabalho e ao meu pequenino José Paulo, ao qual desejo que a vontade de aprender e o amor ao próximo sejam a fonte de seu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a fonte de tudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Glenio Medeiros de Barros pelo conhecimento e dom de ensinar.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves, ao Prof. Dr. Marco Antonio Chamon, ao Professor e Mestre Luis Carlos Laureano da Rosa e ao Professor e Mestre Júlio Malva pelo apoio na parte estatística desse trabalho.

A Ford Motor Company do Brasil, na figura de todos aqueles que autorizaram e me auxiliaram nesta tarefa.

A Universidade de Taubaté pela missão de desenvolvimento do conhecimento e da preparação de recursos para a região.

MORAES, P.H.A.. **MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL**: estudo de caso em uma empresa automobilística. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RESUMO

Na definição e implementação de uma estratégia competitiva na indústria, a Manufatura pode ser considerada uma das mais importantes áreas, cabendo-lhe assim o papel de estabelecer uma cultura de melhoria contínua que possa servir como elemento norteador de toda a organização. A Manutenção Produtiva Total, usualmente chamada de TPM, do inglês *Total Productive Maintenance*, pode ser um dos elementos de disseminação dessa cultura de melhoria contínua, especialmente pelo efeito direto que exerce sobre a capacidade produtiva, a produtividade, a qualidade, a pontualidade nas entregas, a segurança e a motivação de toda a organização. Afim de se demonstrar os resultados obtidos com a implementação do TPM, este trabalho analisou um caso real de implementação ocorrido em uma empresa automobilística. Utilizando-se do conceito de regressão de séries temporais para previsão dos índices de Eficiência Global do Equipamento (OEE), Disponibilidade do Equipamento, Performance Operacional e Qualidade do Produto, características da implementação do TPM, e da posterior comparação dessas previsões com os objetivos estabelecidos pelo Time de Implementação, foi possível sugerir ações para melhoria dos resultados avaliados e destacar pontos essenciais a serem considerados tanto para implementação como para continuidade do TPM. Pela melhoria apresentada nos índices estudados comprovou-se a importância e o efeito positivo da implementação do TPM sobre os resultados da manufatura além de se verificar a dificuldade em se manter ao longo do tempo, o nível de melhoria alcançado com a implementação do TPM.

Palavras Chave: Eficiência Global do Equipamento, Manutenção Produtiva Total, Manufatura

MORAES, P.H.A.. **Total Productive Maintenance**: case study in automotive plant. 2004. 90 f. Dissertation (Master in Administration) – Department of Economy, Accounting and Administration, University of Taubaté, Taubaté, BRAZIL.

ABSTRACT

Manufacturing is one of the most important areas for the definition and implementation of a competitive strategy at the Industry, and must establish in such way a never ending improvement culture working as driver for the whole organization. The Total Productive Maintenance, usually called TPM, can be one of the key elements to diffuse this culture of never ending improvement due to its impact on capacity, productivity, quality, delivery, safety and motivation of the organization. In order to demonstrate the gains obtained with TPM implementation this Dissertation called Total Productive Maintenance presents a case study of TPM implementation in an automotive plant applying concepts of time series regression to foresee the results of Overall Equipment Effectiveness, Availability, Operational Performance and Quality of Products, comparing these previsions with the objectives established by the analyzed team, besides offering suggestions to improve the current results. The importance of TPM to the manufacturing results improvements and the difficulty to keep the achieved status has been proved through the analyzed metrics.

Key words: Overall Equipment Effectiveness, Total Productive Maintenance, Manufacturing.

SUMÁRIO

RESUMO	05
ABSTRACT	06
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS	10
SIGLÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Descrição do problema	13
1.2 Objetivos do Trabalho	14
1.3 Delimitação do estudo.....	14
1.4 Relevância do tema e do trabalho	15
1.5 Estrutura do trabalho.....	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 Falhas de equipamentos.....	16
2.1.1 Definição de falha	16
2.1.2 Causas das falhas.....	17
2.1.3 Modelo de ocorrência das falhas	17
2.1.4 Análise das falhas	19
2.2 Manutenção de equipamentos.....	21
2.2.1 Introdução à manutenção	21
2.2.2 Definição do termo manutenção	24
2.2.3 Evolução da manutenção.....	24
2.2.4 Tipos de manutenção.....	25
2.2.5 Melhor política de manutenção.....	32
2.3 Manutenção Produtiva Total (TPM)	33
2.3.1 Definições e características	33
2.3.2 Histórico do TPM.....	35
2.3.3 Resultados do TPM.....	38
2.3.4 Prêmio de excelência em TPM	39
2.3.5 Pilares do TPM	40
2.3.6 Etapas de implementação do TPM	41
2.3.7 TPM e os 5S's	42
2.3.8 Manutenção autônoma	43
2.3.9 Eficiência Global do Equipamento (OEE)	44
2.3.10 O TPM e o Gerenciamento Total da Qualidade.....	47

2.4 Séries Temporais (ST)	48
2.4.1 Definição	48
2.4.2 Movimentos típicos	49
2.4.3 Análise da Séries Temporais (ST)	50
3 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL FORD (FTPM)	52
3.1 Sistema de Produção Ford (FPS)	52
3.1.1 Visão geral do FPS	52
3.1.2 Princípios do FPS	52
3.1.3 Fases da implementação do FPS	56
3.1.4 Elementos constituintes do FPS	56
3.1.5 Estrutura de implementação do FPS	59
3.1.6 Indicadores do FPS	59
3.1.7 Processo de avaliação do FPS	60
3.2 Conceitos da Manutenção Produtiva Total Ford (FTPM)	60
3.2.1 Visão geral do FTPM	60
3.2.2 Benefícios do FTPM	61
3.2.3 Os Cinco Elementos do FTPM	62
3.2.4 Os três tesouros do FTPM	64
3.2.5 Sete Passos para a implementação do FTPM	65
3.2.6 Processo de avaliação da implementação do FTPM	68
4 METODOLOGIA	69
4.1 Classificação	69
4.2 Coleta e análise dos dados	69
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
5.1 Disponibilidade do equipamento	72
5.2 Performance operacional	75
5.3 Qualidade do produto	78
5.4 Eficiência global do equipamento (OEE)	80
6 CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	87

LISTA DE FIGURAS

2.1	Relação entre esforço e resistência do equipamento	18
2.2	Combinação dos modelos de falha	19
2.3	Exemplo de lista de aspectos para análise das causas das falhas.....	20
2.4	Exemplo do método dos cinco porquês	22
2.5	As três gerações de evolução da Manutenção	25
2.6	Evolução da Manutenção no Japão	36
2.7	As quatro gerações do TPM.....	38
2.8	Resultados mensuráveis passíveis de obtenção com o TPM.....	38
2.9	As 12 etapas de implementação do TPM.....	41
2.10	As sete etapas de implementação da Manutenção Autônoma	44
2.11	Fatores para determinação do OEE.....	45
2.12	Exemplo teórico de cálculo de OEE	46
2.13	Interações entre TPM e TQM.....	48
2.14	Exemplo de Série Temporal	49
2.15	Movimentos típicos de uma Série Temporal	50
3.1	O modelo conceitual do FPS.....	53
3.2	O foco no consumidor	53
3.3	A engrenagem das pessoas.....	54
3.4	A engrenagem da confiabilidade e manutenibilidade.....	54
3.5	A engrenagem do fluxo contínuo	55
3.6	A engrenagem externa do símbolo do FPS	55
3.7	Organização para implementação do FPS.....	59
3.8	O logotipo do FTPM	61
3.9	Os cinco elementos do FTPM	62
3.10	As perdas abordadas pelo FTPM.....	63
3.11	Exemplo de Lição de Ponto Único (LPU).....	64
3.12	Sete passos de implementação do FTPM.....	65
3.13	Etiquetas para identificação de inconveniências.....	66
3.14	Relógio de evolução da implementação do FTPM.....	68
5.1	Causas de parada do equipamento estudado.....	74
5.2	Índice de Disponibilidade do Equipamento do time estudado.....	75
5.3	Índice de Performance Operacional do time estudado	76
5.4	Nova linha de tendência corrigida da Performance Operacional	78
5.5	Índice de Qualidade do Produto do time estudado	79
5.6	Nova linha de tendência corrigida da Qualidade do Produto	80

5.7 Índice de Eficiência Global do Equipamento do time estudado (OEE)	81
5.8 Comparação entre as duas formas de previsão do OEE	82
5.9 Sugestão de objetivos para o time estudado	83

LISTA DE TABELAS

2.1 Relação % entre custo de manutenção e faturamento das empresas no Brasil	23
2.2 Formas de atuação da Manutenção das empresas no Brasil	26
3.1 Posição nas avaliações oficiais do FPS da Ford de Taubaté	60
5.1 Valores coletados de OEE e seus constituintes.....	73

SIGLÁRIO

ABRAMAN: Associação Brasileira de Manutenção.

BTS: *Build to schedule*, traduzido como Produzir conforme Programado.

DTD: *Dock to Dock*, traduzido como tempo entre docas para a produção de uma peça.

EMS: *Engineering Materials & Standards*, traduzido como Engenharia dos Materiais e Padrões.

FTPM: *Ford Total Productive Maintenance*: adaptação do TPM feita pela *Ford Motor Company* e aplicada mundialmente em suas unidades.

FPS: *Ford Production System*, traduzido como Sistema de Produção Ford e que se refere ao sistema mundial de produção da Ford.

FTTC: *First Time Through Capability*, traduzido como Fazer Certo da Primeira Vez.

ISPC: *In Station Process Control*, traduzido como Controle de Processo na Estação de Trabalho.

JIPE - *Japanese Institute of Plant Engineering*, traduzido como Instituto Japonês de Engenharia de Planta.

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

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

MA: Manutenção Autônoma

MCBF: *Mean Cycles Between Failures*, traduzido como Número Médio de Ciclos entre Falhas.

MCTF: *Mean Cycles to Failure*, Número Médio de Ciclos até a Falha.

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

MTTR: *Mean Time to Repair*, traduzido como Tempo Médio de Reparo.

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora.

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

PIB: Produto Interno Bruto.

PQCDSM: Resultados afetados pela implementação do TPM (Produtividade, Qualidade, Custo, Distribuição, Segurança e Moral).

RCM: *Reliability Centered Maintenance*, traduzido como Manutenção Centrada na Confiabilidade.

R&M: Reliability and Maintainability, traduzido como Confiabilidade e Manutenibilidade.

SAE: *Society of Automotive Engineers*, traduzido como Sociedade de Engenheiros Automotivos.

SHARP: *Safety and Health Assessment Review Process*, traduzido como Revisão do Processo de Avaliação de Saúde e Segurança. Um dos elementos constituintes do FPS.

ST: Séries Temporárias de dados estatísticos cronológicos.

TPM: *Total Productive Maintenance*, traduzido como Manutenção Produtiva Total.

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

1 INTRODUÇÃO

A crescente concorrência e a necessidade de constantes resultados positivos, acelerados pelo processo de globalização da economia, têm levado as empresas à, cada vez mais, buscarem modelos de gerenciamento baseados nos conceitos de eliminação de desperdícios, melhoria da qualidade, aumento da produtividade e redução de custos. Esta busca se torna ainda mais eficaz quando incorporada a uma adequada estratégia da empresa.

Da estratégia da empresa devem participar todos os departamentos e níveis hierárquicos, afinal todos devem compreender sua função e potencial dentro do conjunto de ações para execução da estratégia adotada (PORTER, 1990, prefácio).

Sem deixar de dar a devida importância à participação de todas as áreas, pode se afirmar que a Manufatura representa um importante papel na implementação da estratégia para a obtenção de vantagem competitiva em empresas industriais.

Como então possibilitar o envolvimento de todas as áreas no sentido de fortalecer as manufaturas das empresas, estabelecendo assim uma vantagem competitiva?

Uma das respostas para esta questão é a implementação da Manutenção Produtiva Total, um modelo de gestão do trabalho, dependente do envolvimento de toda a empresa e que possibilita melhorias significativas de produtividade e qualidade da Manufatura (PEREZ, 1997, p.1).

Ao longo desta Dissertação, o termo Manutenção Produtiva Total é representado pela sigla TPM (*Total Productive Maintenance*), dada a aderência desta sigla nos meios em que se aplica.

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Milhares de empresas iniciaram a implementação do TPM, mas somente algumas centenas tiveram sucesso nesta tarefa (MORA, 2000, p.1). Sendo assim, que fatores podem explicar esta falta de sucesso da grande maioria das empresas?

Diferentes culturas e prioridades, excesso de programas mal sucedidos, falta de envolvimento de toda a organização, falta de uma rotina de controle de resultados de eficiência, falta de conhecimento e de liderança podem ser apontadas como causas do insucesso na implementação do TPM nas empresas (WILLIAMSON, 2002, p.3-7).

A resistência às mudanças, característica inerente ao comportamento humano, também é um fator que dificulta ou até mesmo inviabiliza a implementação do TPM e que pode ser verificada em posicionamentos tais como: a Produção produz e a Manutenção mantém; TPM é mais uma carga de trabalho para a Produção; o

departamento de Manutenção perde sua importância com a implementação do TPM; pessoas pouco treinadas da Produção podem se acidentar ao inspecionarem ou repararem os equipamentos; se a disponibilidade dos equipamentos é boa então por que alterar o sistema de manutenção (NAKAJIMA, 1989, p.49).

À luz dessas dificuldades apontadas, se faz necessário demonstrar as melhorias na Manufatura obtidas com a implementação do TPM. Este trabalho apresenta então um caso real de implementação do TPM em uma empresa automobilística e os resultados obtidos com essa implementação.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar o efeito da implementação do TPM nos índices de Eficiência Global do Equipamento, Disponibilidade do Equipamento, Performance Operacional e Qualidade do Produto em um caso real de implementação em uma indústria automobilística.

Como objetivo secundário esse trabalho sugeriu ações para melhoria dos resultados dos índices estudados.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A unidade da Ford Motor Company do Brasil em Taubaté é constituída de 32 linhas de produção, denominadas Times Integrados de Manufatura, distribuídas entre as fábricas de componentes, de motores, de transmissão e de fundição de alumínio, todas elas aplicando a metodologia corporativa de implementação da Manutenção Produtiva Total Ford, representada pela sigla FTPM (*Ford Total Productive Maintenance*). Este estudo foi realizado em uma dessas 32 linhas de produção, baseando-se em dados referentes ao período de junho de 1999 a dezembro de 2003. Este período abrange também o período de implementação dos sete passos do FTPM no time estudado que se deu entre junho de 1999 e setembro de 2001.

A linha de produção estudada é constituída de uma única máquina de usinagem do tipo *Transfer*, com controle numérico e composta de 12 estações dispostas sobre uma mesma base e interligadas por um carregador aéreo automático de peças. Produz um único tipo de peça que deriva em dois modelos com poucas diferenças dimensionais.

Por questões estratégicas não foram divulgados neste trabalho o nome do time estudado e a natureza das peças por ele produzidas.

1.4 RELEVÂNCIA DO TEMA E DO TRABALHO

Pode-se considerar o TPM como um tema relevante para estudo devido a sua capacidade de criar um ambiente de melhoria contínua e permitir as empresas elevarem sua manufatura a uma classe mundial de competitividade (JIPM, 2002, p.1), além de sua compatibilidade com filosofias também muito importantes para a melhoria da Manufatura como por exemplo o Gerenciamento Total da Qualidade (TUBINO, 1999, p.26-29; SLACK, 1997, p.639 e MIRSHAWKA, 1991, p.102), e como o Sistema de Produção Toyota (NAKAJIMA, 1989, p.18-20; SHINGO, 1996, p.154 e GHINATO, 1995, p.11), compatibilidade essa devida aos seus objetivos de perda zero e envolvimento de toda a Organização das empresas.

Já a relevância deste trabalho está em poder oferecer à empresa estudada, uma análise crítica com base acadêmica dos resultados obtidos com a implementação do TPM, além de sugerir ações para melhoria desses resultados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 contempla a introdução e o objetivo da Dissertação, a descrição do problema, a delimitação do estudo, além da relevância do tema e do próprio trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica de conceitos inerentes ao TPM e dos conceitos sobre Séries Temporais utilizados para a análise dos resultados.

No Capítulo 3 estão descritos os conceitos do Sistema de Produção Ford, da Manutenção Produtiva Total Ford FTPM e dos indicadores afetados pela implementação do FTPM.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia de elaboração da presente Dissertação com enfoque na coleta e avaliação dos dados provenientes da implementação do FTPM.

No Capítulo 5 são descritos e discutidos os resultados obtidos com a implementação do FTPM.

Finalmente no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões sobre os resultados e sobre a metodologia utilizada pela Ford de Taubaté para a implementação do FTPM no time estudado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Por ser a Manutenção Produtiva Total, ou TPM do inglês *Total Productive Maintenance*, um modelo de gestão relacionado à melhoria da confiabilidade e produtividade de equipamentos, e por estarem estas características diretamente associadas às falhas dos equipamentos e à qualidade e tipo de manutenção que se lhes aplica, se faz necessária inicialmente para um melhor entendimento do TPM, a abordagem de conceitos sobre Falhas e sobre Manutenção.

2.1 FALHAS DE EQUIPAMENTOS

2.1.1 DEFINIÇÃO DE FALHA

A falha de um equipamento é a situação na qual este se torna incapaz, total ou parcialmente, de desempenhar uma ou mais funções para qual foi projetado e construído (XENOS, 1998, p.67 e SAE, 1993, p. G-1).

As interrupções da função do equipamento também podem ser definidas como mau funcionamento ou avarias e classificadas conforme mostrado a seguir (TAKAHASHI, 1993, p.56-57, 67-68; NAKAJIMA, 1989, p.36 e SHIROSE, 1992, p.39):

i) Avarias abruptas

- fatais : mais de três horas de duração
- de longa duração : mais de uma hora
- gerais: de cinco a dez minutos
- menores: menos de cinco minutos

ii) Avarias por deterioração: inicialmente não levam à parada, mas ao longo do tempo comprometem a função do equipamento.

- por deterioração funcional
- por deterioração da qualidade

A classificação de avarias por deterioração equivale ao conceito de falha potencial ou anomalia, no qual se considera que muitas das falhas não acontecem abruptamente. Pelo contrário elas se desenvolvem ao longo do tempo e apresentam dois períodos distintos: o período entre a condição normal até o primeiro sinal da falha e um segundo período que vai do surgimento do primeiro sinal até a perda total ou parcial da função do equipamento. Um exemplo desse conceito é o surgimento de uma trinca em um equipamento qualquer que inicialmente não afete seu funcionamento, mas que irá se propagar com o uso, levando a perda total ou parcial da função do referido equipamento (XENOS, 1998, p.77 e NAKASATO, 1994, p.30-36).

O entendimento dos conceitos de avarias abruptas ou por deterioração e do conceito de falha potencial ou anomalia é de grande importância no auxílio da definição das ações para detecção, correção e prevenção das avarias.

2.1.2 CAUSAS DAS FALHAS

As causas das falhas são diversas e podem se apresentar isolada ou simultaneamente. Essas causas podem ser agrupadas em três grandes categorias (XENOS, 1998, p.68; MIRSHAWKA, 1991, p.91 e NAKASATO, 1994, p.30-36):

- falta de resistência: proveniente de uma deficiência de projeto, especificação inadequada do material, deficiência na fabricação ou montagem;
- uso inadequado: exposição do equipamento a esforços e condições de uso acima da resistência especificada em projeto;
- manutenção inadequada: inadequação ou ausência de ações de manutenção para evitar a deterioração.

Com base nessas três categorias pode-se dizer que uma falha acontece porque o esforço aplicado ao equipamento ultrapassa sua resistência. Considerando que tanto o esforço como a resistência, são variáveis e que podem, portanto, ser representadas por uma distribuição estatística normal, observa-se por meio da Figura 2.1, que se não houver uma sobreposição das distribuições de esforço e resistência, a falha não irá acontecer (XENOS, 1998, p.68-69 e TAKAHASHI, 1993, p.191-192).

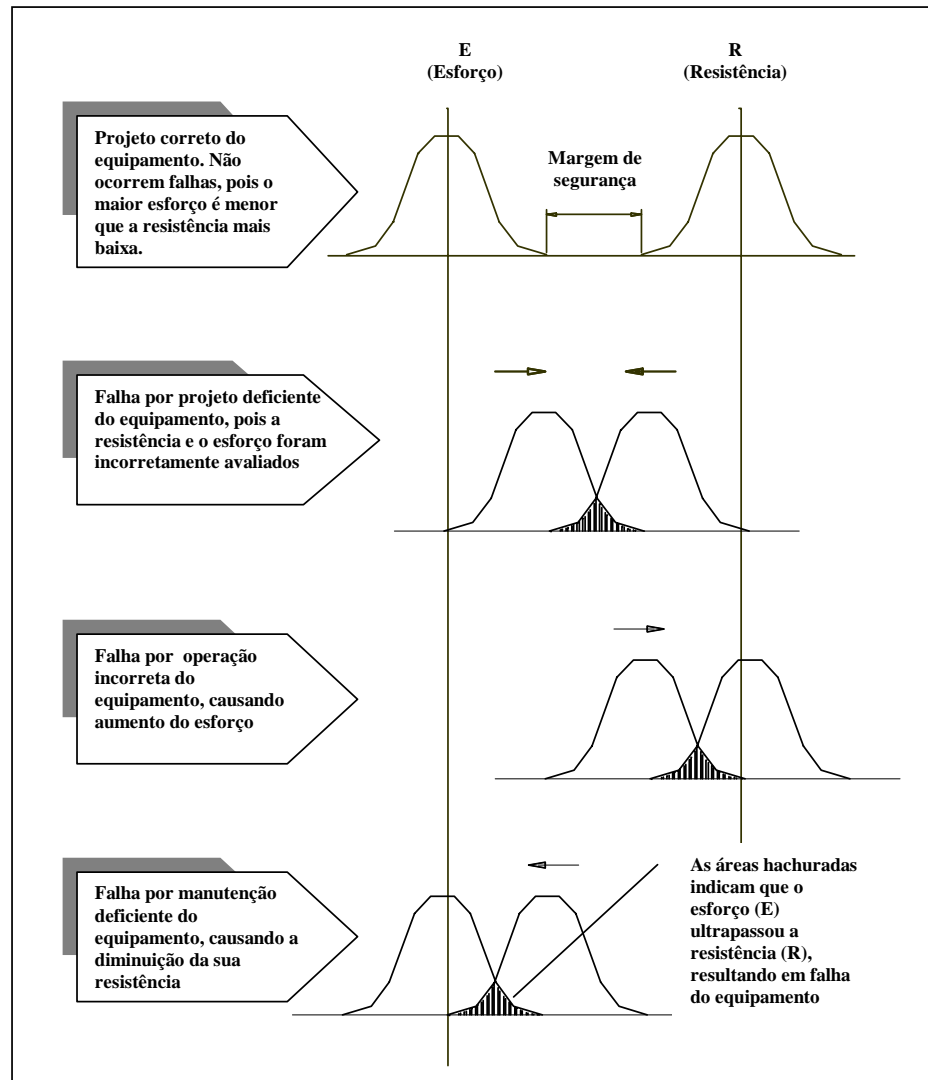
Resumindo, as falhas acontecem geralmente por fatores tais como: erros de fabricação, de montagem, de operação ou de manutenção, lubrificação ou refrigeração inadequada, sujeira, objetos estranhos, folgas, vazamentos, deformações, trincas, condições ambientais desfavoráveis, vibração, oscilação de pressão, de temperatura e de tensão, torque incorreto, oxidação, corrosão, obstrução de dutos e também por colisões, (XENOS, 1998, p.74-76, MIRSHAWKA, 1991, p.88,91; TAKAHASHI, 1993, p.56; SHIROSE, 1994, p.7 e SUZAKI, 1987, p.116).

2.1.3 MODELO DE OCORRÊNCIA DAS FALHAS

Pelos conceitos da Engenharia de Confiabilidade, as freqüências de ocorrência das falhas em um equipamento podem ser classificadas em decrescente, constante ou aleatória e crescente, e estão em geral associadas ao estágio do ciclo de vida do equipamento (NAKAJIMA, 1989, p.34-35; XENOS, 1998, p.70-72; SLACK, 1997, p.624; TAKAHASHI, 1993, p.225 e DIAS, 2002, p.3).

As falhas de freqüência decrescente são associadas ao início da vida do equipamento e normalmente são causadas por problemas de projeto, de fabricação e

de instalação ou erro na operação por falta de treinamento inicial. Esse período de vida do equipamento em que as falhas são decrescentes e prematuras é denominado período de mortalidade infantil ou vida inicial.



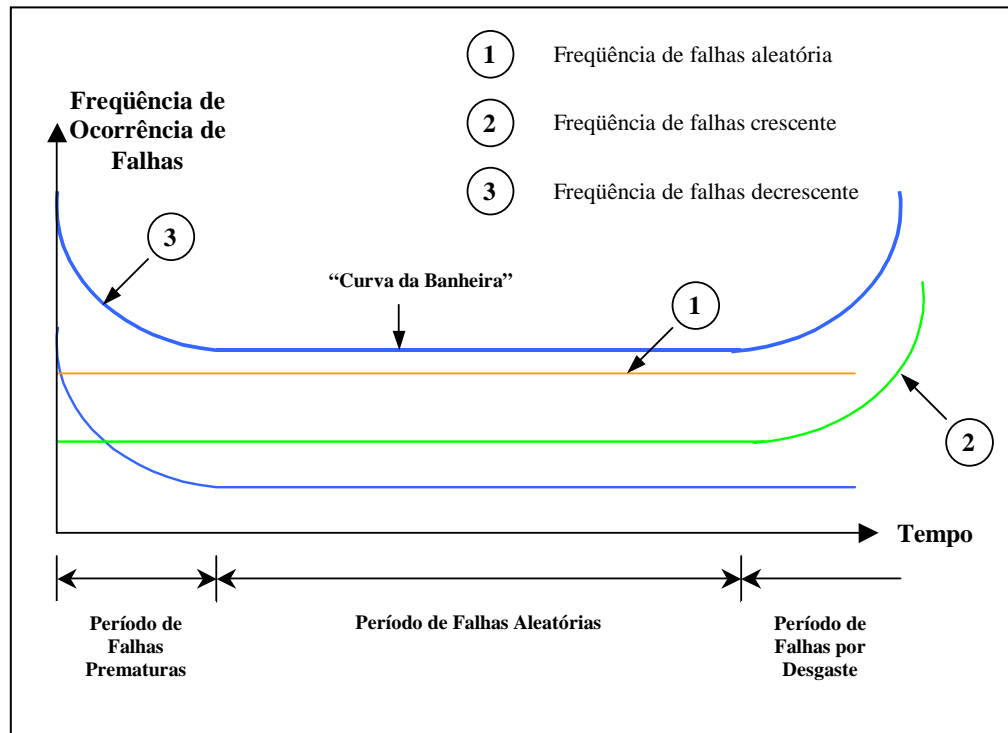
Fonte : adaptado de XENOS, 1998, p.69

Figura 2.1 – Relação entre esforço e resistência do equipamento

As falhas de frequência constante ou aleatória são associadas ao que se costuma denominar vida normal ou fase de estabilidade do equipamento. Em geral a frequência dessas falhas é menor quando comparada às falhas de frequência crescente ou decrescente e estão associadas à aplicação de esforços acidentais, erros de manutenção e operação e que não tendem a variar à medida que o equipamento envelhece.

As falhas de frequência crescente são associadas ao período de instabilidade inerente ao fim da vida útil do equipamento onde o mesmo entra em degeneração por fadiga e desgaste.

A Figura 2.2, costumeiramente denominada Curva da Banheira devido a sua forma, mostra a combinação dos três períodos de frequência das falhas.



Fonte: XENOS, 1998, p.71

Figura 2.2 – Combinação dos modelos de falha

2.1.4 ANÁLISE DAS FALHAS

Medidas como limpeza e inspeção dos equipamentos, conhecimento e obediência as condições de uso previstas em projeto, recuperação das degenerações, correções das deficiências provenientes do projeto ou fabricação e maior capacitação técnica dos usuários e mantenedores são ações básicas para a eliminação das falhas e não podem ser negligenciadas (NAKAJIMA, 1989, p.37 e NAKASATO, 1994, p. 3.36). Porém tão importante quanto as ações para eliminação das falhas ocorridas, é o estudo detalhado de suas causas e a utilização dos resultados desse estudo como uma ferramenta poderosa para evitar sua reocorrência.

O ato de reunir-se no local da falha para sua análise imediata é chamado pelos japoneses de Princípio dos Três *Gens* que significam ir ao local da ocorrência (*Genba*), observar o equipamento (*Genbutsu*) e o fenômeno (*Genjitsu*) (XENOS, 1998, p.99 e SUZAKI, 1993, p.6). Nessa reunião para análise da causa raiz da falha, devem estar presentes a Manutenção, Engenharia, Produção e quaisquer outras pessoas que possam contribuir para a análise.

Para facilitar e sistematizar a investigação da causa raiz da falha, pode-se adotar uma lista de verificação conforme mostrado na Figura 2.3.

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

Fonte: XENOS, 1998, p.102

Figura 2.3 – Exemplo de lista de aspectos para análise das causas das falhas

Outra maneira simples, rápida e eficaz de se avaliar com profundidade a causa de uma falha é o Método dos Cinco Porquês criado por Taiichi Ohno e que tem servido como base para a prática e evolução do Sistema de Produção Toyota. Nesse método após a ocorrência da falha, o pessoal de Manutenção em conjunto com Engenharia e com o usuário do equipamento, inicia uma série de questionamentos sobre o porque da falha ter ocorrido. Em geral até o quinto questionamento seqüencial efetuado pelo grupo, já se pode identificar a causa raiz da falha (OHNO, 1997, p.37; MIRSHAWKA,

1991, p.92; NAKASATO, 1994, p.9.33; XENOS, 1998, p.10 e SUZAKI, 1987, p.116). Um exemplo de aplicação do Método dos Cinco Por quês é mostrado na Figura 2.4.

Uma vez analisadas as causas das falhas, seja pelos métodos aqui apresentados ou por quaisquer outros tidos como mais adequados pelas empresas, para que realmente as falhas sejam erradicadas deve-se estabelecer um plano que contenha contramedidas para as causas das falhas, as justificativas para cada contramedida, os responsáveis e áreas, além da data prevista e os recursos necessários para a sua implementação. A essa metodologia dá-se o nome de Plano de Ação 5W1H onde o W e H provém dos termos em inglês *What, Why, Who, Where, When* e *How* cujas traduções são respectivamente O que, Por que, Quem, Onde, Quando e Como (XENOS, 1998, p.103-107).

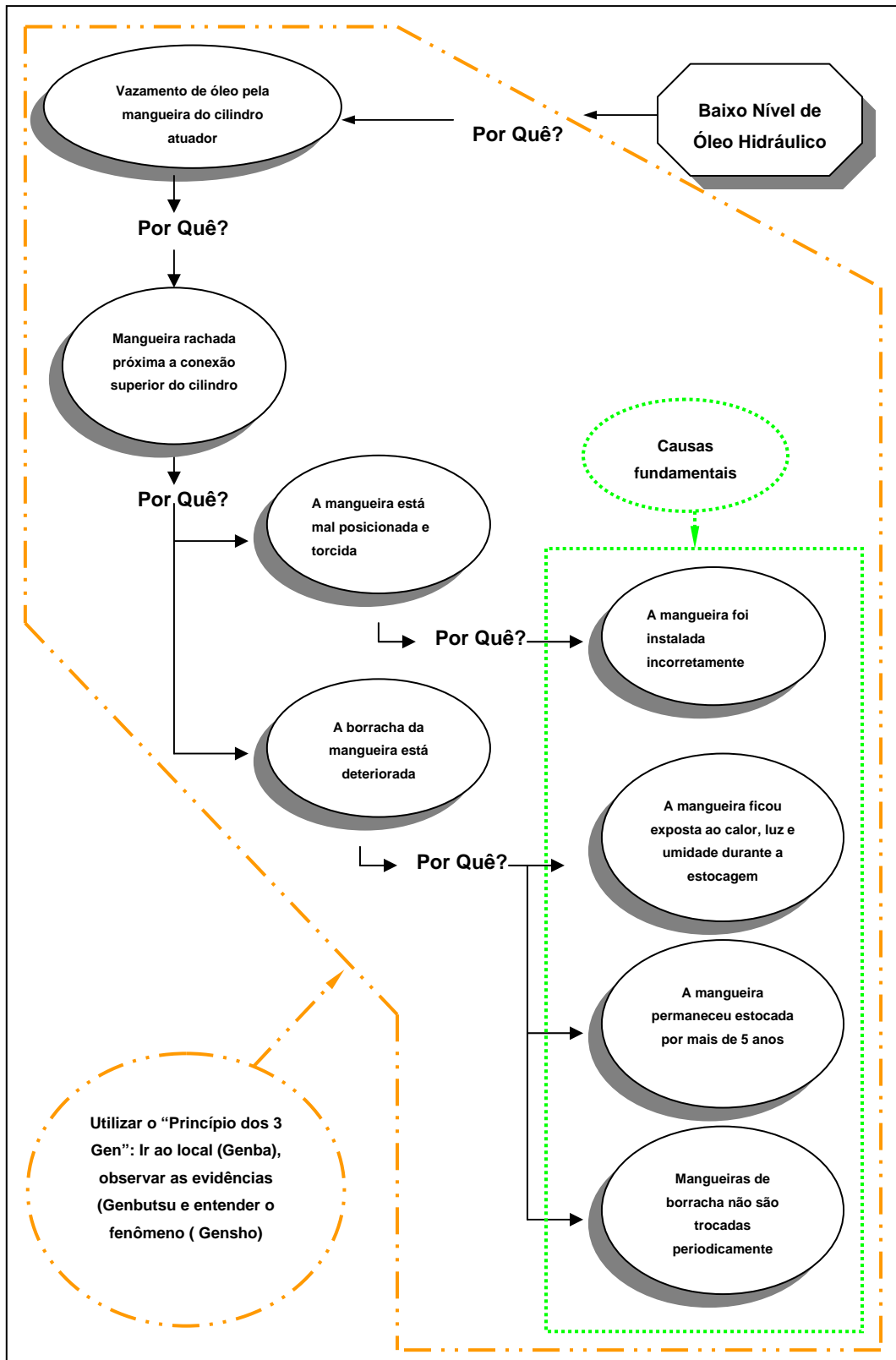
2.2 MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

2.2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

De mal necessário à uma parte integrante dos esforços estratégicos de produtividade das empresas. Da preocupação única com a disponibilidade do equipamento à priorização da efetividade do negócio por meio do gerenciamento dos custos e à priorização da integridade das pessoas e do meio ambiente. Do simples atendimento a Produção à peça fundamental na garantia do atendimento ao cliente por meio da melhoria da confiabilidade dos equipamentos e processos. Essas são algumas formas de como se via a Manutenção e em alguns casos ainda se vê, e como se deve vê-la nos dias de hoje.

O que levou e segue levando muitas empresas à tentarem mudar seus paradigmas e a visão simplista sobre o papel da Manutenção? Algumas causas podem ser facilmente apontadas (XENOS, 1998, p.13-15; MOUBRAY, 1997, p.5 e CONTADOR, 1998, p.397):

- maiores exigências de qualidade e produtividade ditadas pelo mercado e por novas filosofias de gerenciamento da Manufatura e da Qualidade;
- crescente desenvolvimento de novas tecnologias, da automação e de complexidade dos equipamentos;
- maior competitividade entre as empresas;
- maior rigor na elaboração e aplicação de regulamentações sobre segurança dos trabalhadores e do meio ambiente.



Fonte: XENOS, 1998, p.104

Figura 2.4 – Exemplo do método dos cinco porquês

Outra característica que ajuda a demonstrar a importância estratégica da Manutenção para as empresas e que pode influenciar na mudança de posicionamento em relação à Manutenção, está ligada ao montante que esse setor da atividade empresarial movimentou no Brasil e no mundo. Segundo a Associação Brasileira de Manutenção, a ABRAMAN, esse valor aproxima-se dos US\$ 35 bilhões por ano. Nos Estados Unidos, Japão e Alemanha os valores movimentados anualmente são respectivamente, US\$ 300, US\$175 e US\$ 130 bilhões. Essas cifras demonstram o potencial da Manutenção no que se refere à lucratividade das empresas (ARCURI, 2001, p. 2).

Outro dado que reforça a importância e o impacto da Manutenção nas finanças das empresas é mostrado na Tabela 2.1 que aponta a relação entre os custos de manutenção e o faturamento anual das empresas no Brasil.

A média desses valores no período de 1995 a 2001 representa US\$ 28 bilhões e equivale a 4,2% do Produto Interno Bruto (PIB) médio brasileiro do mesmo período (ABRAMAN, 2001, p.10).

Tabela 2.1 – Relação % entre custo de manutenção e faturamento das empresas no Brasil

Ano	Custo total de Manutenção / Faturamento Bruto
2001	4,47%
1999	3,56%
1997	4,39%
1995	4,26%

Fonte: ABRAMAN, 2001, p. 10

Mas se a mudança de atitude com relação à Manutenção parece ser tão lógica, lucrativa e necessária, por que diversas empresas ainda não conseguiram efetuar essa mudança?

Aspectos como recursos materiais e humanos escassos ou inadequados, deficiência ou ausência de uma cultura para análise e prevenção das constantes falhas dos equipamentos, procedimentos deficientes para registro e gerenciamento das atividades de manutenção, além da falta de padrões técnicos e de conduta, acabam contribuindo para que a Manutenção não tenha o reconhecimento de sua importância e um lugar de destaque na estratégia das empresas.

Somente o reconhecimento dessas causas e o empenho das lideranças em suprimi-las, irão permitir a mudança dos paradigmas e da situação em que se encontram as manutenções de muitas das empresas no Brasil (XENOS, 1998, p.13-15; MOUBRAY, 1997, p.5 e CONTADOR, 1998, p.397).

2.2.2 DEFINIÇÃO DO TERMO MANUTENÇÃO

Algumas definições podem ser apresentadas para o termo manutenção:

- “Ato ou efeito de manter” (MICHAELIS, 2003).
- “Os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas” (AURÉLIO, 2003).
- “Combinação de 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” (NBR 5462, 1994).
- “Forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando de suas instalações físicas” (SLACK, 1997, p.635).
- “Fazer tudo que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, em um nível de desempenho exigido” (XENOS, 1998, p.18).
- “Um conjunto de atividades com o objetivo de suprimir defeitos de qualidade produzidos pelas avarias e eliminar a necessidade de ajustes dos equipamentos” (SHIROSE, 1994, p.13).

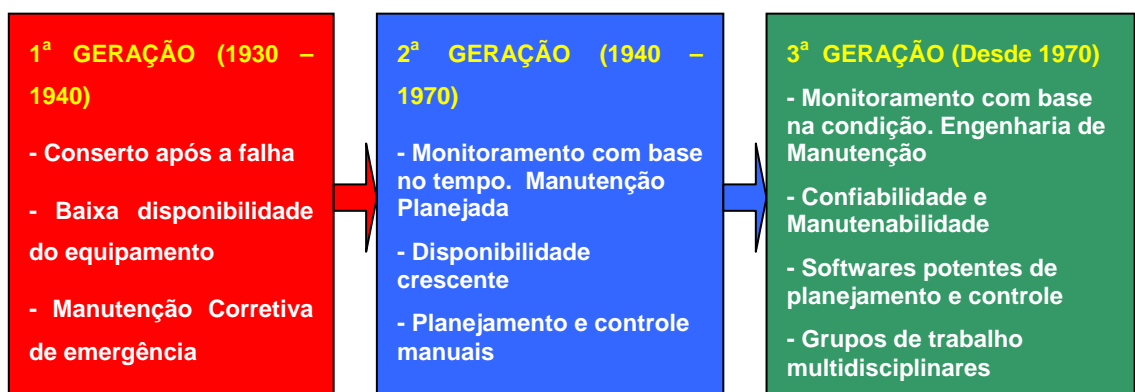
Com base nas definições apresentadas pode-se dizer então que Manutenção é o ato de estabelecer e gerenciar de forma contínua e sistemática as ações para eliminação de falhas já ocorridas e potenciais dos equipamentos, assegurando durante toda sua vida útil, as características especificadas em projeto, além de garantir a saúde e segurança de seus usuários e a preservação do meio ambiente.

2.2.3 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A necessidade de consertar ou reformar coisas sempre existiu, portanto é difícil definir de forma precisa quando surgiu de fato a atividade de manutenção. Sabe-se que historicamente na Europa em torno do século XVI, a fabricação dos primeiros relógios mecânicos fez surgir também os primeiros técnicos de montagem e reparação. A Revolução Industrial e a Primeira Grande Guerra deram espaço a expansão das tarefas de manutenção emergenciais. Na Segunda Grande Guerra conceitos de disponibilidade e produtividade já eram mais explorados e levaram ao que chamamos de manutenção preventiva e posteriormente aos modernos tipos de manutenção que veremos no item 2.2.4 da presente Dissertação (GERAGHETY, 2000, p.2 e BIBVIRT, 2000, p.2).

A evolução da Manutenção em um contexto mundial pode ser representada por três gerações descritas a seguir (SIEVULI, 2001, p.8) e resumidas na Figura 2.5:

- 1ª geração (1930 a 1940): caracterizada pelo conserto após a falha ou manutenção emergencial;
- 2ª geração (1940 a 1970): caracterizada pela disponibilidade crescente e maior vida útil dos equipamentos, pelas intervenções preventivas baseadas no tempo de uso após a última intervenção, pelo custo elevado de manutenção quando comparado aos benefícios, pelos sistemas manuais de planejamento e registro das tarefas e ocorrências de manutenção e posteriormente pelo início do uso de computadores grandes e lentos para execução dessas tarefas;
- 3ª geração (Desde 1970): caracterizada pelo aumento significativo da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, pela melhoria na relação entre o custo e o benefício da manutenção, pelas intervenções nos equipamentos baseadas na análise da condição e no risco da falha, pela melhor qualidade dos produtos, pelo controle dos riscos para a segurança e saúde do trabalhador, pela preocupação com o meio ambiente, por computadores portáteis e rápidos com potentes softwares para intervenções e gerenciamento da manutenção, além do surgimento dos grupos de trabalho multidisciplinares.



Fonte: o autor

Figura 2.5 – As três gerações de evolução da Manutenção

2.2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Quanto a centralização a Manutenção pode ser classificada em centralizada, descentralizada e mista (ANTUNES, 2001, p.1 e CAMARA, p.5.4).

Na manutenção centralizada todos os recursos materiais e humanos são locados em um único ponto e de lá são direcionados para o atendimento de todas as demais áreas da empresa.

Uma manutenção centralizada apresenta maior eficiência global que a descentralizada devido a maior flexibilidade no direcionamento e uso otimizado da mão de obra ao longo de toda a empresa, o que permite uma estrutura mais enxuta

além da otimização também dos estoques de peças de reposição, de ferramentas e instrumentos.

Por outro lado, a centralização dificulta o acompanhamento das tarefas, dada a necessidade de deslocamento dos supervisores até as várias frentes de trabalho. O treinamento e especialização também são dificultados devido a uma maior quantidade de equipamentos sob responsabilidade da equipe de manutenção. Maiores distâncias entre as áreas atendidas e o setor de manutenção também acarretam maiores custos e riscos, principalmente no que se refere ao transporte de materiais.

Na descentralização, divide-se a fábrica em diversas áreas, tendo cada uma o seu setor de manutenção. Esse conceito é aplicado principalmente em áreas onde as tarefas de manutenção apresentam baixa complexidade e não demandam grande especialização de seus executantes.

As vantagens e desvantagens da estrutura descentralizadas são aquelas consideradas respectivamente como desvantagens e vantagens na centralização, ou seja, o que se entende como vantagem em uma estrutura se apresenta como desvantagem na outra.

Vale ressaltar que na estrutura descentralizada a principal vantagem é a maior integração entre os departamentos de Produção e Manutenção, o que facilita a implementação dos conceitos de Manutenção Produtiva Total, principalmente no que se refere à Manutenção Autônoma, detalhada no item 2.2.8 do presente Capítulo.

Uma condição intermediária entre a centralização e a descentralização é o que se costuma chamar de estrutura mista e que em geral se adota principalmente nas empresas com amplas instalações e diversos setores de produção.

Uma tendência de crescimento da utilização das formas descentralizada e mista de manutenção no Brasil pode ser observada na Tabela 2.2. Um total de 57,2% das empresas brasileiras em 1995, utilizava uma estrutura de manutenção mista ou descentralizada. Em 1999 esse número subiu para 59,5% e para 63,4% em 2001. Esse fato pode estar relacionado à adoção cada vez mais intensa de técnicas de gestão participativa da Qualidade e da Manufatura.

Tabela 2.2 – Formas de atuação da Manutenção das empresas no Brasil

FORMA DE ATUAÇÃO	%			
	1995	1997	1999	2001
Centralizada	46,20	42,50	40,52	36,62
Descentralizada	13,70	15,83	21,55	21,13
Mista	33,50	41,67	37,93	42,25

Fonte: ABRAMAN, 2001, p.3

Quanto as políticas de aplicação, a Manutenção pode ser dividida em Não Planejada e Planejada (BIBVIRT, 2000, p.1.3).

A política de Manutenção Não Planejada consiste em permitir que o equipamento trabalhe até a quebra e a conseqüente paralisação para então efetuar o reparo, atuando portanto de forma totalmente reativa e ocupando para o reparo um tempo não programado no qual deveria estar produzindo (ALMEIDA, 1999, p.2 e CONTADOR,1998, p.405). A essa forma de ação também se denomina manutenção corretiva emergencial, manutenção de crise ou manutenção por avaria (Antunes, 2001, p.8 e TAKAHASHI, 1993, p.177).

A aplicação da política de Manutenção Não Planejada geralmente ocorre quando a opção de deixar quebrar ainda é mais econômica que a prevenção (XENOS, 1998, p.23) ou quando a prevenção da falha não se mostrou eficaz. Também são freqüentemente passíveis de manutenção corretiva emergencial os equipamentos que trabalham em ambientes contaminados e agressivos e que apresentam variações bruscas no processo de deterioração, dificultando assim a aplicação da política de manutenção preventiva baseada no tempo de uso ou no número de ciclos (TAKAHASHI, 1993, p.17).

Sob o título de Manutenção Planejada estão as políticas chamadas de Preventiva, Preditiva, Corretiva Preventiva ou Manutenção de Melhoria, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Prevenção da Manutenção, Manutenção Detectiva e a Terotecnologia, além da Manutenção Produtiva Total.

2.2.4.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A Manutenção Preventiva juntamente com a Corretiva Emergencial representam a parte mais significativa do percentual das atividades de manutenção das empresas no Brasil (CAMARA, 2001, p. 3.8).

Considerada o coração da manutenção, a Preventiva se caracteriza por atividades periódicas como limpeza, lubrificação, inspeções simples, recuperação ou troca de componentes, executadas de forma programada antes da quebra do equipamento (XENOS, 1998, p.24; SLACK, 1997, p. 636 e BIBVIRT, 2000, p.1.3).

Na política preventiva as trocas de componentes com prazo fixo, ou seja, baseadas no tempo de uso ou número de ciclos do equipamento, acontecem quando a inspeção é dificultosa ou mais onerosa (TAKAHASHI, 1993, p.176). Mesmo sendo bastante praticada, a troca de um componente baseada no tempo também pode acarretar desperdícios pela substituição prematura, caso a freqüência de troca não

coincida com o fim de vida do componente, o que não é raro de acontecer (CONTADOR, 1998, p. 405).

Para se definir o momento da troca de um componente com base na política preventiva, pode-se utilizar o histórico do equipamento ou de similares, a experiência da equipe ou orientações do fabricante que vão assegurar inclusive o direito à garantia do equipamento (ANTUNES, 2001, p.2)

De uma forma mais técnica, esse período de troca pode ser definido pelo tempo médio entre falhas do componente (ALMEIDA, 1999, p.3), representado usualmente pela sigla MTBF (*Mean Time Between Failures*). Definir esse tempo de troca, mesmo que de maneira mais técnica é como um jogo de probabilidades, onde de certa forma se aposta na previsão da vida útil do componente (GERAGTHEY, 2000, p.1).

2.2.4.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A avaliação dos sinais vitais do equipamento antes de uma intervenção, é o conceito básico da política de manutenção preditiva (GERAGTHEY, 2000, p.1).

Diferentemente da Preventiva que se baseia no tempo de vida estimado do componente, a Preditiva baseia-se na análise de suas condições, permitindo a operação ininterrupta do equipamento durante o maior tempo possível, antes de uma intervenção corretiva planejada (CAMARA, 2001, p.3.4), além de otimizar os custos relativos a uma troca prematura caracterizada pela Preventiva.

A Preditiva, evitando o que se pode chamar de tendência a uma super manutenção, também auxilia na redução do volume de trabalho da Preventiva e na melhoria da qualidade do produto (TAKAHASHI, 1993, p.196-199), como por exemplo, a melhoria na rugosidade superficial.

Técnicas de inspeção mais sofisticadas que as utilizadas na Preventiva, caracterizam a política de manutenção preditiva.

Problemas como desgastes e contaminações, podem ser detectados por meio de uma análise físico-química dos lubrificantes em uso no equipamento, análise essa que leva o nome de Ferrografia. Atritos excessivos, falhas de isolamento e mau contato podem ser detectados pela Termografia, que analisa o espectro de temperatura das partes do equipamento. Alterações de densidade e de espessura podem ser detectadas por ultra-sonografia. Outras técnicas como a fluorescência para detecção de trincas, a análise de vibração e o alinhamento a laser completam o arsenal da Manutenção Preditiva (ANTUNES, 2001, p.2 e MIRSHAWKA, 1991, p.161-168).

2.2.4.3 MANUTENÇÃO DE MELHORIA

A política de Manutenção de Melhoria, também conhecida por Manutenção Corretiva Preventiva, consiste no reparo programado das avarias detectadas durante as inspeções preventivas ou preditivas. Também estão dentro dessa política os reparos que visam tornar o equipamento mais confiável e mais fácil para inspecionar e reparar. Ações como melhoria dos sistemas de lubrificação, melhoria de proteções, eliminação de fontes de contaminação, redução do risco de acidentes e melhorias na forma, tipo e acesso aos componentes, caracterizam essa política de manutenção (TAKAHASHI, 1993, p.177 e SHIROSE, 1994, p.15).

Ações de melhoria aplicadas de forma gradativa e contínua constituem - se no Kaizen de manutenção, um termo de origem japonesa que representa a idéia de aplicação de melhorias (XENOS, 1998, p.25).

2.2.4.4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada na Confiabilidade, política representada pela sigla RCM (*Reliability Centered Maintenance*) foi desenvolvida por Stan Nowlan e Howard Heap, ambos da United Airlines em 1978, a partir da necessidade de aumento da confiabilidade das aeronaves civis americanas (NETHERTON, 2001, p.1 e GERAGHETY, 2000, p.2).

Com o RCM busca-se fazer com que o equipamento cumpra, de modo confiável, as funções e o desempenho previstos em projeto, por meio da combinação e otimização do uso de todas as políticas de manutenção disponíveis. Para se atingir esse objetivo a política do RCM considera necessário que as equipes ligadas a operação e manutenção dos equipamentos devem responder claramente as seguintes questões:

- quais são as funções e níveis de desempenho previstos no projeto do equipamento e de seus subsistemas?
- por que e como podem ocorrer falhas nessas funções?
- quais as conseqüências da falha?
- é possível prever ou prevenir a falha? Caso não, que outra política de manutenção pode ser utilizada para impedir a ocorrência da falha?

Dentro ainda da política de confiabilidade, outro conceito bastante difundido e útil para a garantia da eficiência dos equipamentos é o conceito de confiabilidade e manutenibilidade (SAE, 1993, p. 1.1), representado pela sigla R&M (*Reliability and Maintainability*).

Por confiabilidade entende-se a probabilidade de um equipamento operar continuamente sem falhas por um período definido de tempo ou número de ciclos, dentro das condições de desempenho especificadas em projeto (SAE, 1993, p.1.1 e EMS, 1994, p.14).

A confiabilidade dos equipamentos pode ser expressa por (SAE, 1993, p3.1):

- MTBF (*Mean Time Between Failures*) que representa o tempo médio de operação entre uma falha e outra do equipamento ou MCBF (*Mean Cycles Between Failures*) que representa o número médio de ciclos entre uma falha e outra;
- MTTF (*Mean Time to Failure*) ou MCTF (*Mean Cycles to Failure*) que representam respectivamente o tempo médio ou número médio de ciclos até a ocorrência da falha, aplicável a itens não reparáveis, ou seja que demandam substituição completa após a falha.

Esses valores são obtidos dividindo-se a somatória dos tempos de operação ou o número de ciclos sem falhas pela quantidade de falhas ocorridas no período analisado.

Por manutenibilidade entende-se a probabilidade de um reparo em um equipamento ser executado dentro do tempo e dos procedimentos previamente determinados e está ligado às condições de acesso ao equipamento, à habilidade para diagnóstico da falha além dos recursos materiais e humanos disponíveis e adequados para a realização do reparo (SAE, 1993, p A.1; EMS, 1994, p.15).

Pode se expressar a manutenibilidade de um equipamento por meio do termo MTTR (*Mean Time to Repair* ou *Mean Time to Replace*) que representa o tempo médio para reparo ou substituição de um componente em falha. Obtém se esse valor dividindo-se a somatória dos tempos dispendidos com reparos ou substituições pelo numero de vezes que se efetuou essas tarefas.

A associação dos índices de confiabilidade e manutenibilidade permite definir a disponibilidade (D) dos equipamentos em termos percentuais (EMS, 1994, p.13), conforme mostrado na Equação 2.1.

$$D\% = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde:

D% = disponibilidade percentual do equipamento

MTBF = tempo médio entre falhas

MTTR = tempo médio para reparo

O mesmo conceito é aplicável quando se utiliza o tempo médio entre ciclos ou tempo médio para substituição.

2.2.4.5 PREVENÇÃO DA MANUTENÇÃO

Também definida como Engenharia de Manutenção, a política de Prevenção da Manutenção tem como princípio melhorar a confiabilidade e a manutenibilidade dos equipamentos quando ainda estiverem na prancheta ou de forma mais moderna, quando ainda estiverem no computador, por meio da identificação e modificação das causas básicas de situações crônicas de mau desempenho (XENOS, 1998, p.26 e CAMARA, 2001, p.3.6).

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 do ciclo de vida é praticamente imutável após o término do projeto, pelo fato de que 90% a 95% do equipamento são imutáveis após sua construção (NAKAJIMA, 1989, p.80-81).

O conceito do custo do ciclo de vida dos equipamentos surgiu com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América em 1966 (NAKAJIMA, 1989, p.20) e engloba os seguintes custos (SAE, 1993, p. C1-C7):

- custos de aquisição: preço de compra do equipamento pago ao fornecedor, custos internos de administração e engenharia, transporte e taxas, custos de instalação e custos de treinamento em operação e manutenção;
- custos de operação: custos de mão de obra direta para operação, consumo de energia elétrica, ar, água, vapor, gás e outras fontes de energia, custos de materiais consumíveis como lubrificantes, refrigerantes e filtros, coleta e descartes de resíduos, custos das perdas de produção por falha do equipamento ou baixo desempenho, além dos custos de manutenção dos estoques de peças consumíveis e de reposição;
- custos de manutenção planejada e não planejada: custos fixos e variáveis de mão de obra de manutenção, custos com peças de reposição realmente utilizadas;
- custos de conversão e descarte: custos associados a conversão ou Adaptado de do equipamento a um novo produto; custos com descarte de peças de reposição e do próprio equipamento incluindo-se a limpeza e em alguns casos a descontaminação da área de utilização após o descarte.

Para que seja apontado corretamente o custo do ciclo de vida do equipamento, é fundamental a parceria e a retroalimentação de informações entre fabricantes e usuários. Essa parceria permite também identificar em equipamentos iguais ou similares as oportunidades de melhoria da confiabilidade e da manutenibilidade, à serem implementadas ainda na fase de projeto de novos equipamentos (SAE, 1993, p.2; NAKAJIMA, 1989, p.80 e XENOS, 1998, p.26).

2.2.4.6 MANUTENÇÃO DETECTIVA

Manutenção Detectiva é a política aplicada em equipamentos nos quais as políticas de Corretiva Emergencial, Preventiva e Preditiva não são totalmente adequadas. Em geral são equipamentos de proteção cuja falha só poderá ser identificada no momento do uso, comprometendo de maneira significativa a sua função. Exemplos desse tipo de equipamento são os sistemas de alarme e combate a incêndios e iluminação de emergência (GERAGHETY, 2000, p1-2).

Para se detectar as falhas ocultas desses equipamentos, são empregados dispositivos como lâmpadas de sinalização e alarmes de painel.

Com o advento dos computadores e crescente automação dos processos de fabricação, uma infinidade de arquiteturas de controle, podem ser empregadas para a implementação dos dispositivos de detecção (CAMARA, 2001, p.3.5), fortalecendo assim a política detectiva de manutenção.

2.2.4.7 TEROTECNOLOGIA

O conceito da Terotecnologia criado pelos ingleses em 1970 equivale a administração dos bens físicos com base no seu custo do ciclo de vida, abordando aspectos inerentes a atividade social, econômico-financeira, tecnológica, de operação e de manutenção (NAKAJIMA, 1989, p.19-21 e CAMARA, 2001, p. 2.2).

2.2.5 MELHOR POLÍTICA DE MANUTENÇÃO

Com base nas políticas de manutenção planejadas ou não planejadas mostradas no item anterior, qual política pode ser considerada a mais adequada para as empresas?

A melhor resposta para essa questão pode ser a combinação dessas políticas, de maneira a garantir uma melhor eficiência dos equipamentos, analisando-se sempre a relação entre o custo da manutenção e o custo total de uma falha (XENOS, 1998, p.26). Políticas como a Manutenção Preditiva, podem aparentar um custo elevado principalmente no que se refere à aquisição de equipamentos, ao treinamento ou à contratação de consultoria para implementação, mas que evitam custos elevados de parada e danos principalmente em equipamentos grandes e de processos contínuos.

Na análise dos custos da Manutenção, deve-se considerar não somente os custos relacionados aos materiais, mão de obra e de serviços subcontratados, mas também os custos inerentes às perdas direta de produção.

Outros custos geralmente pouco considerados nessa análise são:

- baixa na moral e no ritmo das equipes de produção e de manutenção face às freqüentes paralisações;
- dano à imagem junto aos clientes pelo não cumprimento dos prazos, levando a perda de oportunidade de novos negócios;
- estoques de produtos acabados por falta de confiabilidade e eficiência dos meios de produção.

Cabe aos gestores das empresas e em especial aos ligados à Manufatura, identificarem corretamente a relação entre o custo e o benefício com base no exposto acima e liderarem a implementação das políticas de manutenção que julgarem mais adequadas para cada empresa em particular.

Outra política de manutenção ainda não abordada nesse capítulo refere-se a Manutenção Produtiva Total, que tem como objetivo a melhoria da eficiência global dos equipamentos, agregando todos os conceitos das políticas citadas anteriormente, indo entretanto um pouco além da forma e dos aspectos técnicos de aplicação das políticas de manutenção. A Manutenção Produtiva Total altera o comportamento organizacional, gerando uma cultura diferenciada de tratamento dos problemas tanto de manutenção como os demais ligados diretamente ao processo produtivo (MARTINS, 1999, p. 352).

A política de Manutenção Produtiva Total, detalhada a seguir, pode ser apresentada como a resposta mais adequada à necessidade de mudança dos paradigmas e da visão atual sobre a manutenção nas empresas (NAKAJIMA, 1989, p.1; SHIROSE, 1994, p.xiii; ANTUNES, 2001, p.6; PALMEIRA, 2002, p.12 e ROBERTS, 1997, p.1).

2.3 A MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

2.3.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

Várias definições podem ser encontradas na literatura, para a política de Manutenção Produtiva Total, conhecida nos meios onde se aplica pela sigla TPM (*Total Productive Maintenance*). Entre elas, tem-se que TPM é:

Esforço elevado na implementação de uma cultura corporativa que busca 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 todo o ciclo de vida dos equipamentos, cobrindo todos os departamentos da empresa incluindo Produção, Desenvolvimento, Marketing e Administração, requerendo o completo envolvimento desde a alta administração até

a frente de operação com as atividades de pequenos grupos. (JIPM, 2002, p.1)

“Falha zero ou quebra zero das máquinas ao lado do zero defeito nos produtos e perda zero no processo” (NAKAJIMA, 1989, prefácio).

“Campanha que abrange a empresa inteira, com a participação de todo o corpo de empregados, para conseguir a utilização máxima dos equipamentos, utilizando a filosofia do gerenciamento orientado para o equipamento” (TAKAHASHI, 1993, p.7).

“Processo de maximização da performance dos equipamentos, disponibilidade e qualidade, com o total envolvimento dos operadores de produção, técnicos, engenheiros, supervisores e gerentes” (PEREZ, 1997, p.315).

Com base nas definições acima, pode-se dizer que TPM não é apenas uma política de manutenção, mas sim uma filosofia de trabalho, com extrema dependência do envolvimento de todos os níveis da organização, capaz de gerar um senso de propriedade sobre os equipamentos, sobre o processo e sobre o produto. O conceito de perda zero, que leva a obtenção de resultados imediatos, acaba servindo também como fator motivacional para a continuidade e aceleração da implementação.

Três características importantes podem ser observadas no TPM (NAKAJIMA, 1989, p.12-13 e XENOS, 1998, p.28):

- busca da economicidade, ou seja, tornar a manutenção uma atividade geradora de ganhos financeiros para a empresa. Essa característica está presente em todas as políticas de manutenção baseadas nos conceitos de prevenção de falhas e na melhoria da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos;
- integração e otimização de todas as políticas de manutenção disponíveis, de maneira a promover a melhoria da eficiência global dos equipamentos;
- participação voluntária de operadores de produção nas atividades de manutenção, levados pelo conceito de gerenciamento dos resultados e de atividades de pequenos grupos.

A valorização dos operários que participam da implementação do TPM pode ser percebida na satisfação ao verem seus rostos estampados nos quadros de atividades das áreas, ao lado de mensagens de agradecimento e reconhecimento e ao lado de gráficos que mostram os resultados de seus esforços e participação (MORA, 2000, p.2 e WIREMAN, 2000, p.6).

Considerando que as falhas podem ser relacionadas ao comportamento organizacional da empresa, torna-se importante o entendimento de todos os envolvidos com os equipamentos de forma direta ou indireta além das áreas de suporte, no que refere aos papéis, responsabilidades e formas de se ajudarem

mutuamente na eliminação das falhas. Nesse aspecto o TPM apresenta uma característica marcante de interação entre os departamentos e níveis organizacionais das empresas (SUZAKI, 1987, p.122).

Dentro da filosofia do TPM é preciso perceber o conceito da melhoria contínua representado pela busca do constante crescimento da eficiência global dos equipamentos. A percepção e interiorização desse conceito de melhoria contínua, leva os envolvidos com TPM a auto-avaliação de suas condutas, gerando a já mencionada mudança cultural nas empresas (BECK, 1999, p1-2).

2.3.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

Com o final da Segunda Guerra mundial, as empresas japonesas obrigadas pela necessidade urgente e por metas governamentais agressivas de reconstrução do país, tornaram-se fiéis seguidoras das técnicas americanas de gestão e de produção. A partir de 1950 deixaram de utilizar somente a política de Manutenção Corretiva de Emergência e deram início a implementação dos conceitos de Manutenção Preventiva baseada no tempo, aos quais se agregaram posteriormente os conceitos de Manutenção do Sistema de Produção, de Manutenção Corretiva de Melhorias, de Prevenção da Manutenção e de Manutenção Produtiva que buscavam a maximização da capacidade produtiva dos equipamentos (NAKAJIMA, 1989, p.10, NAKASATO, 1994, p.1.2 e PALMEIRA, 2002, p.81-88).

Até 1970, a aplicação desses conceitos era basicamente uma atribuição do departamento de Manutenção e não vinha atendendo de maneira efetiva aos objetivos de zero quebra e zero defeito da indústria japonesa (SHIROSE, 1989, p.16).

Em 1971, o envolvimento de todos os níveis da organização, o apoio da alta gerência e as atividades de pequenos grupos de operadores originaram a Manutenção Produtiva Total, mais conhecida como TPM (*Total Productive Maintenance*), aplicada pela primeira vez pela empresa Nippondenso, um dos principais fornecedores japoneses de componentes elétricos para a *Toyota Car Company*, sob a liderança do Instituto Japonês de Engenharia de Planta (*JIPE - Japanese Institute of Plant Engineering*) na figura de Seiichi Nakajima. O JIPE foi o precursor do Instituto Japonês de Manutenção de Plantas (*JIPM - Japanese Institute of Plant Maintenance*), o órgão máximo de disseminação do TPM no mundo (PALMEIRA, 2002,p.86 e KENEDY, p. 4). A Figura 2.6 resume a evolução da manutenção preventiva no Japão.

Somente em meados dos anos 80, surgiram os primeiros livros e artigos sobre TPM, escritos por Seiichi Nakajima e por outros autores japoneses e americanos. O

primeiro congresso mundial de TPM aconteceu nos Estados Unidos em 1990 (ROBERTS, 1997, p.2).

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	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prevenção da Manutenção (PdM – a partir de 1960) ▪ Engenharia de Confiabilidade (a partir de 1962) ▪ Engenharia Econômica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incorporação de conceitos das ciências comportamentais ▪ Desenvolvimento da Engenharia de Sistemas ▪ Logística e Terotecnologia
Fatos em destaque	<p>1951: Introdução da sistemática de Manutenção Preventiva (MP) nos moldes americanos pela Towa Fuel Industries</p> <p>1953: Criação de um comitê para Estudo da MP, integrado por 20 empresas que abraçaram o programa, dando origem ao embrião do JIPM</p> <p>1954: Visita de George Smith ao Japão para disseminação dos conceitos de PM</p>	<p>1960: I Simpósio Japonês de Manutenção</p> <p>1962: Visita aos Estados Unidos da 1ª Delegação Japonesa para Estudo da Manutenção de Instalações promovido pela JMA (<i>Japan Management Association</i>)</p> <p>1963: Simpósio Internacional de Manutenção em Londres</p> <p>1964: Início do Prêmio PM, de excelência em manutenção</p> <p>1968: Simpósio Internacional de manutenção em New York</p> <p>1969: Criação do JIPE (<i>Japan Institute of Plant Engineering</i>)</p>	<p>1970: Simpósio Internacional de Manutenção de Tokyo promovido em conjunto pelo JIPE e JMA, além do Simpósio Internacional de Manutenção na Alemanha Ocidental</p> <p>1971: Simpósio Internacional de Manutenção em Los Angeles</p> <p>1973: Simpósio de Manutenção e Reparo em Tokyo, além do Simpósio Internacional de Terotecnologia em Bruxelas</p> <p>1974: Simpósio Internacional de Manutenção em Paris</p> <p>1976: Simpósio Internacional de Manutenção na Iugoslávia</p> <p>1981: Fundação do JIPM (<i>Japanese Institute of Plant Maintenance</i>)</p>

Fonte: NAKAJIMA, 1989, p.11

Figura 2.6 – Evolução da Manutenção no Japão

A partir também dos anos 80, os pequenos grupos de operadores puderam incorporar às suas atividades de TPM, as técnicas de manutenção preditiva que marcavam o início da era da manutenção baseada não mais no tempo de uso do equipamento, mas sim na sua condição.

Desde seu nascimento em 1971 o TPM segue uma evolução constante que pode ser dividida em quatro gerações (PALMEIRA, 2002. p.88-91 e JIPM, 2002, p.2).

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 maximização da eficiência passa a ser buscada então por meio da eliminação de dezesseis grandes perdas divididas em:

- Oito perdas ligadas aos equipamentos: por quebra ou falha, por instalação e ajustes, por mudanças de dispositivos de controle e ferramentas, por início de produção, por pequenas paradas e inatividade, por velocidade reduzida, por defeitos e retrabalhos e perda por tempo ocioso;
- Cinco perdas ligadas às pessoas: falha na administração, perda por mobilidade operacional, perda por organização da linha, perda por logística e perda por medições e ajustes;
- Três perdas ligadas aos recursos físicos de produção: perda por falha e troca de matrizes, ferramentas e gabaritos, perda por falha de energia e perda de tecnologia.

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 de produtos, para eliminação de 20 grandes perdas divididas entre processos, inventários, distribuição e compras.

A Figura 2.7 mostra um resumo das 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, 2002, p.92

Figura 2.7 – As quatro gerações do TPM

2.3.3 RESULTADOS DO TPM

Benefícios não mensuráveis podem ser atribuídos a implementação do TPM, tais como uma maior interação da organização, melhoria no ambiente de trabalho, desenvolvimento intelectual, motivação e autoconfiança dos empregados (NAKASATO, 1994, p1.9 e PALMEIRA, 2002, p.214). Porém, é por meio de resultados mensuráveis que se observa, de forma mais efetiva, os benefícios passíveis de serem obtidos com a implementação do TPM. Esses resultados podem se divididos em seis grandes grupos representados pela sigla PQCDMS e estão mostrados na Figura 2.8.

P Produtividade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento da produtividade de mão de obra de 1,4 a 1,5 vezes ▪ Aumento da produtividade em termos de valor agregado de 1,5 a 2 vezes ▪ Aumento do índice operacional dos equipamentos de 1,5 a 2 vezes
Q Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução do índice de falha de processo para até 10% dos níveis anteriores de falha ▪ Redução do índice de refugo para até 3% dos níveis anteriores ▪ Redução do nível de reclamações de clientes para até 25% dos níveis anteriores
C Custo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de até 30% nos estoques de processo ▪ Redução de até 30% do consumo de energia ▪ Redução dos níveis de consumo de fluidos hidráulicos para até 20% dos níveis anteriores ▪ Redução de até 30% no custo total de fabricação
D Distribuição	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução de até 50% do estoque de produtos acabados em n° de dias ▪ Aumento de 2 vezes no giro de estoque (3 a 6 vezes ao mês)
S Segurança	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zero absenteísmo por acidentes ▪ Zero ocorrência de contaminação do meio ambiente
M Moral	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de até 5 a 10 vezes no n° de sugestões ▪ Aumento de até 2 vezes no n° de reuniões de pequenos grupos

Fonte: adaptado de NAKAJIMA, 1989, p.7; NAKASATO, 1994, p.1.8 e SHIROSE, 1994, p.10-12

Figura 2.8 – Resultados mensuráveis passíveis de obtenção com o TPM

2.3.4 PRÊMIO DE EXCELÊNCIA EM TPM

Desde 1971 o JIPM vem premiando empresas dentro e fora do Japão que apresentam excelência na implementação e sustentação do TPM. Nessa avaliação é considerada a efetividade de aspectos práticos relacionados aos meios produtivos, tais como: padronização, sistematização, administração, melhoria da qualidade e da produtividade, redução de custos, eliminação de desperdícios, aumento da confiabilidade dos equipamentos, segurança das pessoas e do meio ambiente (NAKAJIMA, 1989, p.4).

O JIPM divide a premiação de excelência em TPM nas seguintes categorias (JIPM, 2002, p.3):

- por classe mundial em resultados
- especial para resultados em TPM
- excelência e consistência na continuidade do TPM (primeira categoria)
- excelência em TPM (primeira categoria)
- excelência e consistência na continuidade do TPM (segunda categoria)
- excelência em TPM (segunda categoria)

A primeira empresa a conquistar o prêmio de excelência foi a Nippondenso, uma empresa de autopeças japonesa, pioneira na implementação do TPM. (NAKAJIMA, 1989, p.2).

Na América do Sul diversas empresas já tiveram seu reconhecimento por parte do JIPM (IMC, 2003) conforme mostrado a seguir:

- Prêmio de Excelência 1ª Categoria
 - 1996 - Pirelli Cabos - Cerquilha (BR) e Pirelli Pneus - Sto André (BR)
 - 1998 - Pirelli Pneus - Campinas (BR); Unilever - Valinhos (BR); Unilever - Anastácio (BR) e Unilever - Carrascal (Chile)
 - 1999 - COPENE - Camaçari (BR)
 - 2000 - Unilever - Vinhedo (BR); Unilever - Indaiatuba (BR); Unilever Best Foods - Valinhos (BR); Eletronorte - Mato Grosso (BR)
 - 2001 - Eletronorte - Maranhão (BR); Eletronorte - Tocantins (BR); Eletronorte - Pará (BR); Eletronorte - Tucuruí (BR); Unilever - Vespasiano (BR); Bresler - San Bernardo (Chile); Unilever - Tortuguitas (Argentina); Unilever - Rosário (Argentina); Unilever - Avellaneda (Argentina)
 - 2002 - Eletronorte - Porto velho (BR); Eletronorte - Macapá (BR); Votocel - Sorocaba (BR); Yamaha - Guarulhos (BR); Yamaha - Manaus (BR)

- Prêmio de Excelência e Consistência 1ª Categoria

2001 - Unilever - Valinhos (BR)

2002 - Unilever - Vinhedo (BR); Unilever - Indaiatuba (BR); Unilever - Carrascal (Chile); Unilever - Gualleguaychú (Argentina).

2.3.5 PILARES DO TPM

Embora cada empresa, em função de sua cultura, tenha suas peculiaridades para a implementação do TPM, existem alguns princípios que são básicos para todas elas e que são denominados os pilares de sustentação do TPM (Nakajima, 1989, p.42, JIPM, 2002, p.2 e PALMEIRA, 2002, p.113).

- Pilar da Melhoria Focada ou Específica: utiliza-se do conceito de Manutenção Corretiva de Melhorias para atuar nas perdas crônicas relacionadas aos equipamentos;
- Pilar da Manutenção Autônoma: baseia-se no treinamento teórico e prático recebidos pelos operários e no espírito de trabalho em equipe para a melhoria contínua das rotinas de produção e manutenção;
- Manutenção Planejada: refere-se às rotinas de manutenção preventiva baseadas no tempo ou na condição do equipamento, visando a melhoria contínua da disponibilidade e confiabilidade além da redução dos custos de manutenção;
- Treinamento e educação: refere-se à aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais para liderança, a flexibilidade e a autonomia das equipes.
- Gestão antecipada: baseia-se nos conceitos de Prevenção da Manutenção onde todo o histórico de equipamentos anteriores ou similares é utilizado desde o projeto a fim de que se construam equipamentos com índices mais adequados de confiabilidade e manutenibilidade;
- Manutenção da qualidade: refere-se à interação da confiabilidade dos equipamentos com a qualidade dos produtos e capacidade de atendimento à demanda
- Segurança, Saúde e Meio Ambiente: dependente da atuação dos demais pilares, esse pilar tem o enfoque na melhoria contínua das condições de trabalho e na redução dos riscos de segurança e ambientais.
- Melhoria dos processos administrativos: também conhecido como TPM de escritório, utiliza-se dos conceitos de organização e eliminação de desperdícios nas rotinas administrativas, que de alguma maneira acabam interferindo na eficiência dos equipamentos produtivos e processos.

2.3.6 ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

Para que o TPM seja implementado com sucesso e alcance os resultados esperados, se faz necessário cumprir 12 etapas descritas na Figura 2.9.

Fases	Etapas	Conteúdo
Preparação	1 - Declaração oficial da decisão da Diretoria pela implementação do TPM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso de todos os meios de comunicação disponíveis
	2 - Educação, treinamento e divulgação do início da implementação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seminários para gerência média/alta ▪ Vídeos para os operadores
	3 - Estruturação das equipes de multiplicação e implementação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificação das lideranças e montagem dos comites
	4 - Estabelecimento da política básica e metas do TPM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificação das grandes perdas e definição dos índices relativos ao PQCDMS
	5 - Elaboração do plano diretor par implementação do TPM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detalhamento do plano
Introdução	6 - Lançamento do projeto empresarial TPM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Convite a fornecedores, clientes e empresas afiliadas
Implantação	7 - Sistematização para melhoria do rendimento operacional	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incorporação da das melhorias específicas ▪ Condução da manutenção preventiva e autônoma ▪ Educação e treinamento em cascata de todos os envolvidos com a implementação com foco na autonomia da equipe
	8 - Gestão antecipada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prevenção da manutenção com o controle da fase inicial dos equipamentos e do custo do ciclo de vida. Prevenir perdas crônicas.
	9 - Manutenção da Qualidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Foco nas falhas freqüentes e ocultas e nos processos que afetem a qualidade do produto e das entregas
	10 - Melhoria dos processos administrativos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TPM de escritório, revisão das rotinas administrativas com base na filosofia do TPM de eliminação de perdas
	11- Segurança, Saúde e Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ações e recuperação e prevenção de riscos a saúde e segurança dos operários e do meio ambiente.
Consolidação	12 - Aplicação total do TPM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obtenção de resultados que demonstrem o alcance e a manutenção da excelência em TPM ▪ Candidatura ao Premio de excelência do JIPM

Fonte: adaptado de NAKAJIMA, 1989, p.47 e PALMEIRA, 2002, p.103

Figura 2.9 – As 12 etapas de implementação do TPM

Por ser o TPM uma filosofia que transforma as organizações e que também depende do aprendizado, da motivação e amadurecimento intelectual dos envolvidos,

em geral as suas 12 etapas requerem aproximadamente 3 anos para a implementação e podem ser agrupadas em quatro fases (NAKAJIMA, 1989, p. 45-46):

1ª fase: Preparação que corresponde a obtenção de um ambiente propício para o início da implementação, onde se busca a conscientização e o comprometimento de toda a organização;

2ª fase: Introdução onde ocorre o lançamento do projeto. As atividades relacionadas ao lançamento devem servir como elemento motivador para toda a organização

3ª fase: Implantação, onde todas as atividades relacionadas a melhoria da eficiência global dos equipamentos e sistemas são postas em marcha.

4ª fase: Consolidação, onde a manutenção dos resultados obtidos durante a implementação passa a ser o grande desafio, incluindo a candidatura ao prêmio de excelência do JIPM.

2.3.7 TPM E OS 5S's

O envolvimento dos funcionários com a implementação do TPM e o comprometimento com a manutenção dos níveis de excelência alcançados podem ser observados pelo gerenciamento dos 5S's na fábrica. Fontes de contaminação, desorganização e outros indícios de descaso com o ambiente de trabalho e com os recursos produtivos denotam que o TPM não tem bases sólidas de implementação e que os resultados relacionados ao PQCDMS não poderão ser mantidos por muito tempo (TAKAHASHI, 1993, p.122; NAKAJIMA, 1989, p.6).

Ao entenderem a natureza das falhas e os princípios de funcionamento dos equipamentos os operadores deixam de praticar os 5S's somente nas áreas de mais fácil aplicação como por exemplo nos corredores e armários e passam a aplicá-los também nas partes mais complexas e menos visíveis dos equipamentos onde a contaminação e a falta de limpeza geralmente atuam como aceleradores das falhas (XENOS, 1998, p.297).

Os cinco conhecidos S's são: *Seiri* (organização), *Seiton* (arrumação), *Seiso*, (limpeza), *Seiketsu* (limpeza pessoal ou padronização) e *Shitsuke* (disciplina).

- *Seiri* (organização): consiste em distinguir itens necessários e desnecessários com base no grau de necessidade, que determinará onde o item deverá ser guardado ou se deverá ser descartado. Itens raramente utilizados serão aqueles com frequência maior que seis meses. Os utilizados ocasionalmente têm frequência de uso entre dois e seis meses e os utilizados frequentemente podem ser divididos entre uso horário até diário ou semanal (TAKAHASHI, 1993, p.127).

- *Seiton* (arrumação): consiste em definir a forma e identificação da armazenagem bem como a quantidade e a distância do ponto de uso. Fatores como frequência de uso, tamanho, peso e custo do item influem nessa definição.
- *Seiso* (limpeza): limpar significa muito mais do que melhorar o aspecto visual de um equipamento ou ambiente. Significa preservar as funções do equipamento e eliminar riscos de acidente ou de perda da qualidade. Eliminação das fontes de contaminação, a utilização de cores claras e harmoniosas e o revezamento nas tarefas de limpeza, contribuem para a motivação e manutenção desse senso.
- *Seiketsu* (limpeza pessoal ou padronização): a ênfase na padronização, no cuidado e asseio com uniformes, com ferramentas e com os objetos e utensílios utilizados no setor de trabalho é o ponto marcante desse senso.
- *Shitsuke* (disciplina): esse conceito prega a educação, obediência às regras de trabalho, principalmente no que se refere a organização e segurança. É uma mudança de conduta que assegura a manutenção dos demais sentidos já implementados.

Um sexto S foi apontado na implementação do TPM na unidade de Nishio, Japão, da empresa Aisin Seiki Co, uma planta de usinagem e montagem de bombas d'água automotivas. A possibilidade de seus operários participarem com opiniões e ações para melhoria do ambiente de trabalho e da eficiência global, os motivou de tal maneira, que passaram a comparecer em dias de descanso na fábrica para a reconstrução de suas áreas de trabalho. A essa atitude se denominou *Shikkari Yarou* que pode ser traduzido como “Vamos prosseguir coesos e com passos firmes” (NAKAJIMA, 1989, p.6).

2.3.8 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

Considerada como um dos pilares do TPM e iniciada a partir da sétima etapa de implementação, a Manutenção Autônoma (MA) consiste nas atividades que envolvem os operadores na manutenção de seus próprios equipamentos, independentemente da interferência do departamento de manutenção (JIPM, 1997, p.1). A filosofia da MA consiste na quebra de barreiras entre as funções de operação e manutenção. A expressão “da minha máquina cuido eu” é a tônica da MA (NAKAJIMA, 1989, p.61).

A capacitação e principalmente o convencimento dos operadores de que a saúde dos equipamentos depende diretamente deles é uma das chaves do sucesso da implementação da MA.

As sete etapas de implementação da MA mostradas são mostradas na Figura 2.10, das quais, as três primeiras podem ser consideradas críticas por influenciarem

diretamente e de forma mais significativa, o nível de deterioração dos equipamentos (TAKAHASHI, 1993, p.231 e NAKAJIMA, 1989, p.61).

Etapa	Atividade	Conteúdo
1	Limpeza inicial	Limpeza, inspeção, lubrificação e aperto da partes dos equipamentos, identificando e corrigindo as anomalias
2	Eliminação das fontes de inconveniências e locais de difícil acesso	Eliminação das fontes de contaminação, melhoria na posição de elementos do equipamento à inspecionar, mudanças de altura e fixação de proteções.
3	Elaboração de padrões de lubrificação e inspeção	Implementação de ações e procedimentos que permitam a inspeção, lubrificação e aperto de forma rápida e eficaz e nas frequências pré-estabelecidas.
4	Inspeção geral	Elaboração de manuais simples e eficazes para inspeção e reparos. Identificar e eliminar as causas das inconveniências
5	Inspeção voluntária	Elaboração de listas de verificação dos equipamentos para execução do autocontrole.
6	Organização e ordem	Padronização de atividades de inspeção, de lubrificação, de manutenção de ferramentas e moldes além da padronização dos registros de dados.
7	Consolidação da manutenção autônoma	Melhoria contínua do nível de excelência do autocontrole dos equipamentos, atrelada ao gerenciamento dos objetivos e metas da organização

Fonte: adaptado de NAKAJIMA, 1989, p.63 e JIPM, 1997, p.9

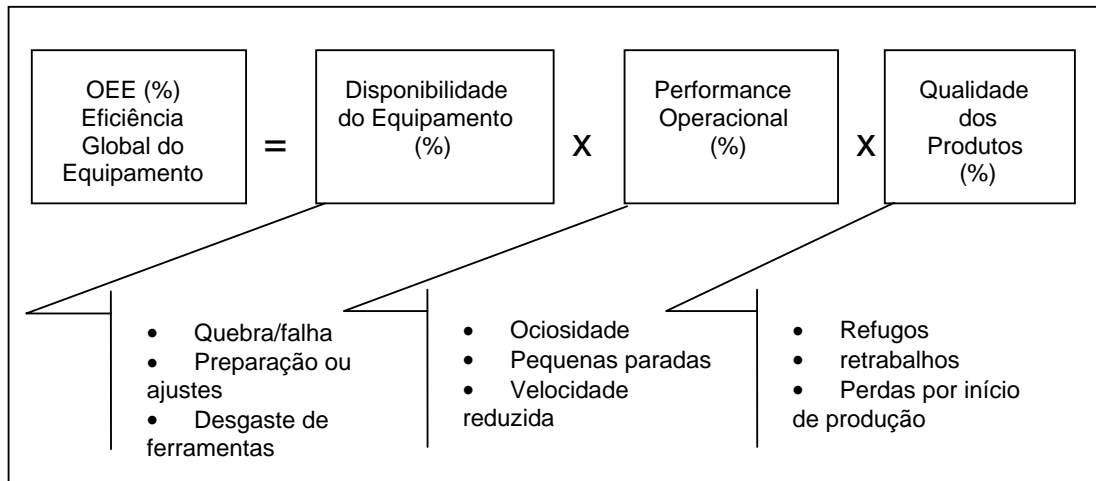
Figura 2.10 – As sete etapas de implementação da Manutenção Autônoma

2.3.9 EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)

As perdas abordadas pelo TPM, apresentadas no item 2.3.2 da presente Dissertação, afetam diretamente a eficiência dos equipamentos ou dos sistemas de produção por meio de três fatores principais que são a Disponibilidade do Equipamento, a Performance Operacional e a Qualidade dos produtos.

Conforme mostrado na Figura 2.11, a multiplicação desses três fatores na forma percentual determina o índice de Eficiência Global do Equipamento, representado pela sigla OEE do inglês *Overall Equipment Effectiveness*.

Esse índice é mundialmente usado para medir os resultados oriundos obtidos com a implementação do TPM (JIPM, 2002, p.2, NAKAJIMA, 1989, p.25).



Fonte: adaptado de JIPM, 2002, p.2, NAKAJIMA, 1989, p.25

Figura 2.11 – Fatores para determinação do OEE

- Índice de Disponibilidade

Expressa a relação percentual entre o tempo em que o equipamento realmente operou e o tempo que deveria ter operado, conforme Equação 2.2:

$$\text{Disp (\%)} = \frac{\text{Tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas não planejadas}}{\text{Tempo total programado} - \text{paradas planejadas}} \times 100 \quad \text{Equação 2.2}$$

Onde :

- Tempo total programado: tempo de carga programado para o equipamento, com base no tempo teórico de ciclo e na demanda de produção.
- Paradas planejadas: tempo programado para descanso, almoço, reuniões, treinamentos, manutenção planejada.
- Paradas não planejadas: tempo gasto com paradas inesperadas, como por exemplo, manutenção de emergência, aquecimento no início de produção, troca de modelos, troca ou ajustes de ferramentas.

- Índice de Performance Operacional

É a relação percentual entre o tempo de ciclo real do equipamento quando o mesmo está em operação e o tempo teórico de ciclo normalmente determinado pela Engenharia de Industrial, conforme Equação 2.3. Esse índice é normalmente afetado por reduções intencionais na velocidade de operação dos equipamentos, por pequenas paradas não registradas, por espera de algum recurso faltante, por bloqueio causado por algum outro recurso à frente no fluxo de produção.

$$\text{Perf}(\%) = \frac{\text{Tempo teórico de ciclo} \times \text{total de peças produzidas}}{\text{Tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas não planejadas}} \times 100 \quad \text{Equação 2.3}$$

- Índice de Qualidade de Produto

Expressa a capacidade de fazer o produto corretamente na primeira vez. Relaciona percentualmente, a quantidade de peças refugadas e retrabalhadas com a quantidade total de peças produzidas, conforme Equação 2.4:

$$\text{Qualidade}(\%) = \frac{\text{Total de peças produzidas} - (\text{Total de refugos} + \text{retrabalhos})}{\text{Total de peças produzidas}} \times 100 \quad \text{Equação 2.4}$$

A Figura 2.12 apresenta um 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 NAKAJIMA, 1989, p.25-28; SHIROSE, 1994, p.54

Figura 2.12 – Exemplo teórico de cálculo de OEE

Empresas que utilizam o OEE para medição da eficiência dos equipamentos, em geral se deparam inicialmente com valores entre 30% e 60% (SHIROSE, 1994, p. 53; NAKAJIMA, 1989, p.25).

Um estudo realizado em uma célula de manufatura de um fornecedor inglês de autopeças considerado um dos líderes mundiais no seu seguimento, aponta valores de disponibilidade de 84%, performance de 76% e taxa de qualidade de 97% que multiplicados resultam em um OEE de 62% (SHIRVANI, 2000, p.153).

Um OEE de 85% pode ser considerado um excelente resultado, desde que se tenha levado em conta os três índices que o constituem e também desde que os dados para o cálculo sejam confiáveis, dada a grande dificuldade que as empresas tem em registrar corretamente suas ocorrências diárias (NAKAJIMA, 1989, p. 23-24).

Em um primeiro momento, a multiplicação dos três índices constituintes do OEE pode não parecer correta. Ao se avaliar, por exemplo, um equipamento que tenha uma capacidade teórica de 1000 peças/hora e que apresente uma disponibilidade de 60%, uma performance operacional de 60% e um índice de qualidade de 60%, pode-se ficar tentado a afirmar que esse equipamento tem um OEE de 60% e, portanto, uma capacidade de 600 peças/hora.

Porém considerando-se que esse equipamento trabalha apenas 60% do tempo disponível para operação, equivale a dizer que sua produção cai de 1000 pç/h para 600pç/h. Se essas 600 pç/h são produzidas a uma velocidade de 60% da velocidade teórica, equivale a dizer que sua produção atinge 360 pç/h. Se dessas 360 pç/h apenas 60% são peças boas, equivale a dizer que a capacidade final de produção é de 216 pç/h, ou seja, um OEE de 21,6%.

2.3.10 TPM E O GERENCIAMENTO DA QUALIDADE TOTAL

O Gerenciamento da Qualidade Total, representado pela sigla TQM do inglês *Total Quality Management*, é uma importante, senão vital, iniciativa dentro da indústria e tem como objetivo a manutenção da excelência na qualidade dos produtos e processos por meio: do envolvimento de todos os níveis organizacionais partindo necessariamente dos altos escalões, de operários motivados com poder de decisão, além do envolvimento de fornecedores e dos clientes de forma a exceder as expectativas dos clientes (MCKONE, 2001, p.2; ROBERTS, 1997, p.1).

Embora o TPM e o TQM tenham algumas práticas básicas e distintas pelas suas naturezas técnicas, as duas filosofias coincidem no que se refere a importância estratégica e a orientação para utilização do potencial das pessoas envolvidas nos processos (MCKONE, 2001, p.3). As interações entre TPM e o TQM são mostradas na Figura 2.13.

Práticas básicas específicas do TPM	Práticas básicas específicas do TQM
<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção Planejada • Manutenção Autônoma • Senso de propriedade sobre o equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto multidisciplinar do produto • Gerenciamento das características do processo • Gerenciamento da qualidade de fornecedores • Envolvimento do cliente
Práticas estratégicas comuns e orientadas para as pessoas	
<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento estratégico • Compromisso da liderança • Treinamento multidisciplinar • Envolvimentos dos operários • Comunicação 	

Fonte: adaptado de MCKONE, 2001, p.5

Figura 2.13 – Interações entre TPM e TQM

2.4 SÉRIES TEMPORAIS

Este item da Revisão da Literatura destina-se ao estudo de fundamentos estatísticos relacionados à Séries Temporais e necessários para a análise dos resultados da presente Dissertação.

2.4.1 DEFINIÇÃO

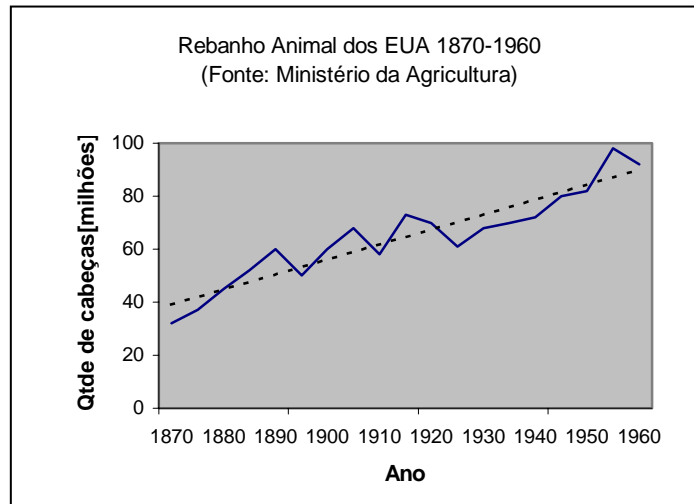
Define-se como uma Série Temporal (ST) o conjunto de observações feitas em períodos de tempo seqüenciais e geralmente iguais. Exemplos de ST podem ser: vendas anuais de uma determinada companhia nos últimos dez anos, a produção anual de aço no Brasil durante um certo número de anos, temperaturas horárias anunciadas pelo serviço meteorológico de uma cidade ao longo do mês (SPIEGEL, 1985, p.357 e KAZMIER, 1982, p. 328).

A Figura 2.14 ilustra uma representação gráfica de uma ST relativa ao rebanho animal nos Estados Unidos da América durante os anos de 1870 a 1960.

Matematicamente se define uma ST pelos valores de Y_1, Y_2, \dots, Y_n de uma variável Y nos tempos t_1, t_2, \dots, t_n , dizendo-se então que Y é uma função de t , conforme mostrado na Equação 2.5 (FONSECA, 1985, p.141).

$$Y = F(t)$$

Equação 2.5



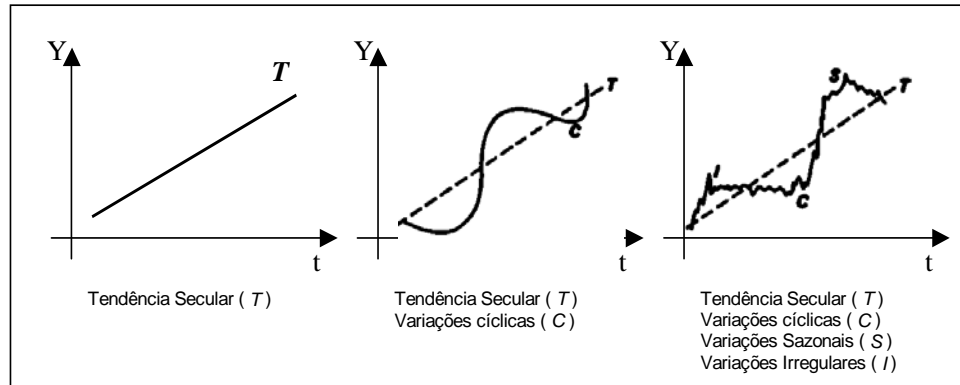
Fonte: adaptado de SPIEGEL, 1985, p.357

Figura 2.14 – Exemplo de Série temporal

2.4.2 MOVIMENTOS TÍPICOS

Pode-se imaginar uma série temporal como a trajetória de uma partícula deslocando-se ao longo do tempo. Essa trajetória geralmente apresenta quatro movimentos típicos mostrados na Figura 2.15 e descritos a seguir (KARMEL, 1974, p.297; MERRILL, 1980, p.521; FONSECA, 1985, p.142; SPIEGEL, 1985, p.358 e KAZMIER, 1982, p.326):

- I. Movimentos à longo prazo ou seculares (T): referem-se a direção geral, persistente, suave e regular, segundo à qual a ST se desenvolve em um longo intervalo de tempo analisado.
- II. Movimentos cíclicos (C): referem-se as oscilações em torno da linha de tendência secular, podendo ser periódicos ou não e tem duração de diversos anos. Um exemplo de movimento cíclico é o ciclo econômico ou de negócios que apresenta intervalos de recessão e prosperidade ao longo dos anos.
- III. Movimentos sazonais ou estacionais (S): referem-se as oscilações razoavelmente idênticas ao longo de sub-períodos semanais, quinzenais, mensais, bimestrais ou trimestrais dentro de períodos totais de um ano. Um exemplo de movimentos sazonais pode ser o aumento de vendas em períodos tipicamente festivos ao longo do ano.
- IV. Movimentos irregulares ou aleatórios (I): referem-se aos deslocamentos esporádicos, geralmente de curto período de duração e de grande intensidade e que acarretam eventualmente novos movimentos cíclicos ou de outra natureza. Exemplos de causas dos movimentos aleatórios podem ser as enchentes, terremotos, greves, eleições e guerras.



Fonte: adaptado de FONSECA, 1985, p.143

Figura 2.15 – Movimentos típicos de uma Série Temporal

2.4.3 ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS (ST)

Os objetivos ao se analisar uma ST são a compreensão do comportamento passado da série e a posterior tentativa de inferir sobre comportamentos futuros (KARMEL, 1974, p. 295 e FONSECA, 1985, p.141)

A análise das séries temporais consiste na descrição dos movimentos típicos que a compõem, descritos no item anterior. Os modelos matemáticos mais utilizados para a descrição das ST são o aditivo e o multiplicativo, mostrados respectivamente na Equação 2.6 e Equação 2.7. Algumas combinações dos dois modelos também podem ser testadas (SPIEGEL, 1985, p. 360; FONSECA, 1985, p.142 e MERRILL, 1980, p.520).

$$Y = T + C + S + I \quad \text{Equação 2.6}$$

$$Y = T \times C \times S \times I \quad \text{Equação 2.7}$$

Onde:

Y = valor efetivo de uma Série Temporal

T, C, S, I = movimentos típicos que compõem a Série Temporal

A escolha do modelo aditivo ou do multiplicativo depende grandemente da forma com que os movimentos constituintes da série se combinam e interagem. Supondo-se que as forças correspondentes aos movimentos operam com igual efeito absoluto independente do valor da tendência, o modelo aditivo é o mais apropriado. Se a atuação dessas forças for proporcional ao nível geral da série, então o modelo multiplicativo é o mais adequado (KARMEL, 1974, p.298-299).

Dos quatro movimentos constituintes de uma série temporal, a presente Dissertação aborda somente o movimento de tendência, por ser essa a metodologia proposta para análise dos dados coletados durante sua elaboração.

O principal método para a avaliação do movimento de tendência é o Método de Ajustamento Matemático, por permitir estabelecer uma equação matemática que represente os valores da tendência (FONSECA, 1985, p.145 e MERRILL, 1980, p. 526, STEVENSON, 1981, p.347).

A forma mais simples de tendência a ser ajustada é a tendência linear, representada pela Equação 2.8 e obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados (KARMEL, 1974, p.304).

$$Y_T = a + bt \quad \text{Equação 2.8}$$

Onde:

Y_T = variável dependente, ou seja, o valor de tendência observado na ST

a = intersecção da linha de tendência com o eixo dos Y quando $t = 0$

b = declividade da linha de tendência ou coeficiente angular da reta

t = a variável independente, ou seja, cada instante avaliado.

Os coeficientes a e b da Equação 2.8, podem ser determinados por meio das Equações 2.9 e 2.10 (STEVENSON, 1981, p.418).

O coeficiente de correlação (r) que demonstra o quanto a reta de regressão se ajusta à Série Temporal estudada, pode ser determinado por meio da Equação 2.11 (MARTINS, 1999, p.178).

$$b = \frac{n \sum tY - \sum t \sum Y}{n \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad \text{Equação 2.9}$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum t}{n} \quad \text{Equação 2.10}$$

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\left[\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Equação 2.11}$$

Com os necessários tratamentos matemáticos, outras curvas de tendência como a exponencial e a polinomial podem ser ajustadas. Porém a presente Dissertação aborda somente a curva de tendência linear por ser essa a forma dos resultados obtidos com a implementação do TPM no time estudado.

3 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL FORD (FTPM)

A Manutenção Produtiva Total Ford ou FTPM do termo em inglês *Ford Total Productive Maintenance* é um dos dez elementos constituintes do sistema mundial de produção da *Ford Motor Company*.

Por meio do contínuo aperfeiçoamento dos processos produtivos e administrativos, o FTPM tem como objetivo a melhoria da competitividade da empresa elevando sua Manufatura a um nível de excelência mundial, maximizando a segurança, a eficiência e o ciclo de vida dos equipamentos.

Para facilitar o entendimento dos conceitos e da metodologia de implementação do FTPM, se faz necessária inicialmente a apresentação do Sistema de Produção Ford.

3.1 O SISTEMA DE PRODUÇÃO FORD (FPS)

3.1.1 VISÃO DO FPS

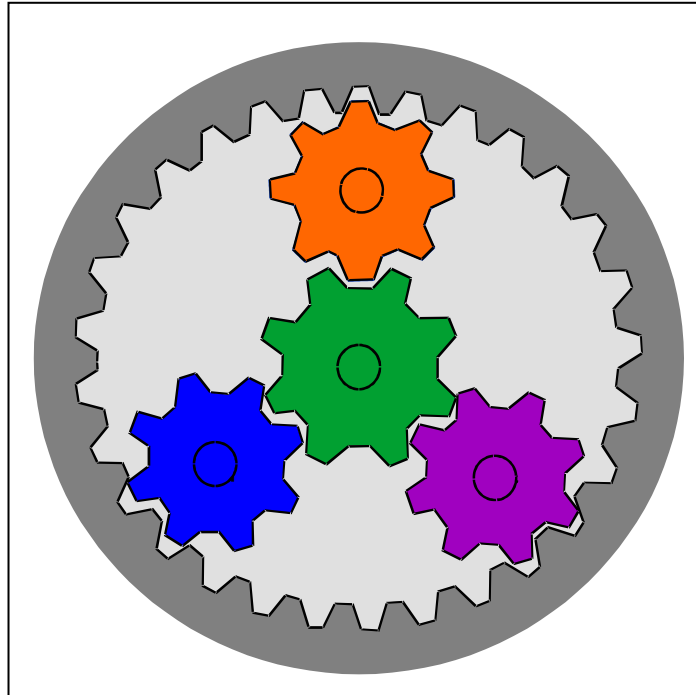
Tendo sido concebido em 1990 no escritório central da Ford Motor Company em Dearborn, EUA, o Sistema de Produção Ford, representado pela sigla FPS (*Ford Production System*), tem como visão ser um sistema de produção simples, disciplinado, flexível e com foco na eliminação de desperdícios, definido por um conjunto de princípios e processos que empregam times com pessoas capazes e com poder de decisão, aprendendo e trabalhando juntos e com segurança, na produção e entrega de produtos que continuamente superem as expectativas do consumidor em qualidade, custo e tempo.

3.1.2 PRINCÍPIOS DO FPS

O Sistema de Produção Ford tem seus princípios representados mundialmente por um conjunto de engrenagens mostrado na Figura 3.1 e busca transmitir a idéia de que cada engrenagem que o compõe, necessita funcionar adequadamente para que todo o sistema também funcione bem.

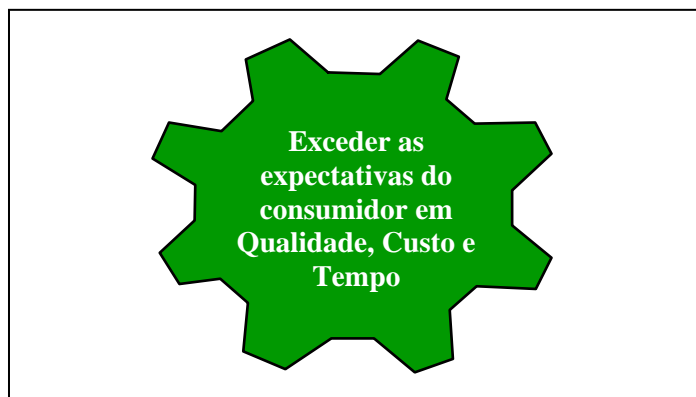
O desenvolvimento de agentes de mudança que compreendam e continuamente ensinem e liderem a transformação de manufatura em massa para uma manufatura enxuta, também incorpora de maneira significativa os princípios do FPS.

O foco do FPS, representado pela engrenagem central da Figura 3.1 e em destaque na Figura 3.2 é a entrega de valor ao consumidor, cuja expectativa deve ser superada em termos de custo, qualidade e tempo.



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.1 – O modelo conceitual do FPS



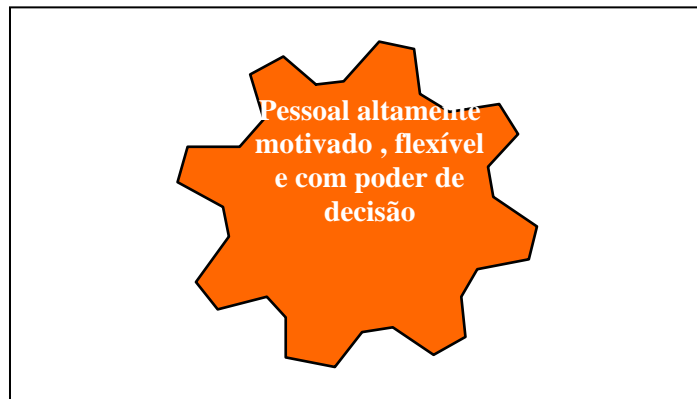
Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.2 – O foco no consumidor

A engrenagem das pessoas mostrada na Figura 3.3 representa uma organização baseada em times de trabalho, dirigida para melhorias contínuas dos negócios por meio da eliminação de desperdícios e dos aspectos mostrados a seguir:

- Times de trabalho no chão de fábrica
- Estrutura de suporte bem identificada (líderes, supervisores, etc)
- Líderes com poder de decisão em todos os níveis hierárquicos
- Cultura da melhoria contínua
- Mentalidade de zero acidentes
- Cultura de aversão aos desperdícios (Zero Perda)

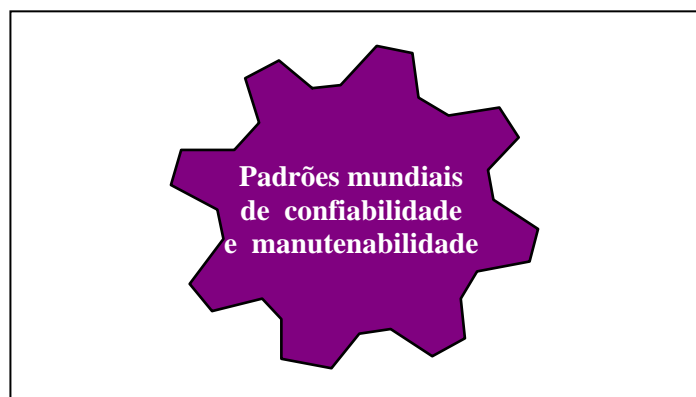
- Foco nas melhorias dos indicadores do FPS
- Sistema de gerenciamento ambiental
- Organização alinhada com os objetivos da empresa
- Sistema de suporte aos recursos humanos



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.3 – A engrenagem das pessoas

A Figura 3.4 mostra a engrenagem da confiabilidade e manutenibilidade e tem como foco a necessidade de processos e equipamentos bem desenhados e bem mantidos, seguindo-se padrões mundiais de segurança, estabilidade, flexibilidade e qualidade, alcançando ou superando os requerimentos dos clientes internos e externos.



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.4 – A engrenagem da confiabilidade e manutenibilidade

A Figura 3.5 representa a importância da aplicação dos conceitos de Manufatura Enxuta e dos princípios de *Just-in-Time* para promover o fluxo contínuo de materiais e produtos, seguindo sempre a demanda do mercado, por meio dos três conceitos descritos a seguir:

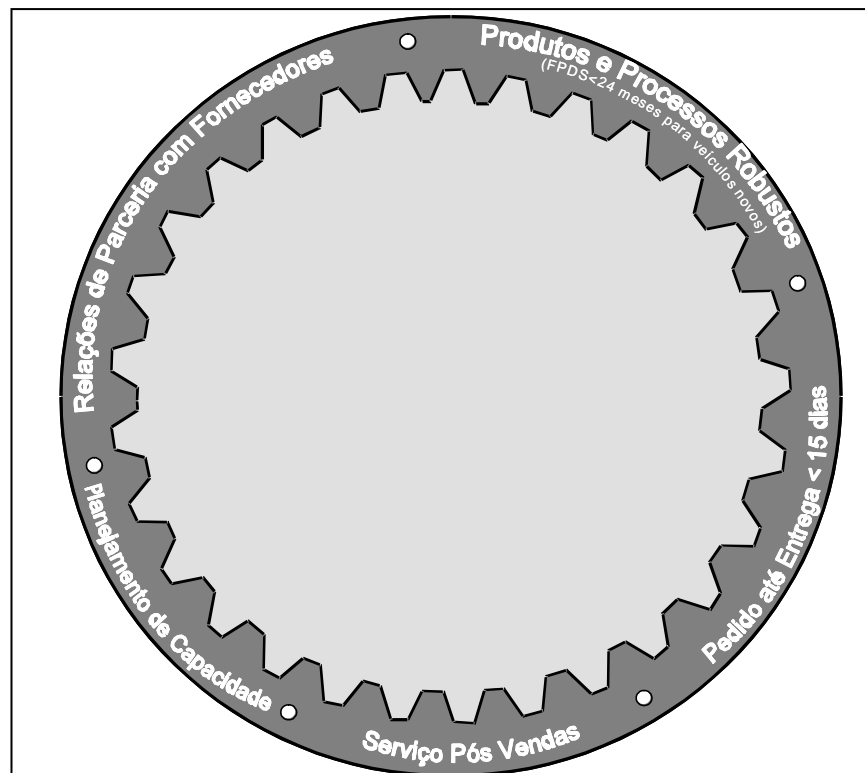
- Flexibilidade no volume e sequenciamento de produtos

- Nivelamento da capacidade das operações de produção
- Redução no tamanho dos lotes através do Sistema de puxar (*Pull System*)



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*
 Figura 3.5 – A engrenagem do fluxo contínuo

A engrenagem externa do conjunto mostrada na Figura 3.6 refere-se à necessidade da robustez dos projetos com tempo de execução máxima de vinte e quatro meses para veículos novos, à necessidade de parceria com os fornecedores, ao planejamento da capacidade dos meios de produção para que se possa atender aos pedidos dos consumidores em menos de quinze dias e à necessidade de um aprimorado serviço pós-venda.



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.6 – A engrenagem externa do símbolo do FPS

3.1.3 FASES DE IMPLEMENTAÇÃO DO FPS

A implementação do FPS se dá por meio de cinco fases:

1ª fase - Estabilidade

- processo sob controle com produção previsível
- aplicação básica de organização na área de trabalho
- início da utilização das ferramentas do FPS para eliminação das 7 grandes perdas (movimentação desnecessária, transporte, correção, inventário, espera, super produção, processamento em demasia).

2ª fase - Fluxo Contínuo

- fluxo do processo melhorado. Idealmente lote de uma peça
- fluxo entre operações que realmente agreguem valor
- redução do tamanho do lote e inventário em processo onde o fluxo contínuo não for possível

3ª fase - Produção Sincronizada

- sincronismo das operações com a demanda do cliente (*Tackt time*)
- balanceamento e padronização dos postos de trabalho

4ª fase - Sistema de Puxar

- estabelecimento de áreas de mercado e reabastecimento conforme retirada do cliente
- gerenciamento do inventário. *Just-in-Time*.

5ª fase - Produção Nivelada

- programa de produção uniforme e estabilizado
- distribuição uniforme da carga de trabalho entre as operações

3.1.4 ELEMENTOS CONSTITUINTES DO FPS

A implementação do FPS se dá por meio da implementação paralela dos dez elementos que constituem o sistema, quais sejam:

1. FTPM (*Ford Total Productive Maintenance*)

Sigla que representa a Manutenção Produtiva Total Ford, e que se baseia na utilização de grupos de trabalho para o gerenciamento da eficiência e confiabilidade

dos equipamentos. Por ser o objeto dessa dissertação, o FTPM está apresentado em detalhes no item 3.2 deste Capítulo.

II. Treinamento

Sistema para levantamento das necessidades de treinamento e monitoramento dos resultados da aplicação em todos os níveis da Organização.

III. ISPC (*In Station Process Control*)

Sigla que representa o Controle de Processo na Estação de Trabalho e que abrange os seguintes subelementos:

- dispositivos para evitar erros e danos nos equipamentos, no processo e no produto (*pokayokes*)
- controles e auxílios visuais
- troca rápida de processo e manutenção
- folhas de instrução e padronização de tarefas
- sistema da qualidade focado na análise e correção da causa raiz dos problemas e no grau de satisfação dos clientes internos e externos

IV. Engenharia de Manufatura

- conceitos de manufatura enxuta desde a fase de desenvolvimento dos produtos e processos
- processos robustos de revisão e aprovação de projetos e seleção de fornecedores
- gerenciamento do ciclo de vida e melhoria contínua na confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos
- gerenciamento da eficiência no uso das fontes de energia

V. Meio Ambiente

- atendimento a legislação ambiental
- gerenciamento de substâncias perigosas
- treinamento em aspectos ambientais
- procedimentos de resposta em emergência para riscos ambientais

VI. Material Industrial

- agilidade na obtenção de materiais não produtivos
- redução de inventário não produtivo
- estratégias de suprimento (ex: *commodities*)
- sistema de garantia de materiais e serviços

- gerenciamento de materiais e ferramentas perecíveis

VII. SHARP (*Safety and Health Assessment Review Process*). Sigla que representa o controle de segurança e saúde ocupacional.

- análise de risco de acidentes e condições ergonômicas das tarefas
- investigação de acidentes e incidentes
- controle de higiene industrial e médica
- regras e permissões de trabalho
- resposta às emergências de segurança
- segurança de contratados
- equipamentos de segurança e proteção individual

VIII. Trabalho em Equipe

Considerado o elemento chave do Sistema de Produção Ford no desenvolvimento de um alto grau capacidade, motivação, flexibilidade, envolvimento e comprometimento dos grupos de trabalho com as metas e objetivos comuns da empresa.

IX. Liderança

- planejamento estratégico
- comunicação interna e externa
- envolvimento e comprometimento gerencial
- indicadores do Sistema
- gerenciamento de mudanças de processos e produtos
- métodos de solução de problemas e melhoria contínua
- divulgação e aplicação de lições aprendidas e melhores práticas
- tecnologia de informação

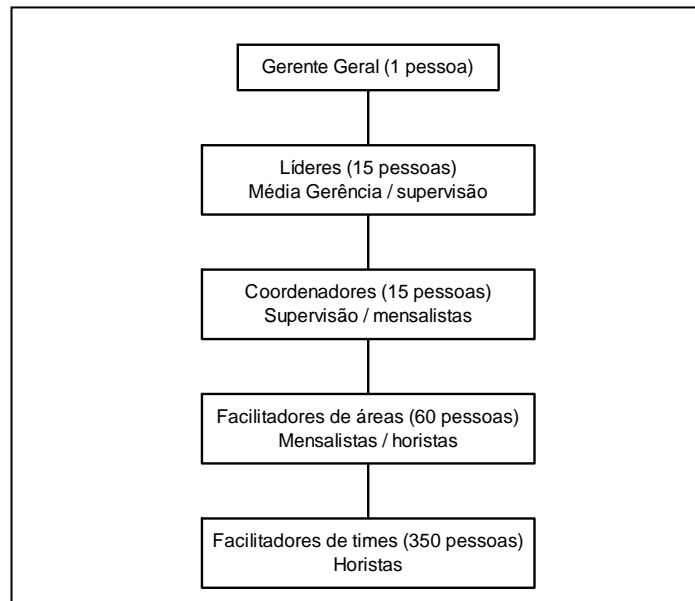
X. Fluxo Sincronizado de Materiais

Aplicação do conceito de um fluxo contínuo de produção, dirigido por uma programação fixa, sequenciada e nivelada, por meio de :

- planejamento e gerenciamento da logística interna e externa
- programação sincronizada de todos os elementos de produção
- lotes preferencialmente de uma peça e sistema de 'puxar'.

3.1.5 ESTRUTURA DE IMPLEMENTAÇÃO DO FPS

Seguindo a orientação do escritório central do FPS, a planta da Ford de Taubaté adotou a estrutura apresentada na Figura 3.7 para treinamento, disseminação dos conceitos e seguimento da implementação de cada um dos dez elementos do FPS.



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.7 – Organização para implementação do FPS

3.1.6 INDICADORES DO FPS

- **BTS (*Build to schedule*)**

Produzir conforme programado, respeitando-se o volume, a seqüência e os tipos de produtos.

- **FTTC (*First time through capability*)**

Fazer certo da primeira vez. É um índice de qualidade que indica o percentual de peças que completaram o processo enquadrando se nos níveis de qualidade especificados

- **DTD (*Dock to Dock*)**

Tempo total percorrido entre o recebimento da matéria prima e a expedição do produto acabado. Monitora todos os níveis de inventário da fábrica.

- OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

Índice de eficiência global do equipamento, composto pelo produto de três índices: disponibilidade, performance e qualidade. Principal indicador para monitoramento dos resultados da implementação do FTPM.

- Despesas de manufatura

Índice do custo total do produto incluindo mão de obra, material produtivo e não produtivo, refugos e outras despesas em geral. É estratificado de maneira que se possa apresentá-lo como ferramenta de melhoria para os times de trabalho.

3.1.7 PROCESSO DE AVALIAÇÃO DO FPS

Mundialmente o processo de implementação do Sistema de Produção Ford é monitorado por meio de auto-avaliações conduzidas pelos líderes de cada elemento em suas próprias fábricas. Posteriormente cada fábrica passa por uma avaliação oficial conduzida por líderes de outras fábricas.

O processo de avaliação, em geral de frequência anual, baseia-se em um manual específico para cada um dos dez elementos do sistema, onde perguntas são pontuadas, atribuindo - se à fábrica ao final do processo de avaliação, um nível entre zero e 10. Os resultados das avaliações oficiais da planta de Taubaté são mostrados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Posição nas avaliações oficiais do FPS da Ford de Taubaté

Data da avaliação	Posição obtida
Maio / 2000	2,0
Maio / 2001	3,6
Novembro / 2001	5,3
Novembro / 2002	5,4

Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

3.2 CONCEITOS DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL FORD (FTPM)

3.2.1 PRINCÍPIOS DO FTPM

Expresso na Carta de Política da Ford Motor Company de 15 de junho de 1992, os princípios do FTPM são:

- Melhorar significativamente a operação da fábrica e dos equipamentos, além dos processos de manutenção, por meio do envolvimento integrado das lideranças sindicais, da força de trabalho da manufatura e da organização gerencial;

- Aumentar a qualidade dos produtos por meio das melhorias na capacidade e confiabilidade dos equipamentos e processos;
- Maximizar a eficiência global, o desempenho e a segurança dos processos de manufatura, sistemas e equipamentos, eliminando todas as formas de desperdícios (paradas de equipamentos, refugos, produtos defeituosos, acidentes de trabalho e ambientais);
- Atingir um nível ótimo de confiabilidade e do ciclo de vida dos equipamentos, minimizando custos de reparo e de reposição.

3.2.2 BENEFÍCIOS DO FTPM

Com a participação e o comprometimento de todos os níveis da Organização na eliminação dos desperdícios e na busca da quebra zero, os benefícios obtidos com a implementação do FTPM, alguns tangíveis e outros não, podem ser percebidos em um ambiente de trabalho mais limpo e seguro, na melhoria da qualidade dos produtos, no aumento da produtividade, no aumento da abrangência das funções, no aumento do conhecimento, no desenvolvimento intelectual e no aumento dos lucros e da competitividade da empresa.

No logotipo do FTPM mostrado na Figura 3.8, à medida que se diminui a área vermelha do desperdício se aumenta a área azul dos resultados. Esse fato aliado à simbologia de crescimento da escada, busca transmitir o princípio da melhoria contínua do FTPM.

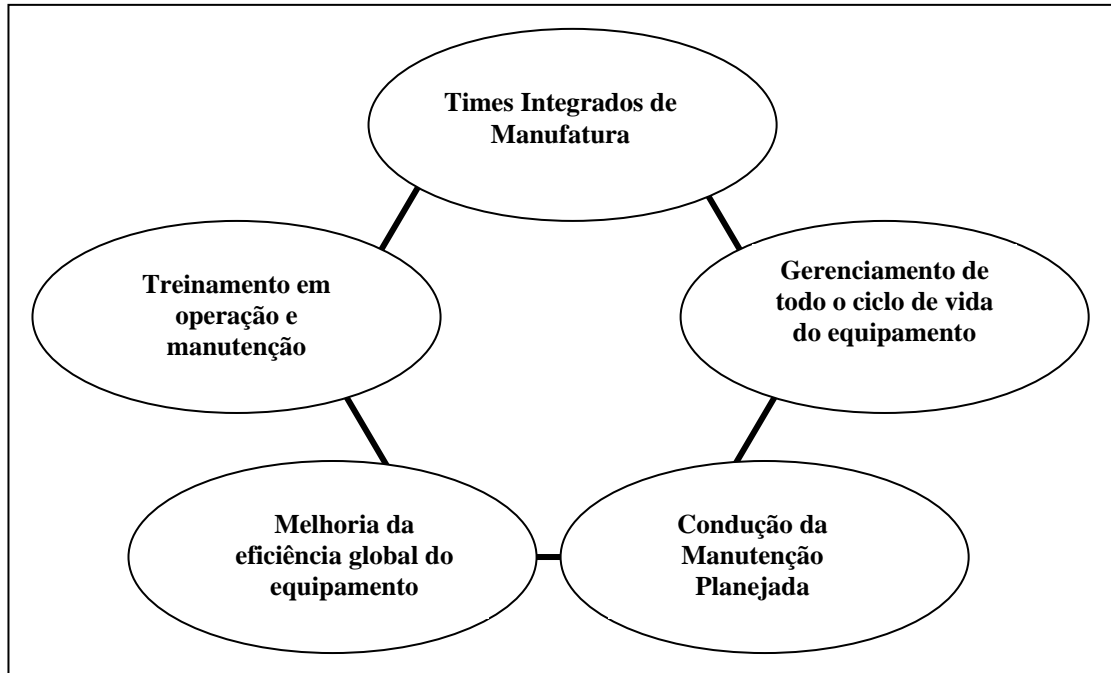


Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.8 – O logotipo do FTPM

3.2.3 OS CINCO ELEMENTOS DO FTPM

Na Figura 3.9 são mostrados os cinco elementos que funcionam como os pilares de sustentação do FTPM e que tem como palavra chave a integração entre esses elementos.



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.9 – Os cinco elementos do FTPM

- **Times Integrados de Manufatura**

Atuando como um grupo multifuncional, os Times Integrados de Manufatura formam o elo de ligação entre os cinco elementos do FTPM, promovendo melhorias e gerando informações.

- **Gerenciamento do ciclo de vida dos equipamentos**

Focado na minimização do custo do ciclo de vida do equipamento, esse processo baseia-se nas lições aprendidas e informações dos times sobre melhorias implementadas.

Dados sobre confiabilidade e manutenibilidade são coletados pelos times e repassados aos fornecedores e departamentos de projeto da empresa, afim de evitar que se repitam os mesmos erros em novos equipamentos, processos ou instalações.

- **Condução da Manutenção Planejada**

Realizada pelos próprios operadores, pela equipe especializada de manutenção ou por contratados, a Manutenção Planejada busca por meio de todas as

técnicas de manutenção, aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos e reduzir os custos de manutenção.

- Treinamento em operação e manutenção

Para a implementação do FTPM alguns treinamentos específicos podem ser necessários a determinados times em função de eventuais peculiaridades de seus equipamentos e são determinados pelos próprios times, porém alguns treinamentos são básicos para todos os times, como por exemplo: conceitos sobre FTPM, técnicas básicas e avançadas de inspeção, coleta e análise de dados, conceitos de trabalho em equipe, métodos de solução de problemas, controle estatístico do processo, confiabilidade e manutenibilidade, noções básicas de lubrificação, de hidráulica, pneumática, elétrica e desenho.

Como o FTPM é um dos dez elementos do FPS, outros treinamentos referentes aos outros nove elementos também são ministrados em paralelo para os times, como por exemplo; conceitos sobre dispositivos a prova de erro, troca rápida de ferramentas, 5 S's, gerenciamento visual, técnicas de reunião, liderança e outros específicos de cada um dos nove elementos.

- Melhoria da eficiência global dos equipamentos

Com base na identificação e eliminação das perdas tratadas pelo FTPM mostradas na Figura 3.10, a melhoria global dos equipamentos acarreta ganhos de qualidade, de produtividade, de custos, segurança do trabalho e satisfação dos consumidores.

Essas melhorias são medidas pelo índice de Eficiência Global do Equipamento, representado pela sigla OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) apresentado em detalhes no item 2.3.9 da presente Dissertação.

- por falha ou quebra de equipamento
- por preparação ou ajuste
- por desgaste de ferramentas
- por ociosidade e pequenas paradas
- por velocidade reduzida
- por refugos e retrabalhos no início de produção

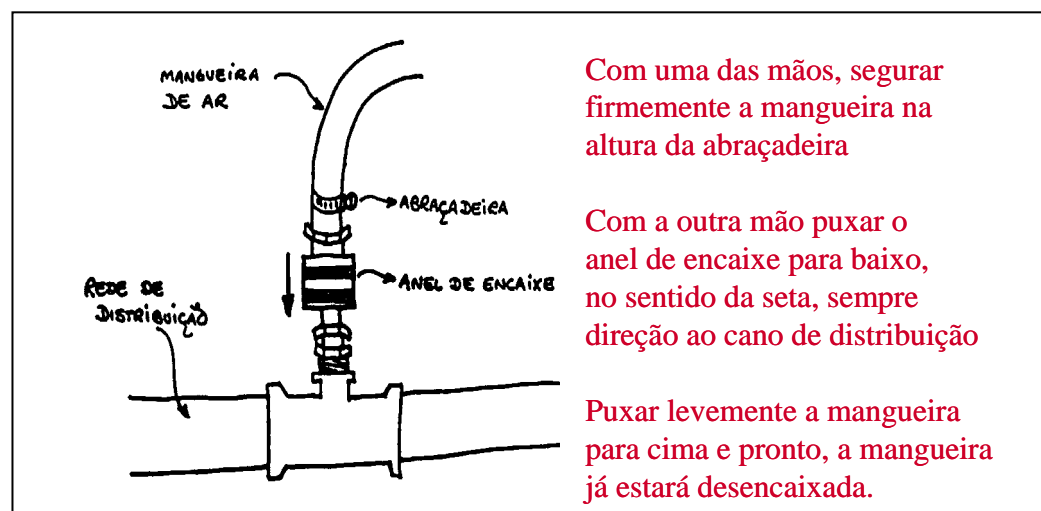
Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.10 – As perdas abordadas pelo FTPM

3.2.4 OS TRÊS TESOUROS DO FTPM

Na implementação do FTPM, três fatores são considerados fundamentais e portanto, denominados tesouros:

- A Lição de Ponto Único que é uma ferramenta de treinamento para execução de tarefas. Geralmente elaborada pelos membros dos times, apresenta-se como um procedimento escrito, porém buscando minimizar a quantidade de textos e maximizar a quantidade de auxílios visuais afim de que se torne auto-explicativa. Um exemplo de lição de ponto único é mostrado na Figura 3.11.



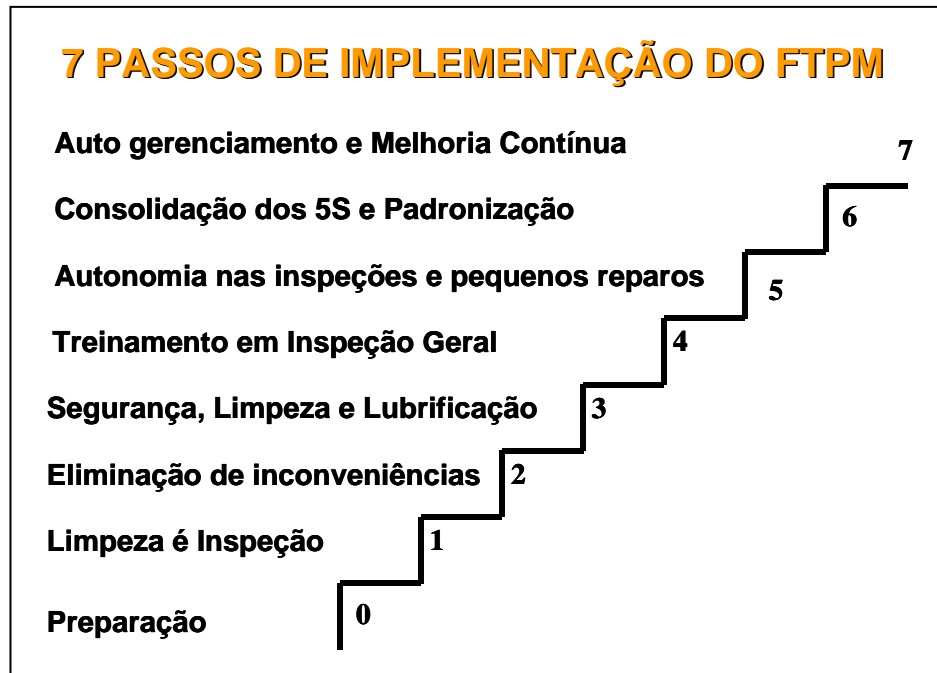
Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.11 – Exemplo de Lição de Ponto Único (LPU)

- O Quadro de Atividades do time que tem como objetivo promover de forma padronizada a comunicação entre turnos do mesmo time e entre times. Nesse quadro estão expostas a foto e a identificação do time, os indicadores, agenda e atas de reunião, planos de ação, as lições de ponto único, informações de segurança e demais informações referentes não somente ao FTPM, mas à todo o FPS e necessárias ao auto-gerenciamento do time.
- As Reuniões dos times, nas quais são tratados assuntos de interesse geral, bem como avaliados os indicadores de performance do time, além do nível de implementação do FTPM e dos demais elementos do FPS. Para essas reuniões, a diretoria da Ford cobra rigidamente a presença dos facilitadores, afim de que se possa dar todo o suporte necessário aos times.

3.2.5 OS SETE PASSOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DO FTPM

Conforme mostrado na Figura 3.12, a implementação do FTPM se dá por meio da implementação dos sete passos que equivalem aos sete passos da manutenção autônoma apresentados no Capítulo 2 desse trabalho. Os sete passos do FTPM são precedidos de uma etapa preparatória denominada passo zero que equivale às seis primeiras etapas de implementação do TPM.



Fonte: O autor

Figura 3.12 – Sete passos de implementação do FTPM

Passo 0 - Preparação

Nesse passo as seguintes atividades são desenvolvidas:

- treinamento e conscientização sobre os conceitos e importância do FTPM;
- identificação do time;
- escolha dos facilitadores de FTPM do time;
- estabelecimento do calendário de reuniões;
- treinamento em lições de ponto único;
- instalação do quadro de atividades;
- preparação dos indicadores de eficiência global dos equipamentos (OEE), de confiabilidade e manutenibilidade (MTBF e MTTR);
- Estabelecimentos dos objetivos;
- Estabelecimento da máquina didática.

Passo 1 - Limpeza e Inspeção

Nesse passo, o enfoque é aproveitar o ato da limpeza das máquinas para a inspeção e identificação de partes soltas, desgastes, desalinhamentos, fontes de contaminação, danos gerais, riscos de acidente e pontos de difícil acesso. O uso da audição, do olfato, do tato e da visão como meios rápidos de inspeção é bastante difundido a partir desse passo. Padrões e procedimentos preliminares de limpeza são elaborados.

Em cada time em que se inicia a implementação do passo 1, é estabelecido de forma cerimoniosa, o Dia da Limpeza Inicial, onde partindo-se de uma máquina denominada didática, todos os conceitos de inspeção e de limpeza referentes aos 5S's e também de identificação dos pontos de difícil acesso são apresentados ao time.

Efetua-se então a limpeza e organização de todas as máquinas e da própria área, já com especial atenção para a identificação dos pontos de travamento das fontes de energia e de riscos de acidente.

Durante as inspeções, as inconveniências que não puderem ser eliminadas de imediato, são identificadas para eliminação posterior com etiquetas azuis ou vermelhas conforme modelo apresentado na Figura 3.13.

Esta etiqueta fica no equipamento

Classificação da Inconveniência: 1 2 3 4 5

Identificação: Data: ___/___/___

Equipamento: _____

B.T.: _____ O.P.: _____

Coluna: _____ Time: _____

Detectado por: _____

Time: _____

Descrição do problema:

1 - Segurança 2 - Fontes de Contaminação
3 - Difícil acesso 4 - 5 S's 5 - Outros

Fonte: rede de comunicação interna da Ford Motor Company

Figura 3.13 – Etiquetas para identificação de inconveniências

Apesar do mesmo conteúdo cada uma das etiquetas tem um propósito distinto. As azuis identificam as inconveniências que o próprio time é capaz de eliminar.

Já as vermelhas identificam as inconveniências para as quais o time ainda não está apto e necessita de recursos externos para resolvê-las.

- Passo 2 – Eliminação das inconveniências: Fontes de Contaminação e Pontos de Difícil Acesso

Nesse passo o enfoque é fazer com que o time compreenda a importância de se eliminar as fontes de contaminação e o impacto dessas fontes sobre os riscos de acidente, manutenção da limpeza e organização, paradas de máquina, custos com lubrificantes e com a limpeza. Os pontos de difícil acesso também são bastante enfocados por dificultarem a limpeza, inspeção e manutenção e preparação dos equipamentos

Por meio de um controle das etiquetas, feito manualmente ou via computador, os times avaliam quais os tipos de inconveniências de maior ocorrência, programam as datas de eliminação, bem como auto-avaliam seu grau de maturidade, que aumenta à medida que mais etiquetas azuis e menos vermelhas são emitidas.

- Passo 3 – Procedimentos de segurança, de limpeza e de lubrificação

Nesse passo, dada a experiência adquirida nos passos anteriores, o time revisa e aprimora as lições de ponto único referentes à limpeza e lubrificação, bem como as freqüências de execução. Especial atenção segue sendo dada a questão da segurança, com revisão da identificação dos pontos de travamento das fontes de energia e aperto de parafusos de segurança. Lições de ponto único de lubrificação elaboradas nesse passo chamam a atenção para a verificação periódica dos níveis de lubrificantes, onde um consumo excessivo, a falta de consumo ou até mesmo um aumento dos níveis nos reservatórios, são sinais evidentes de falhas no equipamento.

- Passo 4 – Treinamento em inspeção geral

Nesse passo o enfoque é a realização de treinamentos técnicos ligados a hidráulica, pneumática, mecânica, elétrica e eletrônica básica. Esses treinamentos têm a função de melhorar a qualidade e o grau de profundidade das inspeções e das análises das causas das inconveniências detectadas durante as inspeções.

- Passo 5 – Inspeções e Procedimentos

A experiência adquirida nos passos anteriores e principalmente no passo quatro, propicia aos times o aumento do uso das lições de ponto único, além de lhes permitir também a seleção e aplicação de técnicas de manutenção mais elaboradas como por exemplo a manutenção preditiva e a manutenção centrada na confiabilidade.

- Passo 6 – Organização do local de trabalho e garantia da qualidade

A consolidação dos conceitos de 5S é o enfoque desse passo, principalmente no que se refere à organização, limpeza, segurança e padronização das tarefas.

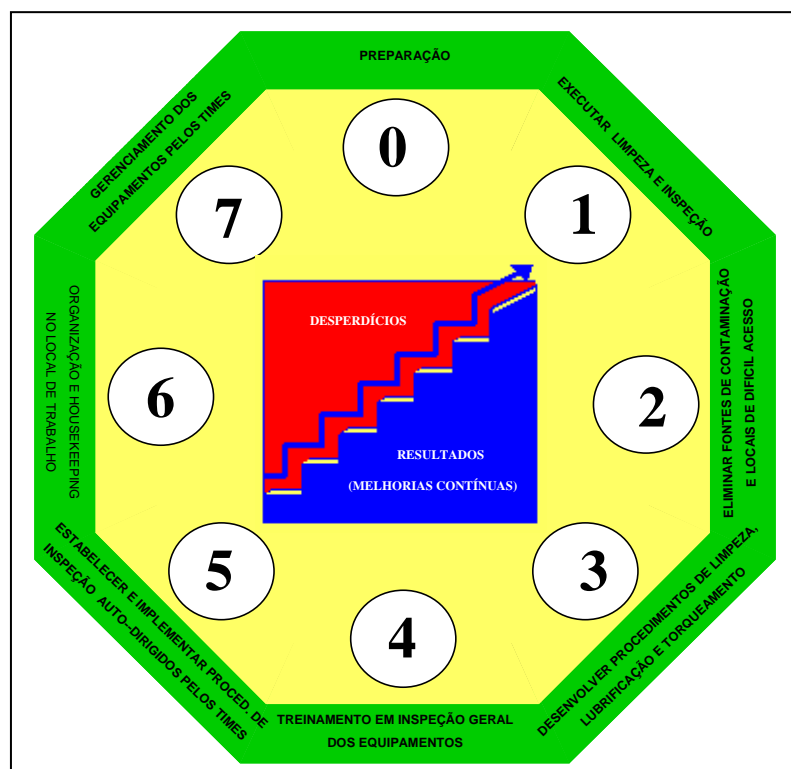
Também conceitos de dispositivos à prova de erro, troca rápida de ferramenta e de manutenção, além do aprimoramento dos controles de processo e de produto são difundidos nesse passo.

- Passo 7 – Gerenciamento dos equipamentos

Esse passo é considerado implementado quando o time apresenta um processo de melhoria contínua baseado na aplicação sistemática dos métodos de solução de problemas. O resultado dessa aplicação deve estar refletido no indicador de eficiência global dos equipamentos (OEE) e nos demais indicadores do FPS mencionados no item 3.1.6 desse capítulo e que também são direta ou indiretamente afetados pela implementação do FTPM.

3.2.6 – PROCESSO DE AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO FTPM

A implementação de cada um dos sete passos do FTPM é avaliada inicialmente pelos próprios times, que julgando-se aptos na auto-avaliação, solicitam a avaliação de um comitê interno de especialistas em FTPM e posteriormente da gerência da área, caso a avaliação do comitê tenha sido satisfatória. Ao terem o passo avaliado como satisfatório, os times recebem da gerência um selo a ser colocado em um quadro em forma de relógio mostrado na Figura 3.14 e que indica a evolução da implementação do FTPM no time.



Fonte: rede de comunicação interna da *Ford Motor Company*

Figura 3.14 – Relógio de evolução da implementação do FTPM

4 METODOLOGIA

4.1 – CLASSIFICAÇÃO

A metodologia aplicada neste trabalho pode ser classificada como explicativa quanto aos fins. Quanto aos meios, o trabalho pode ser considerado um estudo de caso e investigação (VERGARA, 2000, p.46-49), pois descreve a metodologia de implementação do TPM utilizada pela empresa objeto de estudo, por meio da apresentação teórica dessa metodologia e da análise dos resultados obtidos em um caso real de implementação.

4.2 – COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Seguindo um padrão mundial de medição dos resultados obtidos com a implementação do TPM, a *Ford Motor Company* também aplica o índice de Eficiência Global do Equipamento, mais conhecido por OEE do inglês *Overall Equipment Effectiveness*, para medição dos resultados da implementação do FTPM, sua versão adaptada do TPM.

Conforme detalhado no item 2.3.9 da presente Dissertação, o OEE é um índice percentual obtido pela multiplicação de outros três índices percentuais que são:

- Disponibilidade do Equipamento, que mede a relação entre o tempo teórico que o equipamento deveria ter operado e o tempo que realmente operou, devido as quebras e paradas para manutenção ou troca de ferramentas;
- Performance operacional que mede a relação entre a velocidade teórica e real de operação do equipamento, abordando as perdas por espera e bloqueio, pequenas paradas e velocidade reduzida;
- Qualidade do produto que mede a relação entre peças boas e peças refugadas ou retrabalhadas.

Para elaboração desta Dissertação foram coletados os valores mensais de OEE e de seus três índices constituintes registrados pelo time estudado, desde o início da implementação do FTPM em junho de 1999 até dezembro de 2003. Esses valores são apresentados na Tabela 5.1 do Capítulo Cinco.

De junho a dezembro de 1999 os valores de OEE e de seus constituintes eram registrados, calculados e dispostos manualmente na forma de gráficos pelo time estudado e divulgados no Quadro de Atividades do time. A partir de janeiro de 2001 esses dados passaram a ser lançados pelo time em uma planilha eletrônica que automaticamente calcula os índices e emite os respectivos gráficos.

Com base nos índices coletados foram efetuadas as análises das causas de variação desses índices e das melhorias implementadas no mesmo período, bem

como uma comparação entre a previsões dos valores à serem atingidos e o objetivo de OEE estabelecidos para o time estudado. Também foram apresentadas algumas sugestões para melhoria dos resultados.

A seguir são apresentados os passos utilizados nesta Dissertação para análise da implementação do FTPM no time estudado e dos resultados obtidos com essa implementação:

Passo 1: Definição do time e do período a ser estudado com base na qualidade e disponibilidade dos dados;

Passo 2: Coleta dos dados registrados em papel e meio eletrônico referentes ao OEE e seus três índices constituintes;

Passo 3: Coleta dos registros de melhoria resultantes da implementação do FTPM. Esses registros referem-se a quantidade e tipo de: trocas rápidas e dispositivos à prova de erro implementados, Lições de Ponto Único e etiquetas de identificação de inconveniência;

Passo 4: Elaboração dos gráficos de OEE, Disponibilidade do Equipamento, Performance Operacional e Qualidade do Produto;

Passo 5: Elaboração das retas e equações de tendência para os índices estudados, com base no Método dos Mínimos Quadrados aplicado à séries temporais e também com base na estatística de teste F aplicada na análise de variância dos erros de regressão das séries.

A estatística de teste F foi utilizada como auxílio na tomada de decisão sobre a utilização total ou parcial das séries temporais de Performance Operacional e Qualidade do Produto, pelo fato de que essas duas séries apresentaram uma mudança significativa de seu valor médio durante o período estudado;

Passo 6: Análise das retas de tendências e dos pontos mais significativos dos índices

Neste passo buscou-se avaliar a inclinação da linha de tendência, ou seja, se os dados estudados mostravam uma tendência de melhoria ou não. Também foram analisadas as causas de variação com base no histórico de cada índice e nas melhorias implementadas levantadas no passo três;

Passo 7: Elaboração de previsões para os índices.

Com base nas equações de tendência elaboradas no passo cinco, foram efetuadas previsões sobre o comportamento de cada índice estudado.

Passo 8: Comparação das previsões com os objetivos de OEE estabelecidos pela gerência do time estudado.

Nesse passo buscou-se comparar as previsões realizadas no passo sete com os objetivos de OEE de 72% estabelecido pela gerência do time e

de 85% estabelecido corporativamente pela *Ford Motor Company*. Essa comparação serviu principalmente para verificar se os resultados obtidos com a implementação do FTPM estão sendo sustentados ao longo do tempo;

Passo 9: Elaboração de sugestões para melhoria dos índices estudados.

Neste passo foram utilizados os conceitos de TPM e FTPM estudados na Revisão da Literatura e no Capítulo três desta Dissertação para a proposta de algumas ações capazes de auxiliar na melhoria dos resultados e no alcance dos objetivos definidos para o time.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste Capítulo são apresentados e discutidos os valores mensais de Eficiência Global do Equipamento (OEE), coletados no time estudado, bem como os três índices que compõem o OEE que são Disponibilidade do Equipamento, Performance Operacional e Qualidade do Produto, conforme detalhado no item 2.3.9 da presente Dissertação. A Tabela 5.1 apresenta os valores coletados de OEE e seus constituintes.

Composto em média por cinco pessoas por turno, que operam um mesmo equipamento de usinagem do tipo *transfer*, o time estudado iniciou suas operações em setembro de 1996. Em junho de 1999, deu início a implementação do FTPM que foi concluída em setembro de 2001.

Embora a implementação do FTPM tenha sido concluída pelo time em setembro de 2001, foram coletados e analisados os dados de OEE até dezembro de 2003, para se observar ao longo do tempo o efeito dessa implementação na Eficiência Global do Equipamento e a capacidade do time em manter os resultados alcançados.

Antes de junho de 1999, ou seja, antes do início da implementação do FTPM não existem registros adequados para a extensão do estudo.

5.1 DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO

Os dados disponíveis no time mostram que as principais causas de parada do equipamento estudado estão relacionadas principalmente à:

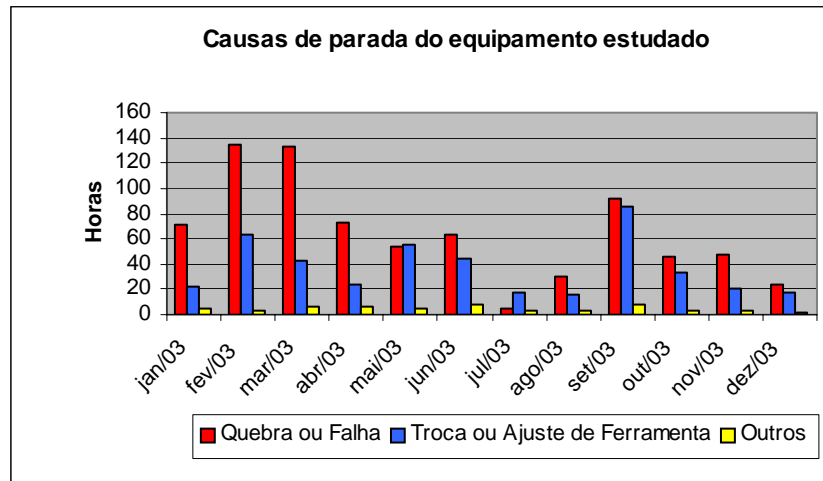
- colisões das estações e dos transportadores de peça;
- trocas e ajustes de ferramenta;
- falhas de programação e de componentes eletrônicos;
- falhas no sistema hidráulico e de refrigeração
- aquecimento do equipamento no início de produção
- quebra ou travamento dos fusos das estações;
- quebras de garras de fixação de peças e ferramentas.

Tabela 5.1 - Valores coletados de OEE e seus constituintes

Mês	Disponibilidade [%]	Performance [%]	Qualidade [%]	OEE [%]
Jun/99	31	21	93	6
Jul/99	55	25	92	13
Ag/99	43	41	85	15
Set/99	53	30	94	15
Out/99	52	49	95	24
Nov/99	44	46	92	19
Dez/99	52	92	91	44
Jan/00	32	58	93	17
Fev/00	48	51	84	21
Mar/00	51	50	91	23
Abr/00	49	47	91	21
Mai/00	49	48	84	20
Jun/00	45	67	84	25
Jul/00	67	90	96	58
Ag/00	68	79	95	51
Set/00	46	72	93	31
Out/00	50	79	93	37
Nov/00	36	97	97	34
Dez/00	75	46	95	33
Jan/01	78	42	95	31
Fev/01	65	49	97	31
Mar/01	60	37	96	21
Abr/01	67	86	97	56
Mai/01	57	90	97	50
Jun/01	44	83	97	35
Jul/01	67	84	97	55
Ag/01	67	88	96	57
Set/01	65	71	97	45
Out/01	64	94	98	59
Nov/01	60	98	98	58
Dez/01	67	83	98	54
Jan/02	66	67	97	43
Fev/02	57	88	96	48
Mar/02	59	74	97	42
Abr/02	68	89	97	59
Mai/02	62	83	96	49
Jun/02	59	76	97	43
Jul/02	55	74	97	39
Ag/02	65	84	97	53
Set/02	74	75	97	54
Out/02	76	72	98	54
Nov/02	63	84	98	52
Dez/02	70	70	98	48
Jan/03	70	83	98	57
Fev/03	49	95	97	45
Mar/03	52	94	98	48
Abr/03	69	79	98	53
Mai/03	64	88	98	55
Jun/03	64	85	98	53
Jul/03	75	81	99	60
Ag/03	59	75	98	43
Set/03	60	86	98	51
Out/03	56	91	96	49
Nov/03	53	78	98	41
Dez/03	53	92	98	48

Fonte: o autor

A Figura 5.1 apresenta o total de horas paradas do equipamento estudado no ano de 2003, ocasionadas por quebra ou falha do equipamento, por troca ou ajuste de ferramentas e por outras causas menos significativas.



Fonte: o autor

Figura 5.1 – Causas de parada do equipamento estudado

Os dados de Disponibilidade do Equipamento coletados no período de junho de 1999 à dezembro de 2003, mostrados anteriormente na Tabela 5.1, estão representados no gráfico da Figura 5.2, bem como a reta de tendência linear desses valores e o respectivo coeficiente de correlação.

A linha de tendência mostrada no índice de Disponibilidade resulta da aplicação da Equação 5.1, obtida por meio do Método dos Mínimos Quadrados.

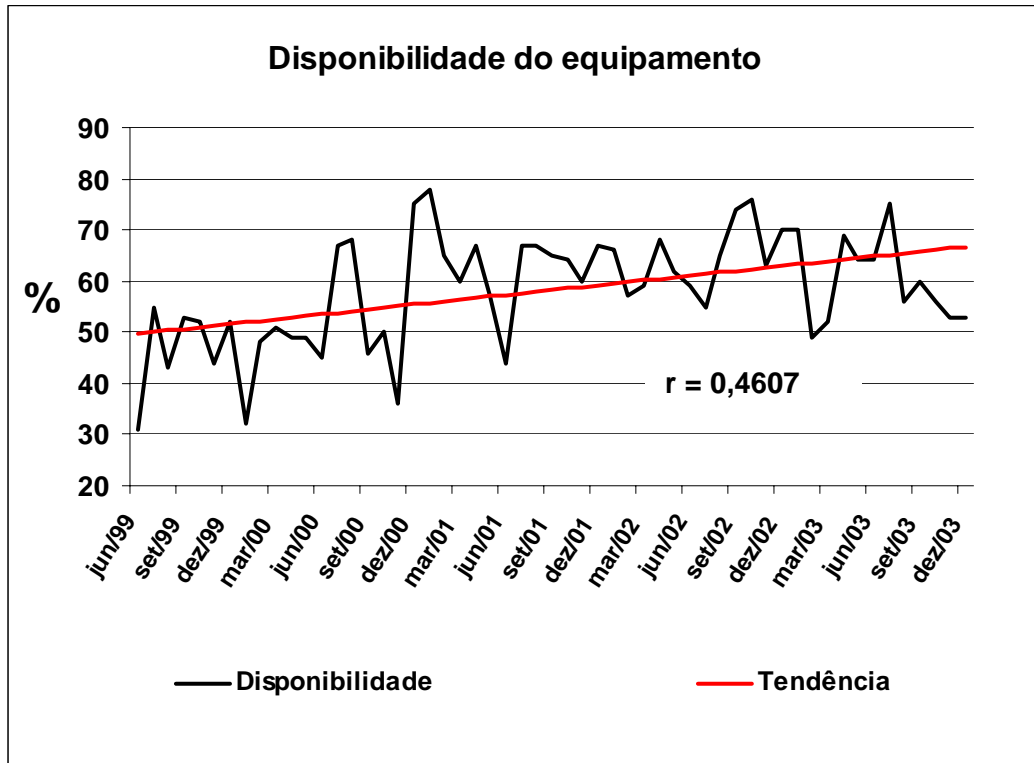
$$Y_D = 49,4323 + 0,3138 t$$

Equação 5.1

Os valores de t dessa equação representam a posição relativa dos meses e foram tomados de tal forma que o mês de junho de 1999 refere-se à t igual a um, e o mês de dezembro de 2003 refere-se a posição de t igual a 55.

Quanto a tendência do índice de Disponibilidade, pode-se observar uma melhoria ao longo do tempo, devida principalmente à implementação das seguintes ações:

- treinamento dos membros do time nas tarefas de operação, de limpeza, de inspeção e de pequenos reparos;
- emissão de Lições de Ponto Único (LPU) diretamente ligadas a prevenção de falha no equipamento, bem como o aproveitamento de LPU emitidas por outros times;



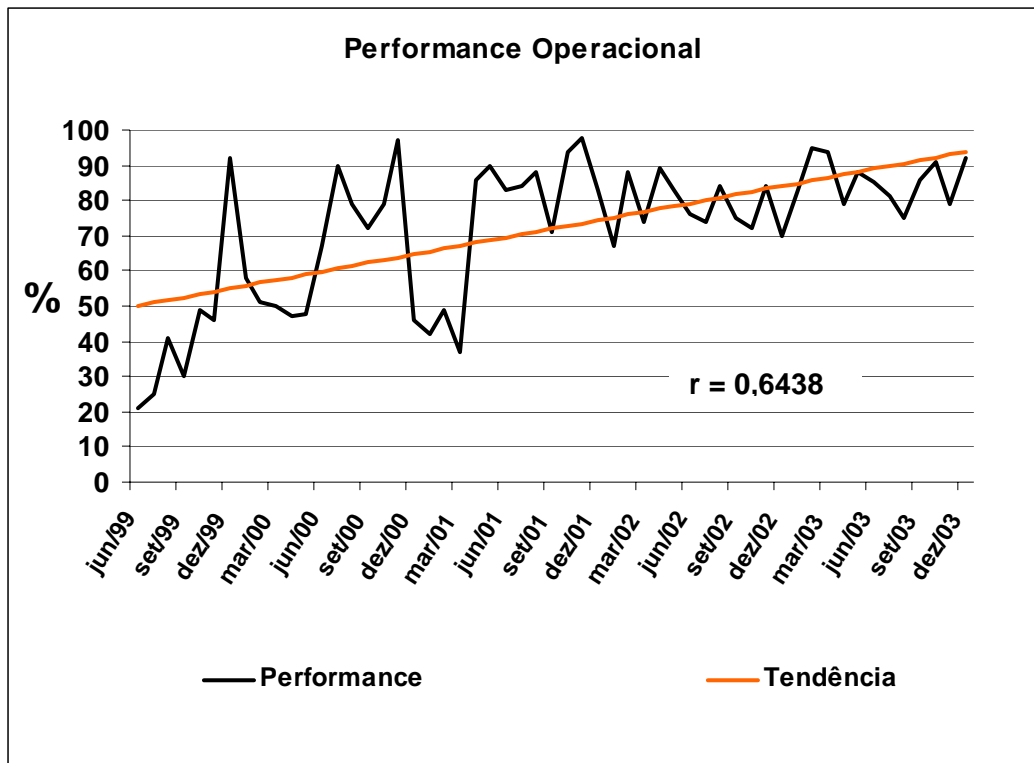
Fonte: o autor

Figura 5.2 – Índice de Disponibilidade do Equipamento do time estudado

- melhorias nos tempos de troca de ferramentas baseadas no conceito de Troca Rápida;
- melhorias nos sistemas de fixação de ferramentas;
- melhorias no sistema de refrigeração de ferramentas e do próprio equipamento
- redução nos tempos de reparo devido a maior disponibilidade de peças de reposição, treinamento em manutenção e melhoria das condições de limpeza do equipamento;
- emissão de etiquetas azuis e vermelhas para identificação de inconveniências diretamente ligadas a disponibilidade do equipamento, como por exemplo: vazamentos, pontos de difícil acesso para manutenção e troca de ferramentas;
- implementação de dispositivos a prova de erro mecânicos e eletrônicos, relacionados diretamente a prevenção e a detecção de falhas no equipamento;
- melhorias no programação eletrônica do equipamento.

5.2 PERFORMANCE OPERACIONAL

Os dados de Performance Operacional, mostrados anteriormente na Tabela 5.1, estão representados graficamente na Figura 5.3, bem como a tendência linear desses valores e o respectivo coeficiente de correlação.



Fonte: o autor

Figura 5.3 – Índice de Performance Operacional do time estudado

A tendência linear do índice de Performance Operacional foi obtida a partir da Equação 5.2.

$$Y_p = 49,2808 + 0,8095 t \quad \text{Equação 5.2}$$

Os baixos valores de performance entre junho de 1999 e março de 2001 são devidos principalmente à problemas de qualidade de matéria prima, que ocasionavam paradas e necessidade de redução nas velocidades de operação do equipamento.

Após melhorias no processo de obtenção da matéria prima relacionadas principalmente com o excesso de sobremetal para usinagem e com os erros de tolerância de forma e posição, o índice de Performance atingiu um novo patamar de valores a partir de abril de 2001.

As variações a partir de abril 2001 estão ainda relacionadas aos mesmos problemas de matéria prima, porém com menor intensidade quando comparadas ao período anterior a esta data. Estão também relacionadas à espera para uso de um determinado equipamento de medição necessário em uma das etapas do processo, à

pequenas paradas por falta de ferramentas e à outras pequenas paradas que acabam não sendo apontadas no índice de Disponibilidade.

Devido a mudança do nível médio da série a partir de abril 2001, previsões para o índice de Performance Operacional baseadas na linha de tendência para todo o período estudado, podem resultar em valores inadequados. Uma nova linha de tendência para os valores coletados a partir de abril 2001, resultou em uma variância (S_2^2) dos erros menor que a variância (S_1^2) dos erros ocasionados pela linha de tendência calculada para todo o período estudado. Matematicamente essa hipótese pode ser expressa por:

$$H_0 : S_1^2 \leq S_2^2 \quad \text{Equação 5.3}$$

A aplicação da estatística de teste F (TRIOLA, 1998, p.215-222) representada pela Equação 5.4 para as duas séries de Performance, resultou em um valor calculado de F maior que o valor de F crítico, para um nível de confiança de 99%.

$$F_{\text{calculado}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad \text{Equação 5.4}$$

$$F_{\text{calculado}} = \frac{237,5111}{62,6832} \Rightarrow F_{\text{calculado}} = 3,7890$$

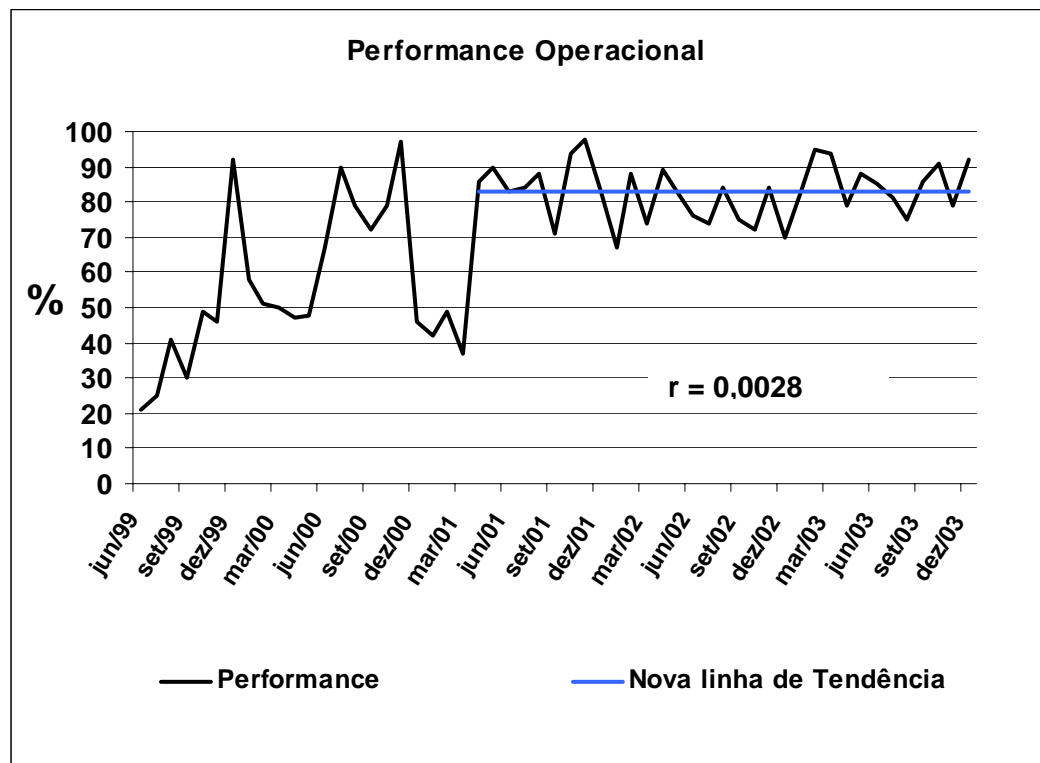
Sendo $F_{\text{crítico}} = 2,1978 < F_{\text{calculado}}$, a hipótese $H_0 : S_1^2 \leq S_2^2$ pode ser rejeitada e a linha de tendência obtida com base nos valores a partir de abril 2001 pode ser considerada a mais adequada entre as duas linhas de tendência estudadas, para previsão dos novos valores de Performance.

O valor de $F_{\text{crítico}}$ foi obtido com o auxílio de uma tabela de Distribuição F para $\alpha = 0,01$ à direita e $n-1$ graus de liberdade do denominador e do numerador iguais a 32 e 54 respectivamente (TRIOLA, 1998, p.359).

O gráfico da Figura 5.4 apresenta a nova linha de tendência calculada para os valores obtidos a partir de abril 2001.

A linha de tendência desenhada no gráfico da Figura 5.4 é o resultado da aplicação da Equação 5.5.

$$Y_{P_{\text{corrigido}}} = 83,0208 + 0,0023 t \quad \text{Equação 5.5}$$



Fonte: o autor

Figura 5.4 – Nova linha de tendência corrigida da Performance Operacional

Por ser o coeficiente angular da Equação 5.5 muito próximo de zero, as previsões de novos valores de performance operacional do equipamento resultarão em um valor praticamente constante de 83%.

Como o time estudado necessita alcançar valores de performance mais elevados para atingir seus objetivos finais de OEE, se faz necessária uma implementação mais acelerada das ações previstas para eliminação das causas de redução da Performance relacionadas à matéria prima e às paradas por espera e bloqueio do equipamento.

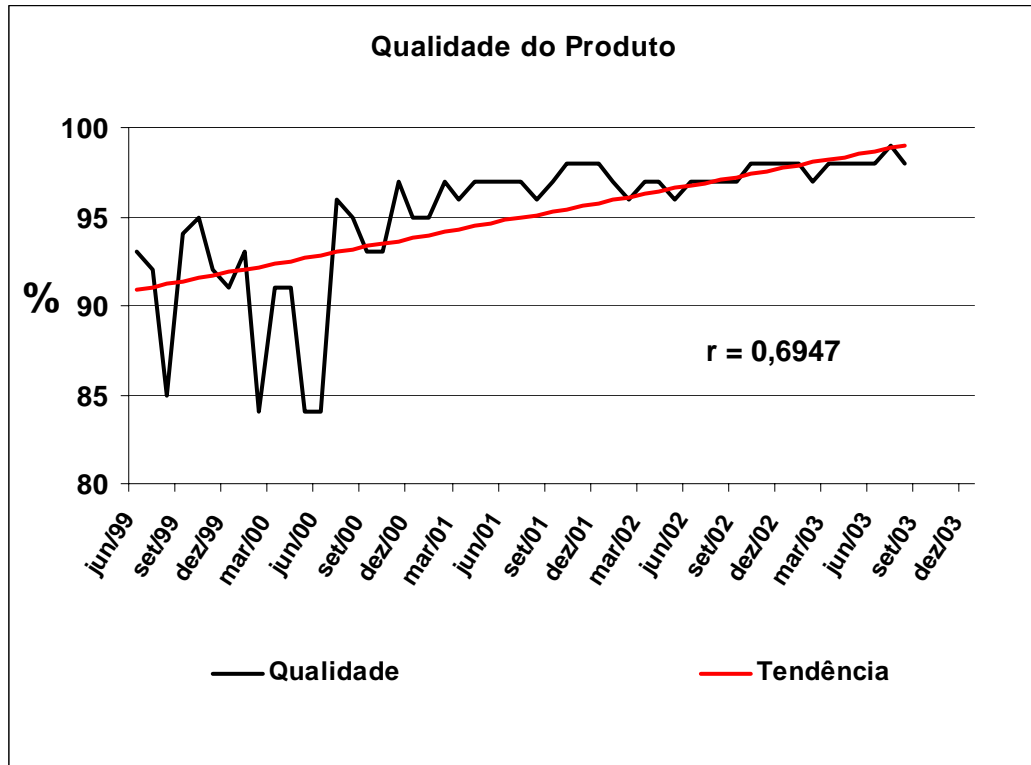
5.3 QUALIDADE DO PRODUTO

Os dados de Qualidade do Produto, mostrados anteriormente na Tabela 5.1, estão representados graficamente na Figura 5.5, bem como sua tendência linear e o seu respectivo coeficiente de correlação.

A curva de tendência linear do índice de Qualidade do Produto foi obtida a partir da Equação 5.6.

$$Y_Q = 90,7212 + 0,1626t$$

Equação 5.6



Fonte: o autor

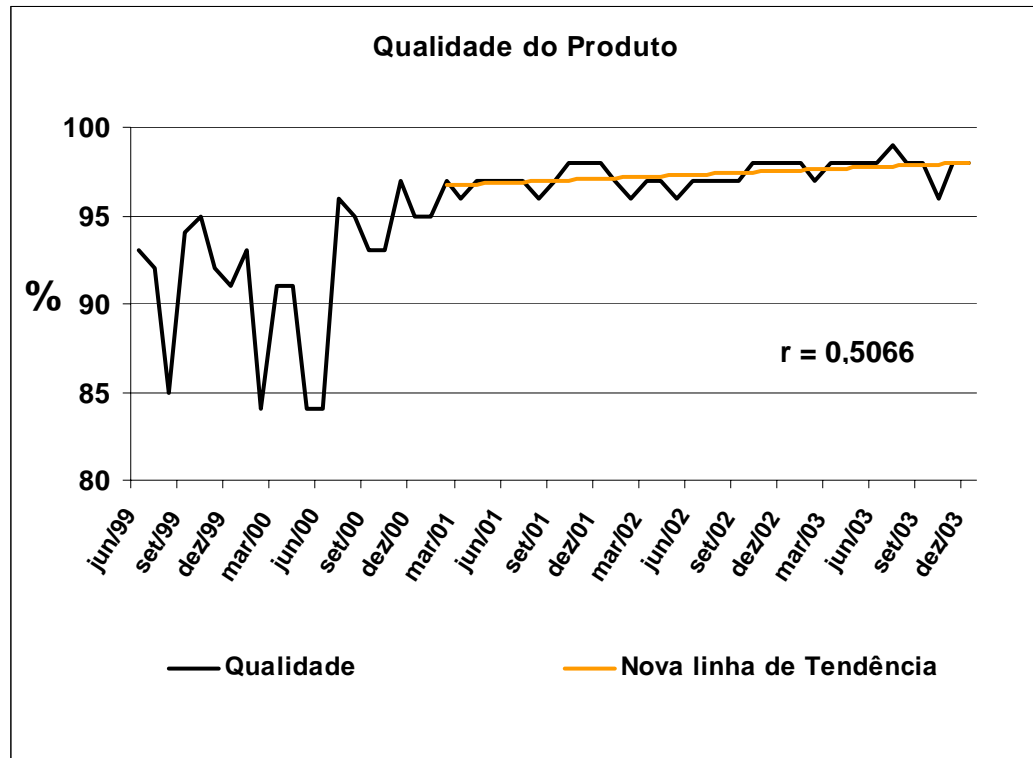
Figura 5.5 – Índice de Qualidade de Produto do time estudado

Os problemas que ocasionaram reduções no índice de Qualidade entre junho de 1999 e janeiro de 2001 foram solucionados basicamente com a implementação de um dispositivo a prova de erros (*pokayoke*) para impedir a colocação do produto de forma inversa na placa de alimentação e fixação de peças e com revisão e reciclagem do treinamento em calibração de um equipamento de medição de determinadas características intermediárias do processo com base na aplicação dos conceitos de lições de ponto único e de gerenciamento visual.

Devido à mudança do nível médio da série a partir de fevereiro de 2001, previsões para o índice de Qualidade baseadas na linha de tendência para todo o período estudo podem levar a valores inadequados. Portanto uma nova linha de tendência foi obtida desprezando-se os valores anteriores a fevereiro de 2001.

A mesma metodologia de análise das variâncias utilizada para o índice de Performance foi aplicada para o índice de Qualidade, resultando em um valor de ($F_{\text{crítico}} = 2,1603 < F_{\text{calculado}} = 16,7281$) com um nível de confiança de 99%, o que corrobora a decisão de desconsiderar os dados coletados até janeiro de 2001 para previsões do índice de Qualidade.

O gráfico da Figura 5.6 apresenta a nova linha de tendência do índice de Qualidade calculada para os valores coletados a partir de fevereiro de 2001.



Fonte: o autor

Figura 5.6 – Nova linha de tendência corrigida da Qualidade do Produto

A nova linha de tendência corrigida do índice de Qualidade do Produto foi obtida a partir da Equação 5.7

$$Y_{Q_{\text{corrigido}}} = 96,6622 + 0,0378 t \quad \text{Equação 5.7}$$

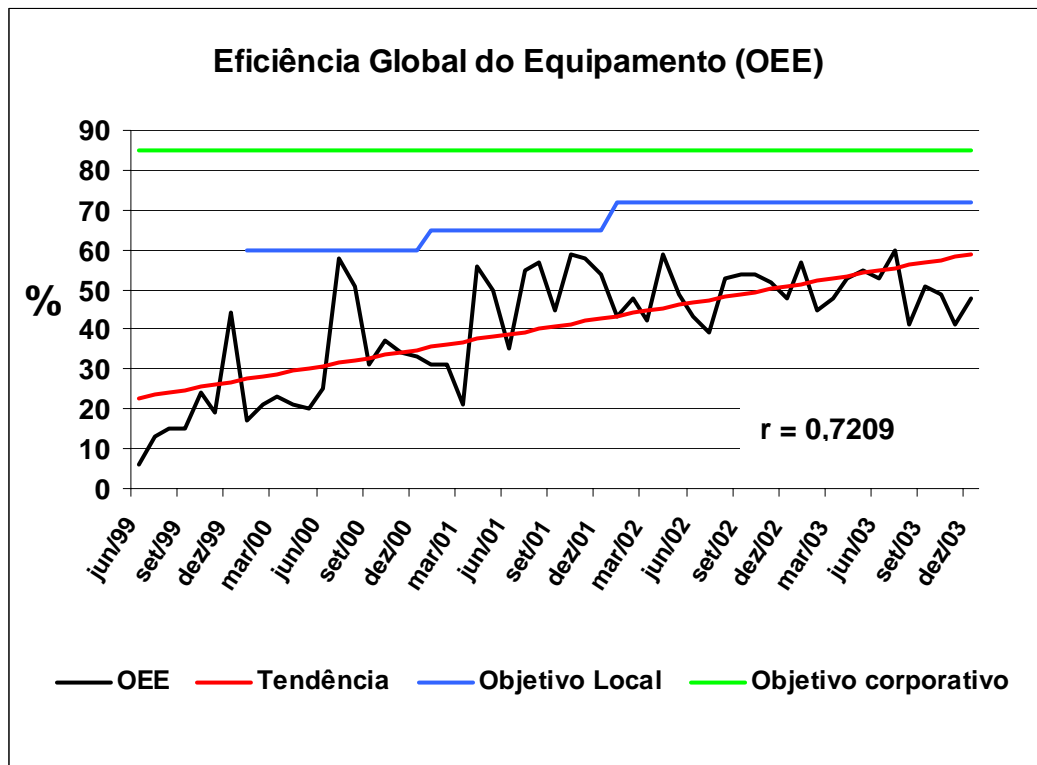
Com base na Equação 5.7, as previsões de novos valores de Qualidade do Produto resultarão em um valor de 98% até janeiro de 2005 e 99% até abril de 2007, passando então ao nível de 100%.

5.4 EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)

O índice de Eficiência Global do Equipamento (OEE) é obtido a partir da multiplicação dos índices de Disponibilidade, Performance e Qualidade discutidos anteriormente. Os valores de OEE coletados entre junho de 1999 e dezembro de 2003 são mostrados no gráfico da Figura 5.7, assim como a linha tendência desses valores e os objetivos estabelecidos pela Gerência do time.

A linha de tendência do OEE foi obtida a partir da Equação 5.8.

$$Y_{OEE} = 22,1515 + 0,6660 t \quad \text{Equação 5.8}$$



Fonte: o autor

Figura 5.7 – Índice de Eficiência Global do Equipamento estudado (OEE)

Visto que mudanças ocorreram nos níveis das séries de Performance e Qualidade conforme analisado anteriormente, a aplicação da Equação 5.8 pode conduzir a erros na previsão de valores futuros de OEE, principalmente quando se busca prever a data de alcance do objetivo local de 72%, estabelecido pela Gerência do time estudado e o corporativo de 85%.

Para evitar tais erros de previsão, foram utilizadas as previsões individuais dos índices de Disponibilidade, Performance e Qualidade, já com as correções das linhas de tendência e a posterior multiplicação entre eles, obtendo-se então previsões mais adequadas do OEE.

O Quadro da Figura 5.8 apresenta uma comparação entre as previsões de OEE utilizando-se a linha de tendência expressa pela Equação 5.8 e as previsões obtidas pela multiplicação das previsões individuais corrigidas de cada um dos constituintes do OEE, confirmando ser mais adequado o uso da segunda forma para previsão dos índices estudados.

	Dez/04	Dez/05	Dez/06	Objetivo local (72%)	Objetivo corporativo (85%)
Previsão de OEE (Eq. 5.8)	67%	75%	83%	agosto de 2005	março de 2007
Previsão de OEE (tendências individuais)	58%	61%	64%	janeiro de 2009	Máximo de 84% junho de 2016

Fonte : o autor

Figura 5.8 – Comparação entre as duas formas de previsão do OEE

Analisando-se todo o período de dados coletados, a tendência positiva apresentada no índice de OEE se deve às ações melhorias relacionadas a implementação do FTPM no time estudado. Entre elas:

- a emissão durante o período estudado de aproximadamente 150 etiquetas entre azuis e vermelhas para a identificação de inconveniências, cujo modelo é apresentado no item 3.2.5 da presente Dissertação;
- emissão pelo próprio Time ou aproveitamento de um total de 38 Lições de Ponto Único
- implementação de 15 dispositivos à prova de erro, os chamados *pokayokes* ou *error proofing devices*, relacionados a qualidade do produto e a disponibilidade do equipamento;
- implementação de cinco trocas rápidas de ferramenta;
- aplicação de treinamentos em conceitos relacionados não somente ao FTPM, mas à todos os elementos do Sistema de Produção Ford.

Porém a mesma tendência de melhoria não pode ser observada quando são avaliadas as linhas de tendência dos índices de Performance Operacional e Qualidade do Produto, calculadas com base nos dados coletados a partir de abril de 2001 e fevereiro de 2001 respectivamente. Essas linhas apresentam coeficientes angulares muito próximos de zero, o que na prática representa uma estagnação na implementação de melhorias em relação a todo o período estudado.

Essa estagnação em conjunto com a instabilidade apresentada no índice de Disponibilidade do Equipamento, acabou resultando em valores de OEE abaixo dos objetivos estipulados pela empresa. Também a ausência de objetivos específicos para cada um dos constituintes, pode ser considerada como um inibidor para o alcance dos objetivos estabelecidos para o OEE.

A Figura 5.9 apresenta uma sugestão de objetivos à serem perseguidos pelo time, afim de se alcançar os objetivos de OEE. Levou-se em conta para a elaboração dessa sugestão, o nível atual dos índices, bem como o nível de conscientização e

aplicação dos conceitos de FTPM no time. Caberá a esse, em conjunto com a Gerência envolvida, o estabelecimento de prazos para o alcance dos objetivos sugeridos.

OEE = Disp x Perf x Qual	Objetivos Sugeridos		
	Disponibilidade	Performance	Qualidade
Objetivo estabelecido localmente 72%	81%	90%	99%
Objetivo estabelecido corporativamente 85%	90%	96%	99%

Fonte: o autor

Figura 5.9 - Sugestão de objetivos para o time estudado

O maior desafio nessa proposta é a melhoria no índice de Disponibilidade, por ter apresentado um valor médio de 59% nos últimos seis meses estudados e de 60% em 2003, tendo sido 75%, o maior valor alcançado no mesmo ano.

Quanto ao índice de Performance Operacional, a proposta não chega a ser tão desafiadora quanto para a Disponibilidade, visto que a média desse índice é de aproximadamente 84% nos últimos seis meses e de 85% em 2003.

O índice de Qualidade apresentou um valor médio de 97,8% tanto nos últimos seis meses estudados quanto em 2003. Portanto o objetivo sugerido poderá ser facilmente alcançado.

Para o alcance do objetivo de OEE de 72% estabelecido pela gerência local e de 85% estabelecido corporativamente, algumas outras ações devem requer maior ênfase e acompanhamento por parte do time estudado e da Gerência envolvida:

- intensificar a aplicação da técnica de pareto, do Método dos Cinco Por Quês e outras ferramentas de análise para a identificação das causas raízes das quebras e falhas do equipamento;
- avaliar a possibilidade de interferência da qualidade da energia de alimentação do equipamento no que se refere as queimas de componentes eletrônicos e oscilações de tensão registradas pelo time
- intensificar as ações para melhoria do Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e do Tempo Médio de Reparo (MTTR) do equipamento;
- utilizar os dados apontados na Curva de Crescimento da Confiabilidade para elaboração da Curva da Banheira e determinação do estágio do ciclo de vida em que o equipamento se encontra. Essa análise permitirá a revisão das políticas de

manutenção praticadas atualmente pelo time, levando em conta que a confiabilidade apresentava tendência positiva após aproximadamente 5800 horas de acompanhamento, passando então a uma tendência negativa que se manteve até o término do período estudado. Nessa análise também é importante verificar os custos iniciais e atuais para manutenção do equipamento afim de que se possa verificar se já não se apresenta com viável uma eventual reforma de suas partes mais afetadas;

- reciclar o treinamento sobre os conceitos de FTPM e retomar as auditorias específicas dos sete passos para sua implementação;
- intensificar o uso de novas lições de ponto único bem como das etiquetas de identificação de inconveniências, haja visto a utilização decrescente dessas duas importantes ferramentas após a implementação do FTPM em junho de 2001;
- intensificar o envolvimento da Manutenção, Logística, Qualidade, Engenharia de Produto e de Processos na avaliação da deterioração das medidas corretivas e preventivas anteriormente implementadas para melhoria dos índices de Performance e Qualidade.

De forma mais abrangente, a mesma avaliação de tendência dos índices descrita nesta Dissertação pode ser aplicada aos demais times da fábrica, possibilitando assim a identificação de eventuais situações similares que denotariam uma falha sistêmica na metodologia de implementação ou na sustentação da cultura do FTPM.

Como recomendação geral para obtenção de sucesso na implementação do TPM não somente na indústria automobilística, mas em qualquer outro tipo de indústria, pode-se destacar os seguintes pontos:

- um bom treinamento e conscientização de todos os níveis organizacionais antes do lançamento do programa;
- definir uma ou mais pessoas com capacidade reconhecida de liderança e preferencialmente com autoridade na organização, afim de se valorizar e impulsionar a implementação;
- uma boa divulgação sobre o marco zero de implementação, com as devidas solenidades e apelos visuais;
- respeitar o prazo médio de três anos para implementação sugerido na literatura, evitando acelerar ou até mesmo subestimar qualquer uma das 12 etapas recomendadas;
- enfatizar a importância da implementação dos 5S's como um elemento disciplinador para o TPM;

- impulsionar a implementação dos três primeiros passos da Manutenção Autônoma e a utilização das etiquetas de inconveniência e Lições de Ponto Único. Esse conjunto de ações ajuda a desenvolver o senso de propriedade nas pessoas envolvidas com a implementação;
- monitorar e divulgar de forma contínua e adequada as melhorias no OEE de maneira à servir como elemento motivador para implementação do TPM e para sustentação dos resultados alcançados

6 CONCLUSÕES

Avaliando-se as melhorias implementadas e a tendência positiva dos índices estudados quando contemplado todo o período de junho de 1999 à dezembro de 2003, pode-se afirmar que o time implementou de forma adequada os conceitos do FTPM e que essa implementação serviu para impulsionar a melhoria da Eficiência Global do Equipamento (OEE).

Porém a análise a partir de meados de 2001 à dezembro de 2003 demonstra uma estagnação no crescimento dos índices que só vem a confirmar a dificuldade em se manter os resultados obtidos ao término da implementação do FTPM, quando então são extintas as auditorias de implementação por se entender que o time alcançou um nível satisfatório de auto-gerenciamento e de auto-suficiência.

Para se reativar a tendência acelerada de melhoria contínua apresentada no início da implementação do FTPM no time, se faz necessário um forte compromisso e disciplina da gerência, do time estudado e das áreas auxiliares para a implementação das ações sugeridas no item anterior de Análise dos Resultados.

Com base nesse trabalho, para elaboração de trabalhos futuros pode-se:

- efetuar uma análise mais aprofundada das causas de variação da Disponibilidade do Equipamento e das causas que mantiveram em patamares muito baixos os índices de Performance Operacional e Qualidade do Produto até meados de 2001;
- avaliar o perfil de curva que melhor se adapta aos dados coletados para estabelecimento de linha de tendência e com isso reavaliar as equações e previsões de comportamento dos índices estudados;
- reavaliar a viabilidade do time estudado atingir o objetivo de OEE de 85%, considerando-se nessa análise fatores qualitativos e quantitativos referentes a escolaridade e formação técnica dos envolvidos obtidas fora da empresa. Essa avaliação poderá inclusive evoluir para uma comparação entre resultados de implementação do TPM em países com diferentes níveis de educação e formação técnica.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAMAN. *Documento Nacional 2001*. In: 16^o Congresso Brasileiro de Manutenção da Associação Brasileira de Manutenção, 2001, Florianópolis, SC. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br>>. Acesso em 16 jan. 2003.

ALMEIDA, M.T. *Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade*. In: Curso de Análise de Vibrações I, Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, 1999, Itajubá, MG. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br>>. Acesso em 18 set. 2002.

ANTUNES JUNIOR, J.A.V. *Manutenção Produtiva Total: Uma análise crítica a partir de sua inserção no Sistema de Produção Toyota*, 2001. Disponível em : <<http://www.iautomotivo.com/manutencaototal.htm>>. Acesso em 19 set.2002.

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

ARCURI FILHO, R. *Manutenção é coisa séria*. Revista de Manutenimento Mundial. n.5, 2001. Disponível em:<<http://www.mantenimentomundial.com/articulos/5manutencao.as>
p> Acesso em 20 mar.2003.

AURELIO, B.H.F. *Novo Aurélio: Dicionário da Língua Portuguesa. Século XXI*. Disponível em : < <http://www.uol.com.br/aurelio>> Acesso em 20.mar.2003.

BECK, L. K. *Speaking of continuous improvement*. Engineer's Digest. Abril, 1999. Disponível em < www.findarticles.com/cf_0/m0BIM/4_27/54986446/print.jhtml > Acesso em 13 mar 2003.

BIBVIRT. *Introdução à manutenção*. Biblioteca Virtual da Universidade de São Paulo. 2000. Disponível em : < <http://bibvirt.futuro.usp.br> > Acesso em 12 jan 2003.

CAMARA, J. M; ARAÚJO, I. M; SANTOS, C. K. S. *Manutenção Elétrica Industrial: apostila virtual*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Engenharia Elétrica. 2001. Disponível em: < www.cae.ufrn.br/manut/index1.htm > Acesso em 18 out 2002.

CONTADOR J. C et al. *Gestão de Operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 1998. 593 p.

DIAS, A. *Projeto para a confiabilidade aplicado ao processo de implantação de uma rede de gás*. Revista brasileira de gestão e desenvolvimento de produto. n.2, março 2002. Disponível em < www.ctc.ufsc.br/produto/Produto2/artigos2pt/artigo4/artigo4.htm > Acesso em 19 mar 2003.

E.M.S. *Machinery & Equipment Guidelines: How to specify reliable machinery and equipment*. Engineering Materials & Standards. Michigan: Automotive Safety & Engineering Standards Office, 1994. 107p.

FONSECA, J. S. ; MARTINS, G. A. ; TOLEDO, G. L. *Estatística Aplicada*. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1985. 267p.

GERAGHETY, T. *Obtendo efetividade do custo de Manutenção através da integração das técnicas de monitoramento de condição, RCM e TPM*. 2000. Disponível em < www.sqlbrasil.com.br/SQL-RCM2-ttec_integracaoombrcmtmp.html > Acesso em 12 jan 2003.

- GHINATO, P. *Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time. Revista de Produção Abepro. v.5, 1995.* Disponível em < www.leanway.com.Br/publicações/paper_10_._.estrutura.stp.doc > Acesso em 03 nov 2002.
- I.M.C. *Empresas certificadas em TPM.* [mensagem pessoal]. I.M.C Internacional Sistemas Educativos Ltda. Mensagem recebida por pmoraes1@uol.com.br em 18 mar 2003.
- J. I. P. M. *Autonomous maintenance for operators.* Oregon: Productivity Press, 1997. 129 p. ISBN 1-56327-082-X.
- J. I. P. M. *Japanese Institute of Plant Maintenance.* TPM frequently asked questions. 2002. Disponível em < www.jipm.or.jp/en/home > Acesso em 06 mar 2003.
- KARMEL, P. H. ; POLASEK, M. *Estatística Geral e Aplicada para Economistas.* 2.ed. são Paulo: Atlas, Brasília: INL, 1974. 601p.
- KAZMIER, L. J. *Estatística Aplicada a Economia e Administração.* São Paulo: McGraw-Hill, 1982. 376p.
- KENNEDY, R. *Examining the process of RCM and TPM: what do they ultimately achieve and are the two approaches compatible?.* Disponível em < www.plant-maintenance.com/articles/RCMvTPM.shtml > Acesso em 13 mar 2003.
- MARTINS, P. G.; LAUGENI. F. P. *Administração da Produção.* São Paulo: Saraiva, 1999. ISBN 85-02.02502-3
- MCKONE, K.E. ; CUA, K. O; SCHROEDER, R. G. Relationships between implementation of TQM, JIT and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management.* n.19. 2001. Elsevier Science S.A. Disponível em <www.elsevier.com/locate/dsw> Acesso em 16 mai 2002
- MERRILL, W. C. ; FOX, K. A. *Estatística Econômica: uma introdução.* 1.ed. São Paulo: Atlas, 1980. 738p.
- MICHAELIS. *Moderno Dicionário da Língua Portuguesa Disponível em* <<http://www.uol.com.br/michaelis>> Acesso em 20.mar.2003.
- MIRSHAWKA, V. *Manutenção Preditiva: caminho para zero defeitos.* São Paulo: Makron McGraw-Hill, 1991. 318p.
- MORA, E. *How to succeed in TPM implementation.* 2000. Disponível em < www.swspitcrew.com/html/aug_00.html. > Acesso em 17 mar 2003.
- MOUBRAY, J. *Gerenciamento de Manutenção: um novo paradigma.* São Paulo: SQL Systems Brasil Ltda. 1997. 21p.
- NAKAJIMA, S. *Introdução ao TPM.* São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1989. 110p.
- NAKASATO, K. *Segundo Curso de Formação de Instrutores de TPM.* XV Evento Internacional de TPM. I.M.C Internacional Sistemas Educativos. 1994.
- NETHERTON, D. *Um novo padrão SAE para RCM.* 2001. Disponível em < www.sqlbrasil.com.br > Acesso em 20 mar 2003.

- OHNO, T. *O Sistema de Produção Toyota: além da produção em larga escala*. Porto Alegre: Bookman, 1997. 142p. ISBN 85-7307.170-2
- PALMEIRA, J. N.; TENÖRIO, F. G. *Flexibilização organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total*. Rio de Janeiro: FGV Eletronorte, 2002. 276p. ISBN 85-225-0402-4.
- PALMEIRA, J. N.; TENÖRIO, F. G. *Flexibilização organizacional: aplicação de um modelo de produtividade total*. Rio de Janeiro: FGV Eletronorte, 2002. 276p. ISBN 85-225-0402-4.
- PEREZ, J. L.; LAFONT, B.S.I.E. Installation of a TPM program in caribbean plant. *Computer . Computers ind. Engng.* v 33. Elsevier Science Ltd. 1997. Disponível em < www.elsevier.com > Acesso em 16 mai 2002.
- PORTER. M. *Vantagem Competitiva: criando e sustentando um desempenho superior*. Rio de Janeiro: Campus, 1990. 512p. ISBN 85-7001-558-5.
- ROBERTS, J. *Total Productive Maintenance*. 1997. Disponível em < <http://et.nmsu.edu/~etti/fall97/manufacturing/tpm2.html> > Acesso em 06 mar 2003
- S.A.E. *Reliability and Maintainability Guideline for Manufacturing Machinery and Equipment*. Michigan: National Center for Manufacturing Sciences, Inc., 1993. ISBN 1-56091-362-2.
- SHINGO, S. *O Sistema de Produção Toyota: do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291 p. ISBN 85-7307-169-9.
- SHIROSE, K. TPM para mandos intermédios de fábrica. Madrid: Productivity Press. 1994. 155p. ISBN 84-87022-11-1.
- SHIRVANI. B.; CHAND, G. Implementation of TPM in cellular manufacture. *Journal of Materials Processing Technology*. n.103. 2000. Elsevier Science S.A. Disponível em < www.elsevier.com/locate/jmatprotc > Acesso em 16 mai 2002
- SIEVULI, W. *Manutenção em tear Sulzer Ruti*. 2001. Disponível em < www.lasid.funrei.br/planosdemanutencao/tearsulzer-ruti/funrei.htm > Acesso em 20 mar 2003.
- SLACK, N et al. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 1997. 726 p. ISBN 85-224-1508-0.
- SPIEGEL, M. R. *Estatística*. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 454p.
- STEVENSON, W. J. *Estatística Aplicada à Administração*. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1981. 495p.
- SUZAKI, K. *The New Manufacturing Challenge: techniques for continuous improvement*. New York: The Free Press, 1987. 255 p. ISBN 0-02-932040-2.
- SUZAKI, K. *The New Manufacturing Challenge: empowering people for continuous improvement*. New York: The Free Press, 1993. 462 p. ISBN 0-02-932265-0.
- TAKAHASHI, Y ; OSADA, T. *Manutenção Produtiva Total*. 2.ed. São Paulo: Instituto IMAN, 2000. 322p.

TRIOLA, M.F. *Introdução à Estatística*. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998,410p.

TUBINO, D. F. *Sistemas de Produção: a produtividade no chão de fábrica*. Porto Alegre: Bookman, 1999. 182 p. ISBN 85-7307-493-0.

VERGARA, S. C. *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2000. 92 p. ISBN 85-224-2623-6.

WILLIANSO, R. M. *Why TPM often fails*. 2002. Disponível em <www.swspitcrew.com/html/april_02.html > Acesso em 17 mar 2003.

WIREMAN, T. How is TPM different?. *Engineer's Digest*. Fev 2000. Disponível em <www.findarticles.com/cf_0/m0BIM/2_28/64456545/print.jhtml > Acesso em 13 mar 2003.

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. 302 p. ISBN 85-86948-04-7.