

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO PROGRAMA
DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

INFLUÊNCIA DO MONITORAMENTO OBJETIVO E SUBJETIVO NA
DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS
INDUSTRIAIS

LUIZ GONZAGA DA COSTA NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS R. CAMELLO LIMA

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2006

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO PROGRAMA
DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

INFLUÊNCIA DO MONITORAMENTO OBJETIVO E SUBJETIVO NA
DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS
INDUSTRIAIS

LUIZ GONZAGA DA COSTA NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS R. CAMELLO LIMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2006

INFLUÊNCIA DO MONITORAMENTO OBJETIVO E SUBJETIVO NA DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

LUIZ GONZAGA DA COSTA NETO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 13 de março de 2006, pela
Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima
UNIMEP- Presidente

Prof. Dr. Linilson Rodrigues Padovese
POLI - USP

Prof. Dr. Milton Vieira Junior
UNIMEP

À

Minha Família

Especialmente a minha esposa Jiana e minha

Filha Bárbara.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de vida aqui na terra.

Aos meus pais Gervásio Gonzaga e Ricardina Rosa, por mostrar o caminho da vida e da escola.

Ao professor Carlos Roberto Camello Lima pela orientação, compreensão e incentivo dispensado ao desenvolvimento deste trabalho.

A professora Maria Isabel Santoro pelo empenho em mostrar a importância da Metodologia de Pesquisa Científica em Engenharia, para que os trabalhos sejam elaborados corretamente e dentro dos padrões científicos.

Aos professores Nivaldo Lemos Coppini, José Antonio Salles e Klaus Schutzer pela orientação nas disciplinas iniciais do curso.

Aos Diretores e Gerentes da Vicunha Têxtil S/A – Unidade IX, pela oportunidade de trabalho e desenvolvimento de minha carreira profissional.

Aos meus amigos que direta ou indiretamente colaboraram incentivando meus estudos.

DISCIPLINA

“Meu objetivo é ganhar e, para isso, tenho de dar sempre o melhor de mim”.

Ayrton Senna

(1960-1994)

Piloto de Formula I

RESUMO

A moderna tecnologia exige que menores custos e máxima produtividade sejam parâmetros comuns das indústrias. Conhecer a condição real de funcionamento dos equipamentos de produção pode fazer toda a diferença entre o sucesso e o fracasso da manutenção, evitando quebras de equipamentos inesperadamente. Uma área de grandes mudanças tem sido a da tecnologia de manutenção. As certezas confortáveis sobre os cuidados com o ativo físico, que giravam em torno da manutenção preventiva, em muitos casos um desperdício de tempo, custavam fortunas e ainda custam, em termos de gastos com material e mão de obra em paradas de equipamentos, contribuindo pouco ou nada na melhoria da confiabilidade do equipamento. Neste contexto, muitas organizações têm tomado conhecimento do uso indiscriminado da manutenção realizada em intervalos fixos e têm reagido aos novos conceitos, assumindo uma política de manutenção preditiva ou sob condição. Esta é na atualidade, a forma mais avançada de execução da função manutenção, permitindo um total controle da situação funcional dos equipamentos, através dos monitoramentos objetivo e subjetivo, apresentando resultados que podem e devem ser considerados como atividades produtivas. A manutenção preditiva apresenta diversas vantagens como eliminação de equipamentos reserva, em geral diminuindo o ativo fixo, o custo de estoques, a ociosidade originada por falhas, refletindo na eficiência da instalação. Este trabalho tem a proposta de apresentar uma metodologia do processo de manutenção e dos monitoramentos, mostrando que através do monitoramento subjetivo pode-se ter maior número de equipamentos sob controle, diminuindo ou eliminando as paradas inesperadas, aumentando a disponibilidade e confiabilidade operacional.

ABSTRACT

The modern technology of high productive performance demands that smaller costs and maxim productivity are well common parameters of the successful industries. Therefore, it can not be admitted equipment and facilities breakdown, at least without notice. Knowing the real operational condition of the production equipment can determine the difference between success and failure, avoiding unexpected breakdown of equipment. One area of great changes has been the one of the maintenance technology. The comfortable certainties on the cares with the physical assets, using preventive maintenance, in many cases a waste of time, cost fortunes and they still cost, in terms of expenses with material and labor in equipment downtime, contributing little or nothing to the improvement of the equipment reliability. In this context, a lot of organizations have become aware of the indiscriminate use of the maintenance accomplished in fixed intervals and they have been reacting to the new concepts, assuming predictive maintenance or condition monitoring. Predictive maintenance the most advanced form of execution of the maintenance function, allows a total control of the functional situation of the equipment, through objective and subjective monitoring, presenting results as elimination of stand-by equipment, reducing the assets, reducing storage, cost decreasing of the idleness originated by failures, resulting a higher, in efficiency of the overall plant. This work has the proposal of presenting a methodology to maintenance process and of the monitoring, showing that the subjective monitoring, larger number of equipment can be under control, decreasing or eliminating the unexpected breakdown, increasing the readiness and operational reliability.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.	I
LISTA DE FIGURAS...	III
LISTA DE QUADROS.....	V
LISTA DE TABLEAS.....	VI
LISTA DE FORMULAS.....	VII
1. INTRODUÇÃO	20
1.1. OBJETIVOS	22
1.2. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	23
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO	25
2.1. HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO	26
2.2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS	31
2.3. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	52
2.4. FALHA E SUAS CARACTERÍSTICAS	59
2.5. DISPONIBILIDADE	71
2.6. CONFIABILIDADE	76
2.7. INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO	80
3. MONITORAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	99
3.1. MONITORAMENTO SUBJETIVO POR MEIO DOS SENTIDOS HUMANOS	101
3.2. MONITORAMENTO OBJETIVO EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS	104
3.2.1. MONITORAMENTO OBJETIVO POR MEIO DA LUBRIFICAÇÃO.....	105
3.2.2. MONITORAMENTO OBJETIVO POR MEIO DAS FORÇAS.....	111
3.3. MONITORAMENTO OBJETIVO EM EQUIPAMENTOS MECÂNICOS ESTÁTICOS	116
3.4. MONITORAMENTO OBJETIVO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA, PROTEÇÃO E CONTROLE.....	125
3.4.1 RIGIDEZ DIELÉTRICA.....	127
3.4.2. TERMOGRAFIA.....	128
3.5. SISTEMA INFORMATIZADO DA MANUTENÇÃO	130
4. PROPOSTA DE METODOLOGIA DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO E DOS MONITORAMENTOS.....	133
4.1. PROCESSO DA MANUTENÇÃO	133
4.2. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA MANUTENÇÃO	135
4.3. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM)	140
4.4. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	141
4.5. PLANOS DE MANUTENÇÃO.....	142
4.6. IMPLEMENTAÇÃO DE MONITORAMENTO SUBJETIVO EM BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	146
4.7. O MONITORAMENTO DA MANUTENÇÃO E SEUS RESULTADOS	150

5. CONCLUSÕES.....	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
AFNOR	Association Française de Normalisation
AN	Analíticos
ASME	American Society Mechanical of Engineers
CMMS	Computerized Maintenance Management System
DR	Quantitativos (Direct Reading – Leitura Direta)
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FFT	Fast Fourier Transformation
FR	Frequência de Rotação
JIPM	Japan Institute of Plant Maintenance
Mcorr	Manutenção corretiva
Mpred	Manutenção preditiva
Mprev	Manutenção preventiva
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OM	Ordem de Manutenção

OS	Ordem de Serviço
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PCP	Planejamento e Controle de Produção
SIM	Sistema Informatizado da Manutenção
SOAP	Spectrometric Oil Analysis Procedure
TEF	Tempo entre falhas
TMEF	Tempo médio entre falhas
TMPR	Tempo médio para reparo
TPF	Tempo para falhar
TPM	Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance)
TPR	Tempo para reparo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Curva de equilíbrio do custo de manutenção e de paradas.....	25
Figura 2	Seis tipos básicos de manutenção.....	35
Figura 3	Cinco tipos básicos de manutenção.....	35
Figura 4	Comparação de custo de manutenção com produção perdida.....	39
Figura 5	Técnicas fundamentais para programa manutenção preventiva....	47
Figura 6	Conseqüências das falhas.....	52
Figura 7	Seleção dos tipos de manutenção.....	53
Figura 8	Estrutura da engenharia de manutenção.....	54
Figura 9	Resultados x tipos de manutenção.....	58
Figura 10	Teoria por trás de planos de substituições periódicas.....	61
Figura 11	Curva da banheira.....	61
Figura 12	Curva P-F.....	71
Figura 13	Relação entre a disponibilidade e a situação do componente.....	73
Figura 14	Confiabilidade x custo de manutenção.....	79
Figura 15	Confiabilidade x custo de produção.....	79
Figura 16	Processo e sua influencia sobre o desempenho de equipamentos e instalações.....	134
Figura 17	Organograma da organização da manutenção.....	136
Figura 18	Macrofluxograma das atividades de manutenção.....	139

Figura 19 Seqüência de atividades para utilização do monitoramento
subjetivo.....146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Evolução da manutenção a partir de 1950.....	28
Quadro 2	Custo por tipo de manutenção.....	55
Quadro 3	Custo de equipamentos e prestação de serviços.....	56
Quadro 4	Tipos de curvas de falhas.....	64
Quadro 5	Classificação das falhas.....	66
Quadro 6	Técnicas separadas por condição de equipamentos rotativos...	104
Quadro 7	Definição das origens de desgaste em função das partículas no óleo.....	110
Quadro 8	Reconhecimento das principais anomalias.....	115
Quadro 9	Julgamento da severidade de vibração em máquinas rotativas.	116
Quadro 10	Técnicas separadas por condição de equip. mec. Estáticos.....	117
Quadro 11	Técnicas separadas por condição de equip. elétricos.....	125
Quadro 12	Plano de lubrificação.....	143
Quadro 13	Modelo de ordem de manutenção (OM).....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distribuição dos itens pesquisados.....	94
Tabela 2	Condensado formado a cada 30 m durante o processo (Kg/h)...	123
Tabela 3	Acompanhamento da classificação de manutenção das bombas.....	150

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1	Disponibilidade.....	72
Fórmula 2	Disponibilidade.....	72
Fórmula 3	Disponibilidade.....	72
Fórmula 4	Disponibilidade.....	73
Fórmula 5	<i>Turn-over</i> (movimentação do pessoal).....	82
Fórmula 6	Taxa de frequência de acidentes.....	82
Fórmula 7	Taxa de gravidade de acidentes.....	82
Fórmula 8	Disponibilidade de equipamento.....	83
Fórmula 9	Eficiência do equipamento.....	83
Fórmula 10	Disponibilidade.....	83
Fórmula 11	Eficiência.....	83
Fórmula 12	Qualidade.....	83
Fórmula 13	Performance ou desempenho do equipamento.....	84
Fórmula 14	Capacidade produtiva.....	84
Fórmula 15	Indisponibilidade.....	85
Fórmula 16	Intervenção programáveis/planejáveis.....	85
Fórmula 17	Intervenção não programáveis/não planejáveis.....	86
Fórmula 18	Confiabilidade operacional.....	86
Fórmula 19	Backlog.....	87

Fórmula 20	Retrabalho de manutenção.....	88
Fórmula 21	Retrabalho de manutenção.....	88
Fórmula 22	Cumprimento da programação.....	88
Fórmula 23	Acerto da programação.....	88
Fórmula 24	Investimento de treinamento por empregado (em US\$).....	89
Fórmula 25	Investimento de treinamento por empregado (em horas).....	89
Fórmula 26	Produtividade.....	89
Fórmula 27	Efetivo da manutenção.....	90
Fórmula 28	Trabalho em manutenção programada.....	90
Fórmula 29	Atividades da manutenção preditiva.....	91
Fórmula 30	Diminuição de freqüência de quebra.....	91
Fórmula 31	Trabalhos em manutenção corretiva.....	92
Fórmula 32	Outras atividades do pessoal de manutenção.....	92
Fórmula 33	Horas não apuradas do pessoal de manutenção.....	93
Fórmula 34	Custo de mão de obra.....	95
Fórmula 35	Custo de materiais.....	95
Fórmula 36	Custo de serviços contratados.....	95
Fórmula 37	Custo de manutenção por faturamento bruto.....	95
Fórmula 38	Custo de manutenção em relação à produção.....	95
Fórmula 39	Custo de sobressalentes em estoque.....	96
Fórmula 40	Tempo médio entre falhas.....	97

Fórmula 41	Tempo médio de reparo.....	97
Fórmula 42	Tempo médio para falhar.....	97
Fórmula 43	Disponibilidade física.....	98
Fórmula 44	Custo de manutenção por faturamento.....	98
Fórmula 45	Custo de manutenção por valor de reposição.....	98
Formula 46	Modo de desgaste.....	108
Fórmula 47	Índice de severidade.....	108

1. INTRODUÇÃO

A moderna tecnologia exige que menores custos e máxima produtividade sejam parâmetros comuns das indústrias. Conhecer a condição real de funcionamento dos equipamentos de produção pode fazer toda a diferença entre o sucesso e o fracasso da manutenção, evitando quebras de equipamentos inesperadamente (CARBONE, 2002)

Mobley (1990) comenta que, dependendo da indústria, o custo de manutenção pode representar entre 15% e 40% do custo da produção boa. Nos Estados Unidos da América, esta produção representa mais de 200 bilhões de dólares por ano, mostrando a importância da manutenção do ponto de vista econômico, sendo o resultado da ineficiência no gerenciamento da manutenção representado por uma perda em torno de 60 bilhões de dólares a cada ano, tendo um impacto dramático na habilidade de fabricação de produtos de alta qualidade, competitivos no mercado mundial, dificultando a competição com países que têm implementado modernas filosofias de gerenciamento de manutenção.

Além da evidente questão relativa ao gerenciamento da manutenção, uma área de grandes mudanças tem sido a da tecnologia de manutenção. As certezas confortáveis atrás sobre os cuidados com o ativo físico, que giravam em torno da manutenção preventiva, em muitos casos um desperdício de tempo, custavam fortunas e ainda custam, em termos de gastos com material e mão de obra em paradas de equipamentos, contribuindo pouco ou nada na melhoria da confiabilidade do equipamento. Neste contexto, Siqueira (2002) comenta que muitas organizações têm tomado conhecimento da invalidade do uso indiscriminado da manutenção realizada em intervalos fixos, e têm reagido aos novos conceitos, assumindo uma política de manutenção preditiva ou sob condição.

Com a necessidade de competitividade, as empresas precisam estar cientes de que a manutenção não é despesa e, sim, investimento, devendo existir uma gestão atualizada e preocupada em desenvolver melhorias. As inspeções dos equipamentos são requisitos básicos para um planejamento das atividades de manutenção. A manutenção preditiva através de monitoramento objetivo em equipamentos de alta prioridade inclui inspeção periódica e cuidadosa, visando avaliar o estado operacional, ao mesmo tempo em que se tem uma avaliação econômica das medidas a serem tomadas, com acompanhamento do ciclo de vida dos equipamentos (REYS, 1995).

Para Nagao (1998) e Chainho (2001) em indústria de processo contínuo a inspeção de equipamentos surgiu pela necessidade de manter equipamentos e instalações industriais em condições físicas satisfatórias, com um mínimo de segurança e confiabilidade, sendo que, a utilização das técnicas de manutenção dos equipamentos é de vital importância na maximização da disponibilidade, proporcionando a continuidade operacional, sendo o grande desafio da manutenção.

Nepomuceno (1985) comenta que, do ponto de vista econômico, o parar uma máquina ou equipamento, desmontá-lo para verificação durante tempo considerado longo, quando o mesmo apresenta condições de operar com desempenho amplamente satisfatório, é um procedimento totalmente inadmissível. Por outro lado, esperar que a máquina ou equipamento entre em pane para então repará-lo pode dar origem a um procedimento economicamente catastrófico, não sendo atitudes compatíveis com a noção básica de segurança de operação. Quando se consideram os problemas associados à segurança e confiabilidade de desempenho de máquina ou equipamento, produção e resultados economicamente satisfatórios, chega-se à conclusão que a solução ideal consiste em intervir ou providenciar um sistema de manutenção eficaz, que mantenha com desempenho aceitável, até um momento adequado para realizar uma atividade de manutenção. Este sistema pode ser estabelecido por manutenção preditiva por meio de monitoramento objetivo e subjetivo, que na atualidade é a forma mais avançada de execução

da função manutenção, permitindo um total controle da situação funcional dos equipamentos. Os resultados da manutenção preditiva, de acordo com Nepomuceno (1989) podem e devem ser considerados como atividades produtivas, com muitas vantagens como eliminação de equipamentos reservas em grande número de casos, diminuindo o ativo fixo, diminuição do custo de estoques, diminuição da ociosidade originada por falhas refletindo na eficiência da instalação.

Mobley (1990) e Pinto e Xavier (1999) comentam que, a manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificações de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática, com objetivo de prevenir as falhas nos equipamentos e sistemas, através da medição ou monitoramento objetivo e subjetivo, sendo que, o monitoramento objetivo utiliza-se de equipamentos e sistemas específicos e o subjetivo baseia-se em aspectos sensoriais humanos em critérios não formais.

Com simples monitoramento com os sentidos, é possível apreciar irregularidades em um equipamento, evitando parada não programada. Não se pode subestimar o monitoramento subjetivo, porém, não se pode substituir o objetivo completamente (PINTO & XAVIER, 1999).

1.1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar a influência do monitoramento objetivo e subjetivo na disponibilidade e na confiabilidade de equipamentos e instalações industriais, e, a partir da experiência na indústria de processo contínuo de viscosse, apresentar uma metodologia do processo de manutenção e dos monitoramentos, com otimização de recursos, de sistemas e de equipamentos de uma forma sustentável e integrada com o processo produtivo da organização.

Além deste objetivo principal, os objetivos secundários são:

- Revisão bibliográfica sobre o tema, que possa contribuir como referência teórica no desenvolvimento de trabalhos similares;
- Avaliar o impacto dos monitoramentos objetivo e subjetivo nas atividades de manutenção preditiva.
- Apresentar implementação de um sistema de gerenciamento da manutenção de bombas centrífugas, por meio do monitoramento subjetivo.

1.2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para Marconi e Lakatos (2002), pesquisa aplicada caracteriza-se por seu interesse prático, isto é, que os resultados sejam aplicados ou utilizados, imediatamente, na solução de problemas que ocorrem na realidade. O presente trabalho contempla uma revisão bibliográfica das políticas de manutenção praticadas e publicadas em livros, teses, artigos técnicos e revistas especializadas, na busca de uma política de manutenção capaz de alcançar a excelência produtiva. Propõe uma metodologia do processo de manutenção e dos monitoramentos, contando com a participação ativa do autor na implementação do sistema de gerenciamento da manutenção em uma empresa do ramo de viscoses.

A metodologia utilizada para atingir os objetivos pretendidos é:

- a) Revisão bibliográfica da evolução e dos conceitos da manutenção industrial, incluindo o desempenho da manutenção no Brasil, através dos indicadores apresentados no Documento Nacional pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção).
- b) Apresentar implementação de um sistema de gerenciamento da manutenção em bombas centrífugas por meio do monitoramento subjetivo.

c) Com base nas informações obtidas através das fundamentações teóricas e a experiência em indústria de processo contínuo de viscosa, apresentar uma proposta de metodologia de monitoramento.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos com os conteúdos apresentados a seguir:

No Capítulo 1, são apresentados a introdução, os objetivos, a metodologia de pesquisa e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, são apresentadas fundamentações teóricas da gestão da manutenção e seus indicadores de desempenho.

No Capítulo 3, são apresentadas revisões dos conceitos e definições utilizadas nos monitoramentos dos equipamentos e o sistema informatizado da manutenção.

No Capítulo 4, são apresentadas proposta de metodologia do processo de manutenção e dos monitoramentos, com base nas fundamentações teóricas e experiência em indústria de processo contínuo de viscosa, e implementação de monitoramento subjetivo em bombas centrífugas.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões.

2. GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Manutenção é um termo muito empregado no dia-a-dia das pessoas e de forma genérica e abrangente. Parece difícil definir manutenção do ponto de vista industrial. A maioria das pessoas entende por manutenção o ato de consertar e reparar equipamentos e instalações para assegurar a continuidade operacional, isto é, conservação e não manutenção, mas, além disso, é manter, prevenir, analisar, melhorar continuamente, dominar tecnologicamente e economicamente os meios produtivos com segurança e preservação do meio ambiente (MARZULLO JUNIOR, 2005). Para Nepomuceno (1989) a finalidade da manutenção de uma máquina ou dispositivo qualquer é, evidentemente, mantê-lo funcionando com desempenho satisfatório a medida que o tempo corre. É igualmente importante estabelecer o porque a manutenção é indispensável, indicando o objetivo da mesma. As razões podem ser duramente econômicas que é, o caso geral sendo então importante verificar qual o custo de tal manutenção, o que implica num estudo cuidadoso do método a ser utilizado, visando evitar que o custo de manutenção supere as vantagens que a mesma pode oferecer. A Figura 1 apresenta as relações entre os custos de paradas, custos de manutenção e a importância do programa de manutenção em relação aos custos de produção.

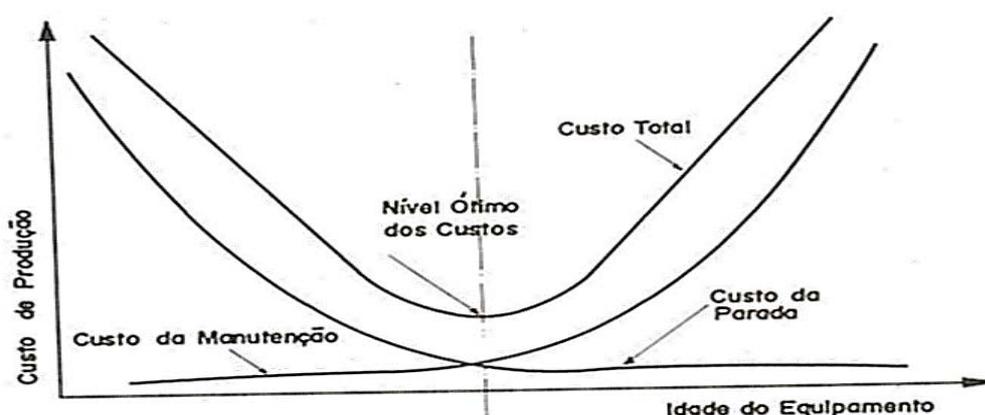


Figura 1 : Curva de equilíbrio do custo de manutenção e de paradas
FONTE: Adaptação feita a partir de Nepomuceno (1989)

A Figura 1 indica a necessidade de estabelecer um programa de manutenção, buscando nível ótimo dos custos, podendo ser por meio da manutenção preditiva.

Para Monchy (1989) a manutenção deve iniciar na concepção do projeto. As características de manutenibilidade, confiabilidade, disponibilidade e durabilidade são determinados nesta fase. A manutenção deve assessorar na hora da especificação dando o parecer técnico para compra, participando da instalação, acompanhamento dos testes e entrega da máquina ou equipamento, como também preparar e ministrar o treinamento para as equipes de manutenção, definição da política de manutenção, organização da documentação, cadastro e suprimento de sobressalentes e procedimentos de manutenção.

Na prática seguramente não se pode partir da suposição de que tudo anda conforme seria o ideal. De acordo com Kroner (1999) a evolução das empresas, das pessoas que nelas trabalham, a pressão do mercado, fazem que a manutenção seja vista de forma bem diferenciada, tanto quanto ao tipo de aplicação como também quanto ao valor que se dá na forma de organização.

2.1. HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Viana (2002) comenta que, com o advento da Revolução Industrial no final do século XVIII, a sociedade humana começou a crescer sua capacidade de produzir bens de consumo. No século XX as revoluções foram várias e cada vez mais rápidas no campo da tecnologia impactando no *Modus Vivenda* do homem, mas na mesma rapidez em que aparecem são obsoletados, como os bens de produção, fábricas inteiras ou até mesmo um setor industrial completo, podem se tornar ultrapassados em poucos anos.

Para Viana (2002) a manutenção industrial surge efetivamente como função organismo produtivo no século XV com a aparição de primeiros teares mecânicos, época que marca o abandono da produção artesanal e de um sistema econômico feudal, e o início de um processo de acumulação originada de capitais e a coexistência de forma diversas e antagônicas de produção. Neste período o fabricante do maquinário treinava os novos operários a operar e manter o equipamento, ocupando o papel de operadores e mantenedores, não havendo uma equipe específica de manutenção, e por volta de 1900 surgem as primeiras técnicas de planejamento de serviços. No entanto foi durante a segunda guerra mundial que a manutenção se firmou como necessidade absoluta, havendo um desenvolvimento de técnicas de organização, planejamento e controle para tomada de decisão. A aparição do termo manutenção, indicando a função de manter em bom funcionamento todo e qualquer equipamento, ferramentas ou dispositivo, ocorreu na década de 1950 nos Estados Unidos da América, e neste período na Europa ocupava aos poucos os espaços nos meio produtivos como conservação.

No Brasil com abertura dos portos na década de 1990, Viana (2002) ainda comenta que, a industria se viu obrigada a buscar a qualidade total de seus produtos e serviços, aliada a um custo operacional capaz de permitir um maior poder de competição do produto nacional com os internacionais que aportavam cada vez em maior número no mercado nacional, porém, sob pressão, rapidamente visualizam-se soluções para as dificuldades, que até então habitavam o campo da suposição, e daí começa se enxergar que não é suficiente se ter maquinaria, rede de distribuição, sem conhecimento para alcançar o sucesso. A evolução da manutenção a partir da década de 1950 apresentadas no Quadro 1 se compreende em manutenção baseada no tempo e manutenção baseada nas condições.

MANUTENÇÃO	DÉCADA	EVOLUÇÃO
Baseada no tempo	1951	MPrev – Manutenção preventiva.
	1954	Manutenção do sistema produtivo.
	1957	MCorr – Manutenção corretiva com incorporação de materiais.
	1960	Introdução da prevenção da manutenção.
	1962	Engenharia de confiabilidade.
Baseada nas condições	1970s	Incorporação dos conceitos das ciências do comportamento, engenharia de sistemas, logística e tecnologia, TPM (<i>Total productive maintenance</i>) no Nippon Denso.
	1980s 1990s	TPM no Brasil, <i>softwares</i> ERP, fundação do JIPM (<i>Japan Institute of Plant Maintenance</i>).

Quadro 1: Evolução da manutenção a partir de 1950

FONTE: Viana (2002)

Observa-se no Quadro 1 que a manutenção não pode se limitar em apenas corrigir problemas cotidianos, mas deve procurar sempre as melhorias constantes, sendo que a busca pela manutenção baseada nas condições, proporciona sempre alta produtividade.

Para Tavares (1996) a evolução tecnológica da manutenção se apresenta segundo cinco estágios abaixo:

- Escola Latina (França em meados dos anos 60) – A escola Latina pressupõe que o aumento de produtividade das empresas é obtido através da manutenção que, utilizando um sistema informatizado e integrado, mobiliza os recursos e trabalhos em equipes de vários segmentos e diferentes níveis de hierarquia, motivados e coordenados segundo uma mesma direção, ou seja, a manutenção coordena grupos de trabalho em diversos níveis de supervisão, buscando maior eficiência e disponibilidade dos equipamentos.
- Investigações Russas (Rússia no final da década de 60) – Nas investigações Russas é criado o conceito de ciclo de manutenção,

definido como o intervalo compreendido entre duas revisões gerais envolvendo todos os trabalhos de ajustes e substituições executados durante esse período. Entre duas revisões gerais são intercaladas inspeções sistemáticas de detecção de avarias ou verificações diversas, evoluindo posteriormente para chamar-se manutenção seletiva.

- Terotecnologia (Inglaterra no início dos anos 70) – A terotecnologia é a alternativa técnica capaz de combinar os meios financeiros, estudos de confiabilidade, avaliações técnico-econômicos e métodos de gestão, de modo a obter ciclos de vida dos equipamentos cada vez menos dispendiosos, sendo a manutenção o coração de qualquer sistema de terotecnologia.
- TPM (*Total productive maintenance* – Manutenção produtiva total – Japão início da década de 70) – No TPM busca-se a melhor taxa de utilização dos equipamentos, a avaliação dos custos totais dos equipamentos em função do tempo e da incidência das intervenções no custo de seus ciclos de vida, a extensão de intervenções em outras áreas como a operação e a participação de todos na busca de melhorias de produtividade.
- Análise e diagnóstico da manutenção (Estados Unidos meados da década de 80) – A análise e diagnóstico consiste em formar-se um grupo de trabalho da própria empresa, assessorado ou não por consultores externos, para avaliar a situação dos diversos aspectos de gestão da manutenção e áreas a ela vinculadas.

Na década de 1930, a manutenção tinha como função principal consertar rapidamente as máquinas que quebravam e que interrompiam o processo produtivo. Nesta época, praticava-se puramente a manutenção corretiva, sem nenhum planejamento na execução da tarefa (NAGAO, 1998), e para Nepomuceno (1989) na década de 50 e 60, foi a Marinha dos Estados Unidos que investiu, e maciçamente, em técnicas de manutenção, baseando-se no fato que um avião parado representava prejuízo apreciável. Visando manter os

navios em condições de operar permanentemente, foram desenvolvidas técnicas como a técnica magnética, uma das conseqüências de tal esforço, que para Branco Filho (2000) consiste em ensaios não destrutivos que, em materiais ferromagnéticos, permite detectar fissuras e outras descontinuidades, tanto superficiais, como sub superficiais através da magnetização da peça. Para Nepomuceno (1989), os métodos de líquidos penetrantes e partículas magnéticas são os que apresentam uma maior sensibilidade, possibilitando a detecção de descontinuidades de menores dimensões, não existindo diferenças significativas em termos de sensibilidade entre ambos os métodos, porém o método de partículas magnéticas somente se aplica a materiais ferromagnéticos, como aço ferro, níquel, cobalto e suas respectivas ligas. Por outro lado, a Aeronáutica tinha interesse primordial na segurança das aeronaves, constituindo uma das atividades onde o controle e as técnicas de manutenção atingem limites dos mais altos da atualidade. Tanto na Marinha, quanto na Aeronáutica, as manutenções, então, se constituíam na substituição de peças depois de determinados períodos de uso, na política conhecida como manutenção preventiva.

Com os desenvolvimentos observados nas técnicas, após a segunda guerra mundial, a manutenção passou por profunda alteração. As Forças Armadas e as companhias civis verificaram que estavam substituindo peças que não apresentavam descontinuidades ou defeito algum, muito menos sinais de desgaste. Como as Forças Armadas investiram apreciavelmente no desenvolvimento de técnicas modernas de ensaios não-destrutivos, tais como líquidos penetrantes, ensaio ultra-sônicos, deformações e alterações nos campos elétricos e magnéticos devido à presença de descontinuidades, ressonância magnética e outras técnicas, e estavam aproveitando as vantagens de tais métodos, os mesmos passaram o dia-a-dia de praticamente todas as empresas. Tais técnicas merecem a atenção dos fabricantes de aeronaves que, imediatamente, as incorporaram em seus manuais de manutenção como procedimentos mandatórios. Com isso, as peças que eram substituídas em função do tempo de operação ou número de eventos passaram a ser verificadas individualmente quanto ao seu estado real e com

base no estado real é que as providências passaram a ser tomada, utilizando-se cada peça até o máximo de sua vida útil, tornando possível através do monitoramento, procurar a vida útil residual máxima, o que se constituiu na política denominada manutenção preditiva (NEPOMUCENO, 1989).

O termo manutenção engloba conceitos de prevenção, correção, análise e melhoramento, envolvendo diversos aspectos conforme definições a seguir:

2.2. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, na Norma Brasileira NBR 5462 (1994) define o termo manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

Para Monchy (1989), manutenção é o conjunto de ações que permite manter ou restabelecer um bem dentro de um estado especificado ou na medida para assegurar um serviço determinado, definida mais tarde por Moubray (2000) e Branco Filho (2000) como sendo o conjunto de atividades técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função ou funções especificadas. Conforme a Norma Inglesa BS-3811 (1974), manutenção é a combinação de qualquer ação para reter um item ou restaurá-lo, de acordo com um padrão aceitável.

A manutenção pode ser considerada como uma combinação de ações conduzidas para substituir, reparar, revisar ou modificar componentes ou grupos identificáveis de componentes de uma fábrica, de modo que esta opere dentro de uma disponibilidade especificada em um intervalo de tempo também especificado. Em resumo, a função da atividade manutenção consiste em buscar a disponibilidade e a confiabilidade da unidade industrial, otimizando a utilização de seus recursos (KELLY e HARRIS, 1980).

Autores como Slack *et al* (1997) observam que a manutenção é o tempo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando de suas instalações físicas.

Mirshwka e Olmedo (1993) definem manutenção como sendo um conjunto de ações permitindo manter ou restabelecer um bem em um estado especificado ou ainda uma medida para garantir um determinado serviço.

Para Tavares (1996), manutenção é definida como todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado, de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada.

Monchy (1989) comenta ainda sobre uma lacuna deixada por grande parte das definições, devida não referenciar o aspecto econômico envolvido na realização de uma manutenção eficiente, que deveria assegurar que suas atividades conduzissem a um custo global otimizado.

Para Belhot e Cardoso (1994) a necessidade da racionalização combinada à complexidade tecnológica inerente aos produtos, processos e equipamentos, exige a modernização dos conceitos de manutenção, a partir do reconhecimento de sua participação no cumprimento dos objetivos empresariais. O custo de uma falha nos equipamentos e suas conseqüências, é muito alto. Belhot e Campos (1995) comentam que, a partir do momento que uma empresa tem um equipamento, passa a fazer sentido a preocupação com a administração racional desse bem, se justificando por várias razões:

- Os equipamentos são bens de produção de custo elevado;
- Os equipamentos são responsáveis pela materialização dos produtos, cuja qualidade é afetada por desgastes e falhas;
- Os equipamentos geram produtos e resíduos que têm conseqüências ambientais e financeiras;

- A empresa precisa ter um retorno sobre investimentos feitos em equipamentos para preservar seu poder de reposição e garantir sua competitividade;

Essas razões demandam um planejamento empresarial e, por conseqüência, a gestão de manutenção.

Para Kroner (1999) a competição industrial é encontrada tanto em nível nacional, como internacional. No esforço da sobrevivência, todas as formas de análise de produção, revisão de produtos e materiais são realizados e regularmente verificados. Uma área que começa a ser mais valorizada e considerada é a manutenção, sendo ela uma das poucas áreas que permite ajudar na redução de custos. Redução de custo na manutenção não significa necessariamente redução do serviço ou da qualidade do serviço, significa muito mais, um melhor controle da manutenção no planejamento dos serviços, contribuindo para um melhor aproveitamento do pessoal. Para que isto ocorra, Kroner (1999) comenta que é necessário atenção para as seguintes falhas:

- Falta de pedido, orientação ou esclarecimento por parte do emitente da solicitação ou do mestre da manutenção;
- Planejamento deficiente da execução, orientação insuficiente quanto aos trabalhos necessários e desrespeito as normas de segurança;
- Falta de material, indisponibilidade de peças de reposição;
- Falta de coordenação nas oficinas, comprometendo prazos e prioridades;
- Programação deficiente dos trabalhos, principalmente quanto à seqüência de atividades;
- Deficiência no controle do andamento dos trabalhos, realização efetiva e entrega final;
- Falta de registro dos custos.

A partir das definições da função manutenção de diversos autores, Nagao (1998) sintetiza a manutenção como “função estratégica que busca maior disponibilidade e confiabilidade das instalações, através da diminuição de quebras e falhas nos equipamentos e sistemas, otimizando o uso dos recursos disponíveis”. A partir da definição da visão e missão, pode-se definir a política de manutenção que deveria ser aplicada em uma empresa ou unidade industrial. Esta política deverá dar as diretrizes para que a manutenção cumpra a sua missão e atinja a sua visão de futuro, sendo que, o melhor esquema de manutenção e aquele adequado a sua instalação industrial. Para se traçar uma política de manutenção eficaz, é fundamental analisar os seguintes fatores:

- Criticidade do equipamento dentro do fluxo produtivo;
- Estratégia do produto e da instalação industrial a curto, médio e longo prazo;
- Adequação dos equipamentos ao processo;
- Custo da intervenção (custo do reparo e os custos de indisponibilidade);
- Impacto causado para a segurança industrial e ao meio ambiente devido à falha;
- Política de sobressalentes e de equipamentos reservas.

Na função manutenção, Pinto e Xavier (1999) comentam que é importante estar claro qual a política de manutenção a ser considerada, desde que sua aplicação seja resultado de uma definição gerencial ou política global da instalação, baseada em dados técnicos econômicos. Existe uma variedade muito grande de denominações para classificar a atuação da manutenção, provocando uma certa confusão na característica dos tipos de manutenção. O importante é as caracterizações mais objetivas, independentes da denominação. Pinto e Xavier (1999) comentam que são definidos seis tipos básicos de manutenção, conforme ilustrado na Figura 2:

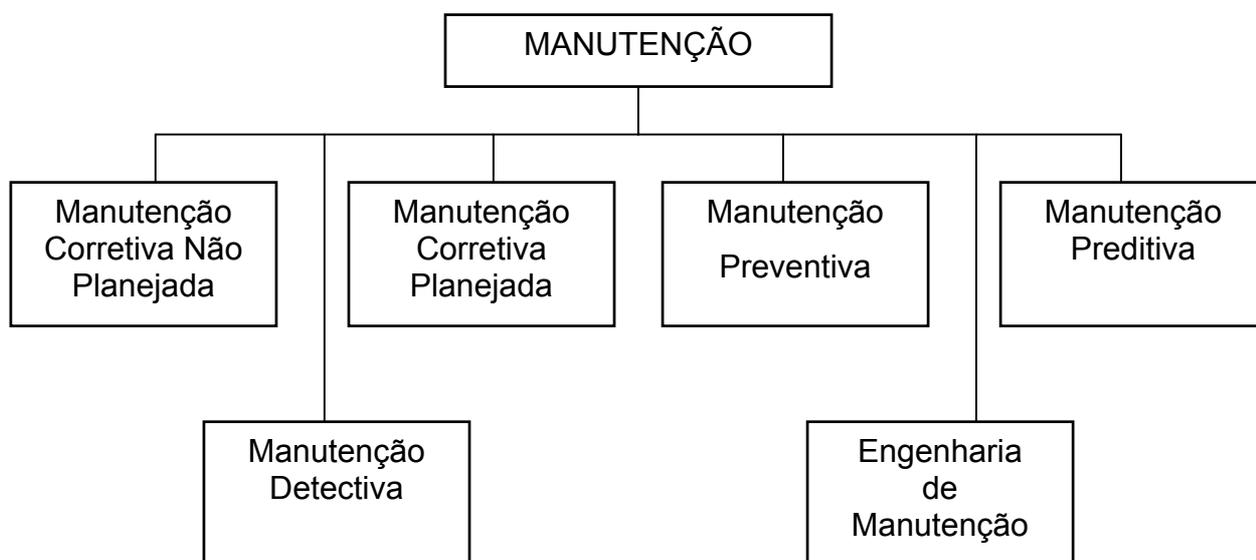


Figura 2: Seis Tipos de Básicos de Manutenção
 FONTE: Pinto e Xavier (1999)

Neste trabalho serão abordados cinco tipos básicos de manutenção, uma vez que manutenção corretiva não planejada e planejada será considerada apenas como manutenção corretiva, e na manutenção preditiva os monitoramentos objetivo e subjetivo conforme apresenta a Figura 3:

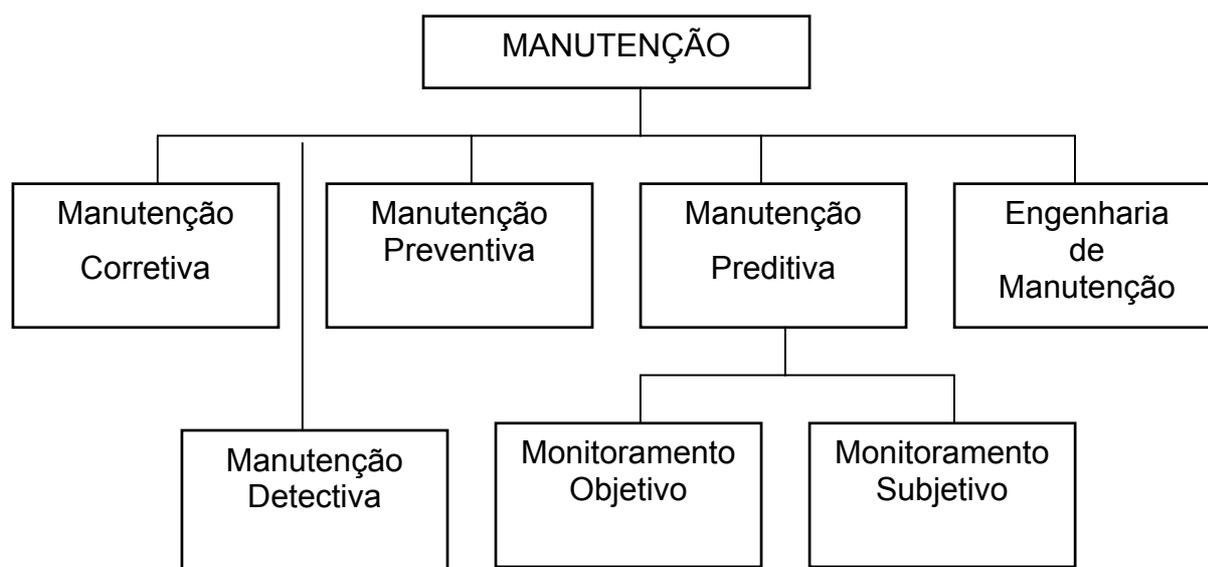


Figura 3: Cinco Tipos de Básicos de Manutenção
 FONTE: Adaptação feita a partir de Pinto e Xavier (1999)

Nos itens seguintes deste capítulo, será conceituado cada tipo de manutenção apresentado na Figura 3:

Manutenção Corretiva: correção da falha ocorrida;

Manutenção Preventiva: intervenção em intervalos de tempo pré-determinados;

Manutenção Preditiva: análise da condição do equipamento e sistema, indicando a necessidade de intervenção com base no estado do equipamento, através dos monitoramentos objetivo e subjetivo;

Manutenção Detectiva: busca de falhas ocultas;

Engenharia de Manutenção: correção da causa básica, visando à missão da manutenção.

MANUTENÇÃO CORRETIVA

Conforme a Norma Brasileira NBR-5462 (1994) manutenção corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida, e pane pode ser definida como a incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva, sendo que, para Pinto e Xavier (1999) a manutenção corretiva é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor do que o esperado ocorrer em um equipamento, não havendo tempo para preparação do serviço, sendo, infelizmente a mais praticada do que deveria.

Mirshawka (1991) comenta que manutenção corretiva é uma política de manutenção que corresponde a uma atitude de reação aos eventos mais ou menos aleatórios e que se aplica após a avaria. E será geralmente reservada aos equipamentos cuja indisponibilidade tem pouca incidência sobre a produção e cujo custo anual, suposto de reparos seja aceitável, bem como as

panes imprevisíveis, porém, apresenta alguns aspectos negativos, dentre os quais, para Zaion (2003) e Nepomuceno (1989) como:

- A falha ocorre aleatoriamente e geralmente no período inoportuno;
- A falha inesperada de um componente pode causar perigo para outros componentes acarretando custos adicionais.
- Baixa utilização anual das máquinas e equipamentos do processo produtivo;
- Diminuição da vida útil de máquinas, equipamentos e instalações;
- Paradas para manutenção em momentos aleatórios e muitas vezes inoportunos por corresponderem a épocas de ponta de produção, a períodos de cronograma apertado, ou até a épocas de crise geral.

Apesar desses inconvenientes, Nepomuceno (1989) e Bloch e Geitner (1997) afirmam que a manutenção corretiva será sempre necessário, devido existir modos de falha que não respondem adequadamente a serviços periódicos e nem podem ser detectados por inspeções ou monitoramentos, porém, na existência, a organização necessita de:

- Pessoal previamente treinado para atuar com rapidez;
- Existência de todos os meios materiais e ferramentais necessários para a ação corretiva;
- Existência de manuais detalhados de manutenção corretiva referentes aos equipamentos e aos processos produtivos e sua fácil acessibilidade;
- Existência de desenhos detalhados dos equipamentos e dos circuitos que correspondam às instalações atualizadas;
- Almoxarifado racionalmente organizado e com os estoques disponíveis;

- Contratos bem estudados, estabelecidos com entidades nacionais ou internacionais, no caso de equipamentos de alta tecnologia cuja manutenção seja impossível;
- Registros das falhas funcionais e dos tempos de reparo, classificados por equipamentos como também as perdas de produção resultantes das paradas para correção da falha ocorrida.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005) os recursos aplicados em manutenção corretiva se encontram em 31,89% de utilização, observando uma tendência de crescimento em relação à pesquisa realizada em 2003, que era de 29,98%, sendo a aplicação destes recursos pelos setores de Aeronáutica e Automotivo, Engenharia e Higiene, Limpeza e Farmacêutico com os maiores índices de utilização.

Embora possa ser considerada a mais deplorável forma de fazer manutenção, Kroner (1999) comenta que a manutenção corretiva ainda é aplicada em larga escala, não ocorrendo só em empresas pequenas que pouco sabem sobre outras formas de manutenção, mas também em grandes empresas, onde ainda se pensa como nos anos pós guerra, quando só interessava a produção e a manutenção era considerada centro de despesas.

Wireman (1990) compara o custo da mão de obra e materiais gastos com o custo da produção perdida, devido à máquina estar parada. Este custo pode ficar de 2 a 15 vezes o custo da manutenção, sendo que, a media é usualmente de 4 vezes, portanto, para cada US\$ 10.000,00 de custo de manutenção, o custo efetivo chega a US\$ 50.000,00, considerando a diferença da parada da máquina conforme ilustrado na Figura 4.

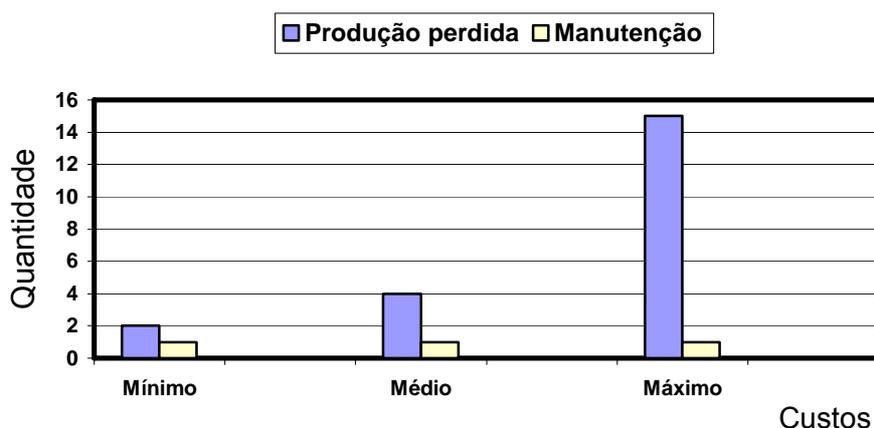


Figura 4: Comparação de Custo de Manutenção com Produção Perdida
 FONTE: Wireman (1990)

Observa-se na Figura 4 que a produção perdida, significa que o equipamento ficou indisponível para operar devido a necessidade de realizar a manutenção corretiva, e quando existe esta necessidade os custos aumentam tanto de mão de obra como de materiais, como se pode observar na pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005), que a composição dos custos de manutenção nas empresas pesquisadas ficaram em 32,53% com pessoal próprio, 33,13% com materiais, 24,84% com serviços contratados e 9,50% com outros, confirmando que na manutenção corretiva o tempo de parada se torna maior por não estar preparado com os materiais e conseqüentemente maiores prejuízos.

Um das vantagens deste tipo de manutenção é que a máquina trabalhará até quebrar, reduzindo o custo da manutenção no equipamento por um período, porém, as desvantagens são muitas como altos custos da perda de produção em função da parada do equipamento inesperadamente, ou seja, sem planejamento, e quando quebra, aumenta o custo com a reposição de material e mão de obra.

De acordo com Mirshawka (1993) deve-se continuamente buscar um melhor desempenho do equipamento e do maior uso da manutenção preventiva, reduzindo a necessidade de correção de emergência.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Conforme a Norma Brasileira NBR-5462 (1994) manutenção preventiva é a manutenção efetuada em intervalos pré-determinados, ou de acordo com critérios prescritos, destinado a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Viana (2002) define manutenção preventiva, todo serviço de manutenção realizada em máquinas que não estejam em falha, estando em condições normais de operação, sendo realizadas em intervalos pré-determinados proporcionando tranquilidade operacional necessária para o bom andamento do processo produtivo. Este tipo de manutenção oferece uma serie de vantagens para uma organização fabril com relação à corretiva, já comentada. Um dos fatos mais desagradável no cotidiano da produção é uma pane inesperada, ocasionando uma parada do processo produtivo, aumentando os custos de manutenção e produção, como também uma frustração da equipe de execução e planejamento. As preventivas reduzem bastantes estes acontecimentos, proporcionando o controle sobre o funcionamento dos equipamentos, e um elevado grau de auto-estima da equipe de manutenção, apresentando as seguintes vantagens para Wyrebski (1997);

- Assegura a continuidade do funcionamento das máquinas, só parando para consertos em horas programadas;
- Maior facilidade para cumprir os programas de produção;

Porém, requer um programa bem estruturado, uma equipe de manutenção eficaz e treinada, um plano de manutenção com a desvantagem de que peças serão trocadas antes de atingirem seus limites de vida.

Para Zaions (2003) o objetivo final da manutenção preventiva é obter a utilização máxima do equipamento nas tarefas de produção, com redução de tempo de máquina parada e dos custos de manutenção, sendo que, para isto deve-se tomar as seguintes medidas:

- Determinar padrões que permitam avaliar a eficiência da manutenção;
- Planejar e programar com antecedência;
- Melhorar a produtividade de cada pessoa da equipe de manutenção, diminuindo os atrasos evitáveis e inevitáveis;
- Assegurar de que tanto o equipamento quanto a mão de obra de manutenção estão disponíveis simultaneamente para a realização da manutenção preventiva, cumprindo a programação nos horários previstos.

Com todas essas medidas, de acordo com Muassab (2002) o custo da manutenção preventiva é elevado, tendo em vista que peças e componentes dos equipamentos podem ser substituídos antes de atingirem seus limites de vida útil. Para adoção de uma política de manutenção preventiva, Pinto e Xavier (1999) comentam que se devem considerar fatores como impossibilidade da adoção de manutenção preditiva, aspectos de segurança pessoal ou da instalação, equipamentos críticos de difícil liberação operacional, risco ao meio ambiente, sistemas complexos ou de operação contínua.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005) os recursos aplicados em manutenção preventiva se encontram em 38,35% de utilização, observando uma tendência de crescimento em relação a pesquisa realizada em 2003, que era de 35,49% e em 2001 de 35,67%, sendo a aplicação deste recurso pelos setores de Energia Elétrica, Petróleo, Siderurgia, Prestação de Serviços de Equipamento, Alimentos, Açúcar e Alcool, como maiores índices de utilização.

Para Nagao (1998) na manutenção preventiva, as revisões nos equipamentos são realizadas dentro de um programa de revisões sistemáticas, onde através de históricos das intervenções, são executados os serviços de manutenção, sendo aplicável nos casos em que a degradação do sistema é progressivo e existe uma correlação direta com o tempo, tendo como os fenômenos de desgaste como aplicação típica de manutenção preventiva baseada no tempo.

Ela é baseada em dados estatísticos de vida média e tempo médio entre falhas. Normalmente o equipamento é totalmente desmontado e são substituídos vários de seus componentes, sendo que, muitos destes componentes ainda estão em bom estado, porém, acaba sendo substituído devido a não confiança de que o componente irá durar até a próxima revisão.

Nagao (1998) ainda comenta que se substituem componentes que já passaram pela fase de mortalidade infantil por componentes que poderão ter falhas de fabricação com taxas de falhas maiores, podendo em muitos casos ser introduzidas falhas de material ou de montagem nas revisões. Para ilustrar alguns inconvenientes da manutenção preventiva sistemática, o autor cita o exemplo da comparação homem com a máquina. Utilizando o conceito da manutenção preventiva para medicina, por exemplo, para um componente do ser humano que é o coração, seria necessário fazer substituição sistemática desse componente com um transplante do coração a um tempo pré determinado. A política adequada de manutenção no caso do coração é o acompanhamento do seu estado e tomada de medidas preventivas como a prática de exercícios regulares, hábitos de alimentação saudável, não fumar e ter uma vida menos estressante, como também se acompanha o parâmetro de auxílio a diagnose do coração como o eletrocardiograma, ecocardiograma, pressão arterial, exame ergométrico e somente com a diagnose precisa do estado do coração, se faz a intervenção, não generalizada, porém, direcionada, tais como uma ponte de safena, instalação de marca passo ou a substituição de uma válvula, portanto, como aceitar a premissa que um rolamento deve ser substituído a um certo período de trabalho pré-determinado? Com certeza existem vários rolamentos que falham antes do tempo definido para a intervenção e outros que são substituídos ainda em bom estado. Sendo assim, a melhor condição de manutenção é quando se acompanha o parâmetro significativo da máquina ou do componente e realiza-se a intervenção quando e onde necessário, utilizando-se da manutenção preditiva.

MANUTENÇÃO PREDITIVA

Conforme a Norma Brasileira NBR-5462 (1994) manutenção preditiva pode ser definida como o tipo de manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir a um mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

A manutenção preditiva associado as atitudes e habilidades das pessoas se torna um dos tipos de manutenção capaz de proporcionar ganhos consideráveis, contribuindo para a viabilidade econômica da organização. Para Kroner (1999) a manutenção preditiva foi o passo na revolução da manutenção, quando começou a ter tratamento científico e decisivo para que passasse a ser vista como algo absolutamente necessário e que não precisa atrapalhar o processo produtivo.

Xavier (2004) comenta que o termo associado a manutenção preditiva é o de “predizer”, sendo o grande objetivo da manutenção preditiva: predizer ou prevenir as falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento dos diversos parâmetros, permitindo a operação continua pelo maior tempo possível, ou seja, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade a medida que não promove intervenções nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com os equipamentos em operação, sendo que, a intervenção só é decidida quando os parâmetros acompanhados indicam sua real necessidade.

Para Wireman (1990) e Pinto e Xavier (1999) manutenção preditiva permite prever o fracasso por análise de condição do equipamento, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática, geralmente administrada por alguma forma de tendência de um parâmetro como vibração, temperatura ou vazamento, permitindo o conserto do equipamento sem interferir no horário de produção, sendo o monitoramento da condição operacional do equipamento para descobrir qualquer sinal de uso que está conduzindo o fracasso de um componente, ou seja, localizar o uso de componente com uma metodologia

que assegura que qualquer fracasso iminente seja descoberto. Uma vez descoberto programa-se a intervenção antes que falhe.

Manutenção preditiva é uma expressão definindo um tipo de manutenção condicional que permite reajustar as previsões das operações de manutenção a efetuar, estimando-se a tendência evolutiva do funcionamento não adequado, detectando no equipamento ou máquina, o tempo durante o qual é possível continuar a utilizá-lo antes da avaria (MIRSHAWKA, 1991). Na manutenção preditiva para Zaions (2003), o controle das condições de funcionamento das máquinas em operação é realizado com instrumentos de medição própria de forma a detectar as mudanças no item, com a finalidade de predizer o ponto potencial de falha, para executar a manutenção somente quando e se houver necessidade, permitindo otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção. A manutenção preditiva permite prever quando a peça ou componente estão próximos do seu limite de vida.

Nepomuceno (1989) comenta que a manutenção preditiva tem por finalidade estabelecer quais os parâmetros que devem ser escolhidos em cada tipo de máquina ou equipamento, em função das informações que as alterações de tais parâmetros sobre o estado mecânico de um determinado componente. Em base as informações, a análise dos mesmos, permitirá que sejam tomadas providencias, visando evitar quebras ou mesmo situação catastróficas irreversíveis. É importante considerar a necessidade de uma organização rígida, que coordene e analise uma serie apreciável de inspeções que são realizadas periodicamente em praticamente todos os equipamentos. Para Palmer (1999) um programa de manutenção preditiva vai além do normal. Técnicas como monitoramento de vibração, análise de óleo, termografia, descobrem facilmente um problema serio de equipamento, além disso, o conhecimento aprendido de analisar equipamento facilita o uso de novo alinhamento, reconstrução ou outras técnicas para estender os tempos correntes sem defeitos dos equipamentos, sendo que, Mobley (1990) comenta

que cada técnica tem um único objetivo, determinar a atual necessidade da realização de manutenção.

Tavares (1996) entende por controle preditivo de manutenção, a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva em um equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade de o equipamento falhar assume valores indesejados. A determinação desse ponto traz como resultado, índices ideais de prevenção de falhas, tanto sob o aspecto técnico quanto econômico, uma vez que a intervenção no equipamento não é feita durante o período em que suas características operativas estão comprometidas. Para Bloch e Geitner (1997) as ações da manutenção preditiva não reduzem diretamente a taxa de deterioração de um componente, mas controlam indiretamente a consequência de acidentes, quebras e mau funcionamento. A manutenção preditiva deve ser aplicada para modos de falha que ocorrem aleatoriamente e repentinamente.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005) os recursos aplicados em manutenção preditiva se encontram em 16,21% de utilização, observando uma tendência de queda em relação a pesquisa realizada em 2003, que era de 17,76% e em 2001 de 18,87%, sendo a aplicação destes recursos pelos setores de Prestação de serviços de equipamentos e Siderurgia com os maiores índices de utilização.

Para Nepomuceno (1989) este tipo de manutenção, ou seja, intervir no momento adequado, é a que tende estabelecer na atualidade, em todas as indústrias que possuem departamento suficientemente desenvolvido para manter a produção dentro de parâmetros econômicos evoluídos, devendo existir em operação no parque industrial uma variedade enorme de máquinas, equipamentos, conjuntos rotativos, alternativos, estáticos, assim como equipamentos acionados por motores elétricos, motores a explosão, turbinas com os mais diversos tipos de acoplamento e fixação. Por tal motivo a manutenção preditiva deve ser estabelecida com extremo cuidado, havendo necessidade de se ter às informações precisas sobre o funcionamento do

equipamento, as condições ambientais em que o mesmo trabalha, o processo de envelhecimento de cada componente do mesmo, e saber o como a máquina ou equipamento que se pretende manter pode sofrer prejuízos. Com tais dados é que é possível verificar quais os parâmetros, ou variáveis, que interessam a manutenção preditiva, podendo ser citada as seguintes variáveis:

- a) Espessura do material;
- b) Temperatura de operação;
- c) Vibração do equipamento por deslocamento, velocidade, aceleração e fase;
- d) Contaminação do lubrificante;
- e) Particulado do lubrificante;
- f) Constante dielétrica e fator $\tan \Phi$;
- g) Fiação e cabeação, isolamento e estado do isolamento;
- h) Análise de óleo isolante;
- i) Ventilação e/ou aeração;
- j) Monitoramento de fissuras por fadigas (carga cíclica);

Para Mobley (1990) a manutenção preditiva é uma filosofia ou atitude que usa a atual condição de operação de equipamento e sistema para otimizar a operação total da planta através de técnicas não destrutivas, que são normalmente usa

das, como monitoramento de vibração, monitoramento de parâmetros de processo, termografia, tribologia e inspeção visual, sendo que, Nepomuceno (1989), apresenta na Figura 5 o funcionamento da manutenção preditiva de maneira esquemática, as técnicas fundamentais para implantação de um programa de manutenção preditiva.



Figura 5: Técnicas Fundamentais para um Programa de Manutenção Preditiva
 FONTE: Nepomuceno (1985)

Observa-se na Figura 5 que varias das técnicas e métodos são utilizados na manutenção preventiva e corretiva, sendo que na manutenção preditiva os dados são utilizados de maneira evolutiva analisando a tendência da condição do equipamento, sem necessidade de interromper o processo produtivo.

Para Kroner (1999) a manutenção preditiva se constitui em uma tecnologia baseada no monitoramento e avaliação da saúde do equipamento em operação, combinando com a possibilidade de fazer investigações sobre falhas e à seguir planejando e executando reparos com um mínimo de custo, tendo as principais características:

- Monitoramentos são feitos sem parar ou desmontar o equipamento;
- Eventuais intervenções são feitas em função da condição do equipamento;
- As informações obtidas pelos mais modernos meios recebem tratamento científico;

- Os resultados obtidos são tanto qualitativos como quantitativos.

Kroner (1999) ainda comenta que a aplicação da manutenção preditiva é recomendada em especial para:

- Máquinas cuja parada leva a perda de produção;
- Equipamentos de alto valor de reposição, que necessitam utilização durante 24 anos, para garantir competitividade;
- Instalações sujeito a defeitos devido uso extremo;
- Equipamentos que oferecem risco a integração física das pessoas e ao meio ambiente.

A manutenção preditiva para Tavares (1996) começa nas fases de especificação, projeto, fabricação e instalação contribuindo com a minimização dos custos de manutenção corretiva e preventiva e a maximização da eficiência na manutenção. Manutenção preditiva apresenta resultados que podem e devem ser considerados como atividades produtivas, conseguindo muitas vantagens, algumas delas serão apresentadas e outras poderão ser encontradas em Nepomuceno (1989).

- Os equipamentos de reserva podem ser eliminados em grandes números de casos, diminuindo o ativo fixo;
- O controle efetivo de peças sobressalentes e materiais, diminuindo de maneira sensível os custo de estoques elevados e quando a manutenção é executada inteligentemente, o estoque de peças permanece no fornecedor e não no almoxarifado da fabrica;
- A manutenção preditiva visa primordialmente, programar os reparos de pequena ou grande monta, com isso, a ociosidade originada por falhas é diminuída a seu valor mínimo, com reflexos grandes na eficiência da instalação;

- A manutenção preditiva apresenta, em geral uma redução global entre 15% a 20%, observado com a manutenção preventiva, quando são comparados os custos de materiais e mão de obra (NEPOMUCENO, 1989).

A manutenção preditiva não é um substituto para os métodos de administração mais tradicionais, porém, é uma valiosa adição a um programa de administração da manutenção. Isto não pode totalmente eliminar todos os aspectos de correr para o fracasso como o programa tradicional de manutenção preventiva, mas pode reduzir o número de fracassos, como também promover uma programação confiável, para todas as tarefas de manutenção (MOBLEY, 1990) e para Pinto e Xavier (1999) a manutenção preditiva permite uma significativa mudança na manutenção, pela antecipação dos problemas nas máquinas, resultando numa relação de ganho significativo. A tendência mundial é adotar cada vez mais a manutenção baseada na condição dos equipamentos.

De acordo com Mobley (1990) uma pesquisa de 1988 de 500 plantas que implementaram métodos de manutenção preditiva, indicam melhorias em confiabilidade, disponibilidade e custos operacionais. Administrado pelo Grupo de Desenvolvimento de Planta (uma divisão de tecnologia de energia para corporação), tal pesquisa foi projetada para quantificar o impacto, incluindo técnicas de manutenção preditiva como parte fundamental da filosofia de administração. O Grupo incluiu uma variedade de indústrias nos Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, França e Austrália. As indústrias incluíram geração de energia elétrica, polpa e papel, processo de alimentos, tecido, ferro e aço, alumínio e outras fabricações e indústrias de processo. Cada um dos participantes, com 3 anos de implementação do programa, promoveram uma avaliação dos tipos de melhorias que podem ser esperadas de uma administração de manutenção preditiva. Conforme os resultados da pesquisa, as melhorias que podem ser alcançadas são:

- Redução de custos de manutenção de 50%;

- Redução de falhas inesperadas de máquinas de 55%;
- Redução do tempo de reparo de 60%;
- Redução de pequenas partes de estoque de 30%;
- Aumento da vida útil da máquina de 30%;
- Aumento da produção de 30%;
- Aumento da segurança o operador;
- Verificação da condição do equipamento novo;
- Aumento da rentabilidade global.

A desvantagem com este tipo de manutenção para Mobley (1990), está relacionada com altos custos iniciais para implantação de um programa de monitoramento, como análise de vibração e análise termográfica, porém, as vantagens superam, devido o monitoramento poder detectar com antecedência, o estado do componente, e a manutenção ser efetuada apenas quando necessário e com planejamento, resultando em economia, reduzindo as paradas de máquinas e processos. Como exemplo, pode-se supor uma empresa com custo anual de manutenção de R\$ 7.332.000,00 que, de acordo com a pesquisa de Mobley (1990), tendo uma redução de custo de manutenção de 50%, economizaria R\$ 3.666.000,00, após 3 anos de implementação do programa de manutenção preditiva. O autor ainda comenta que, por mais que a manutenção preditiva tenha suas vantagens, ela se limita ao monitoramento baseado na condição ou estado do componente, sendo necessário preocupar-se também com os equipamentos de proteção e segurança que normalmente ficam parados, em *stand-by* (reserva). Para Lafraia (2001) estes equipamentos podem ser monitorados através de testes para detectar falha, ou seja, revelar falhas ocultas antes de uma demanda operacional.

MANUTENÇÃO DETECTIVA

De acordo com Pinto e Xavier (1999) a manutenção detectiva apareceu no início da década de 70 e começou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90, podendo ser definido como “a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção”, e para Lafraia (2001) o objetivo de um programa de manutenção de falhas ocultas é prevenir ou pelo menos reduzir o risco de falhas múltiplas, sendo que, a identificação de falhas ocultas, para Pinto e Xavier (1999) é primordial para garantir a confiabilidade dos equipamentos de sistema de proteção e segurança, que usualmente não são utilizados.

Para Santos (1996) o aumento da indisponibilidade deste sistema pode ser evitado desde que são testados periodicamente, para detectar os possíveis componentes em estado de falha e repará-los, garantindo a confiabilidade quando entrar em operação. As falhas ocultas para Moubray (2000) incluem equipamento médico de emergência, equipamento de combate a incêndio, botão de parada de emergência, dispositivo de proteção de sobrecarga e sobre velocidade, plantas *stand-by* (reserva) e sistemas de suprimento de força de emergência.

Manutenção detectiva ou busca de falhas aplica-se somente para as falhas ocultas ou não reveladas, e as falhas ocultas por sua vez afetam somente os dispositivos de proteção conforme Moubray, (2000) e ainda o autor comenta que se a indústria tem com seriedade a segurança e a integridade ao meio ambiente como um todo, a questão da manutenção detectiva (procura da falha), necessita ter uma prioridade do topo como uma matéria de urgência. Quanto mais os profissionais de manutenção tornam-se consciente da importância desta área negligenciada da manutenção, é provável que ela se torne uma maior questão da estratégia de manutenção na próxima década, do que a manutenção preditiva tem sido nos últimos dez anos.

Zaions (2003) comenta que as falhas ocultas ocorrem sem que ninguém perceba que o item físico encontra-se em estado de falha, não tendo um impacto direto, porém, expõem a empresa à falhas múltiplas com conseqüências que podem ser graves ou até mesmo catastróficas. Tais falhas estão geralmente associadas a operação de dispositivo de segurança e proteção, utilizados com o objetivo de evitar ou reduzir as conseqüências das falhas apresentadas na Figura 6

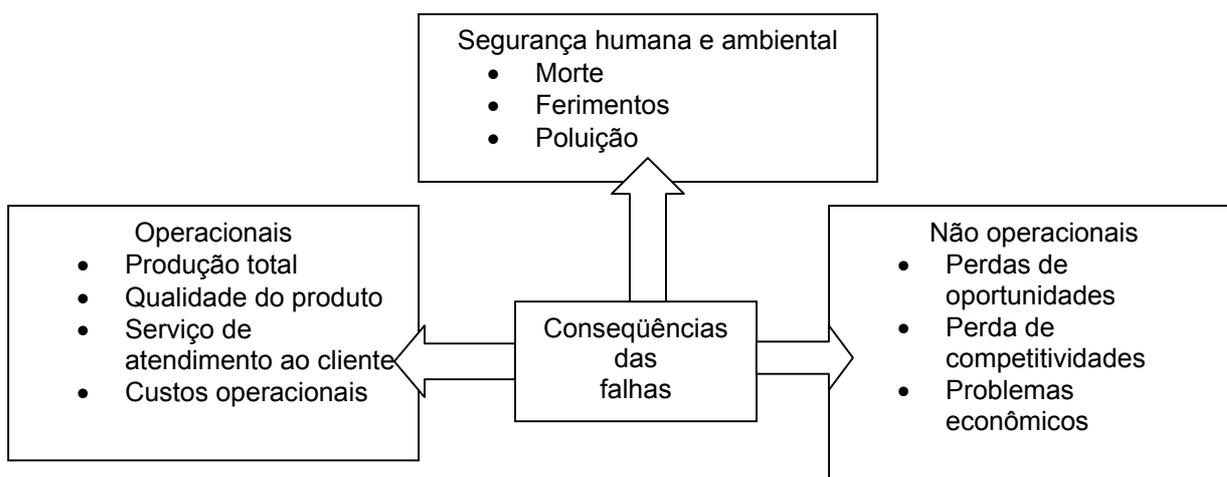


Figura 6: Conseqüências das falhas
FONTE: Zaions (2003)

Observa-se na Figura 6 que as conseqüências das falhas são muitas e podem ser graves quando se trata de segurança humana e ambiental. A importância da manutenção detectiva cresce a cada dia, à medida que aumenta a utilização de instrumentação de comando, controle e automação nas indústrias (PINTO E XAVIER, 1999).

2.3. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Pinto e Xavier (1999) comentam que, no momento em que a estrutura de manutenção estiver utilizando para análise, estudos e proposição de melhorias todos os dados que o sistema de preditiva colhe e armazena, estará praticando engenharia de manutenção, sendo definida como deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações

permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar retorno ao projeto, interferir tecnicamente nas compras, ou seja, perseguir melhores resultados.

Engenharia de manutenção, para Branco Filho (2000), é um órgão consultivo, normalmente em nível de *staff*, que constitui o sistema de controle da gerência de manutenção para corrigir e melhorar a gestão, aperfeiçoando as técnicas de organização, os métodos e procedimentos do trabalho, favorecendo a implantação da política de manutenção mais adequada

Para Pinto e Xavier (1999), a definição da política de manutenção mais adequada pode ser definida pelo diagrama de seleção dos tipos de manutenção, apresentado na Figura 7.

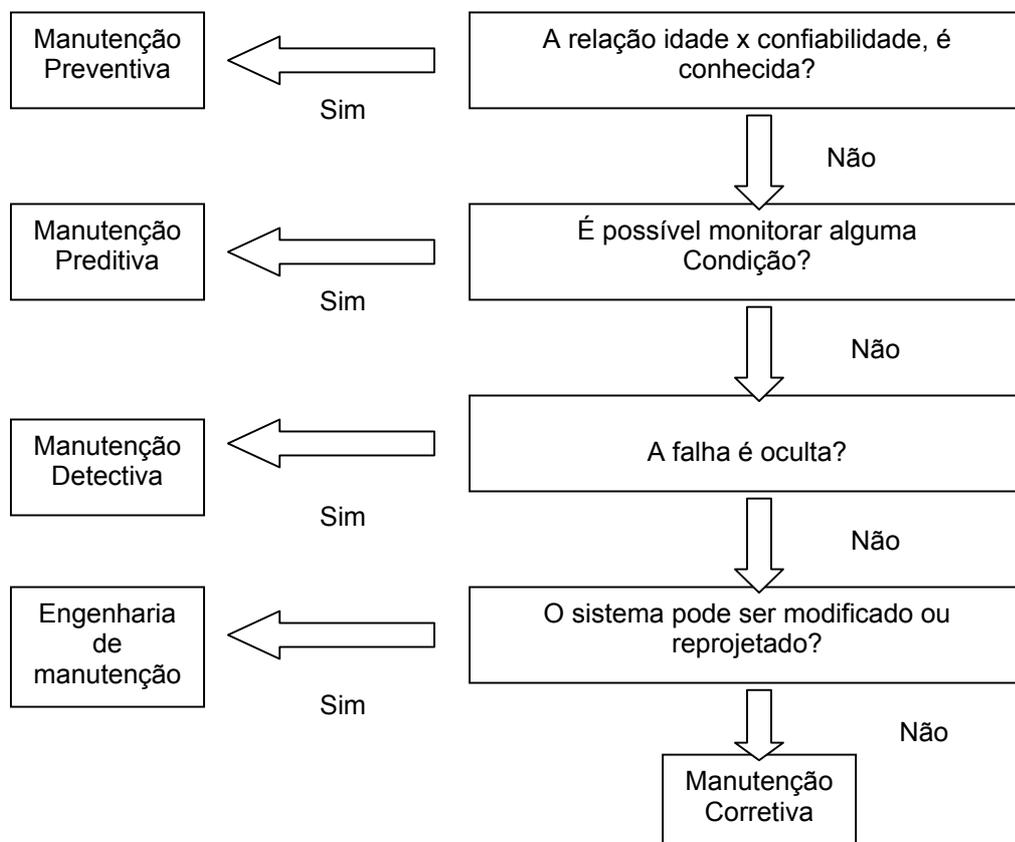


Figura 7: Seleção dos tipos de manutenção
Fonte: Adaptação feita a partir de Pinto e Xavier (1999)

Viana (2002) comenta que a engenharia de manutenção possui uma grande importância, como fator de desenvolvimento técnico-organizacional da manutenção industrial, e tem como objetivo de promover o progresso tecnológico da manutenção, através da aplicação de conhecimentos científicos e empíricos na solução de dificuldades encontradas nos processos e equipamentos, perseguindo a melhoria da manutenibilidade da maquinaria, maior produtividade, e a eliminação de riscos em segurança do trabalho e de danos ao meio ambiente. O apoio técnico à manutenção também deve ser exercido como esclarecendo dúvidas e traçando diretrizes, contribuindo para a solução de diversos problemas de campo. Dentre o suporte técnico referido esta à utilização das técnicas preditivas nos equipamentos e caberá a engenharia de manutenção gerenciar tais serviços, criando uma estrutura que proporcione uma maior previsibilidade na manutenção, e Chagas (1997) apresenta na Figura 8 a estrutura da engenharia de manutenção que deverá responder pela confiabilidade, custos e programação de manutenção.



Figura 8: Estrutura da Engenharia de Manutenção
Fonte: Chagas (1997)

Para Kroner (1999) a atividade de engenharia de manutenção assume significado cada dia maior nos destinos da manutenção e principalmente na produtividade das empresas quando relacionada à manutenção, sendo suas tarefas de grande importância, que basicamente são:

- Organizar e implantar um sistema de manutenção;
- Avaliar os resultados dos relatórios pelo sistema;

- Organizar relatórios executivos para as chefias da manutenção e da empresa;
- Propor medidas preventivas para aumentar a disponibilidade dos equipamentos;
- Planejar as manutenções em comum acordo com a operação;
- Realizar estudos de confiabilidade em cima dos resultados do sistema;
- Planejar e organizar gestão de peças sobressalentes de acordo com a política de manutenção;
- Planejar e coordenar programas 5 S e TPM.

Uma das tarefas importante que não pode ser esquecida pela engenharia de manutenção é, análise de custos de manutenção, e Pinto, Xavier e Baroni (2002) comentam que a primeira comparação de custos, deve ser feita entre os vários tipos de manutenção, como mostra o Quadro 2.

TIPO DE MANUTENÇÃO	CUSTO US\$/HP/ANO
Corretiva	17 a 18
Preventiva	11 a 13
Preditiva	7 a 9

HP = *Horse power* = Potência instalada

Quadro 2: Custo por tipo de manutenção
 FONTE: Pinto,Xavier e Baroni (2002)

Observa-se no Quadro 2 que o custo de manutenção corretiva é, pelo menos, o dobro do custo da manutenção preditiva. Outro aspecto importante para Pinto, Xavier e Baroni (2002) está relacionado aos custos de que modo realizar as atividades de manutenção preditiva, se com recurso próprio ou contratado serviço de empresa especializada. O Quadro 3 apresenta os custos por equipamentos e os valores de prestação de serviços de manutenção preditiva (valores médio de 2002), permitindo uma análise mais detalhada.

CUSTO DE EQUIPAMENTOS	
EQUIPAMENTO	US\$
Coletor de dados	4.000 a 25.000
Software de gerenciamento (vibrações)	15.000 a 20.000
Equipamento de alinhamento a laser	5.000 a 8.000
Termovisor (câmara e software)	12.000 a 70.000
Medidor de espessura	1.000 a 10.000
Radiômetros	100 a 300
Medidor ultra-som	2.000 a 50.000
Boroscópios	2.000 a 60.000
Instrumentos para óleos lubrificantes	2.000 a 250.000
Instrumentos de ferrografia (completa)	70.000
PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA	
Termografia	180,00 a 500,00/dia (1 dia = 3 subestações)
Análise de vibração	4,80/ponto (até 250 pontos nas 3 direções) 4,00/ponto (mais do que 250 pontos) 6,40/ponto (para compressores)
Ensaio ferrográfico completo (quantitativo e analítico)	80,00
Ensaio físico-químico para óleo isolante	20,00
Ensaio físico-químico convencional para lubrificantes	20,00
Cromatografia gasosa para óleo isolante	15,00

Quadro 3: Custo de equipamentos e prestação de serviços
 FONTE: Pinto, Xavier e Baroni (2002)

O Quadro 3 mostra que a engenharia de manutenção deve fazer uma análise bem detalhada, não só em relação aos custos dos equipamentos apresentados, mas, na definição se a manutenção preditiva será realizada com recurso próprio ou contratado.

Viana (2002) comenta que, engenharia de manutenção também tem a responsabilidade da atualização técnica da equipe de execução e operação por intermédio de cursos e palestras visando a qualificação profissional, como também em seu escopo de trabalho o desenvolvimento de fornecedores e materiais, equipamentos e serviços, buscando qualidade e custo adequado.

Além dessas responsabilidades citadas, a engenharia de manutenção deve fazer a seleção das máquinas que seriam monitoradas pelas técnicas de inspeção preditiva, que no mínimo deve ter as seguintes considerações conforme Pinto, Xavier e Baroni (2002).

- Importância da máquina no processo produtivo; Qualidade e produtividade;

- Custo ou dificuldade de aquisição de sobressalentes;
- Não existência de máquina *stand-by* (reserva);
- Custo da própria máquina;
- Custo e/ou dificuldade de intervenção;
- Segurança pessoal e operacional;

Após a definição das máquinas selecionadas, deve-se adotar qual a técnica de inspeção a ser aplicada, sendo que, a aplicação de apenas uma técnica pode ser suficiente para o acompanhamento dos equipamentos, comentam Pinto, Xavier e Baroni (2002), como por exemplo:

- Termografia ou termovisão para instalação elétricas;
- Medição e análise de vibração para equipamentos rotativos de pequeno porte;

E para equipamentos mais críticos para o processo é usual a adoção de mais de uma técnica de modo a garantir um melhor monitoramento do equipamento, conforme Pinto, Xavier e Baroni (2002), como por exemplo:

- Ferrografia por análise convencional do óleo lubrificante;
- Medição e análise de vibração para equipamentos do tipo compressores centrífugos e axiais de grande porte, acionado por motor elétrico ou turbina a vapor (em geral, monitorados continuamente).

Pinto e Xavier (1999) comentam que ter engenharia de manutenção significa estar buscando melhores resultados para a organização. A Figura 9 ilustra estes resultados comparando-os com os tipos de manutenção.

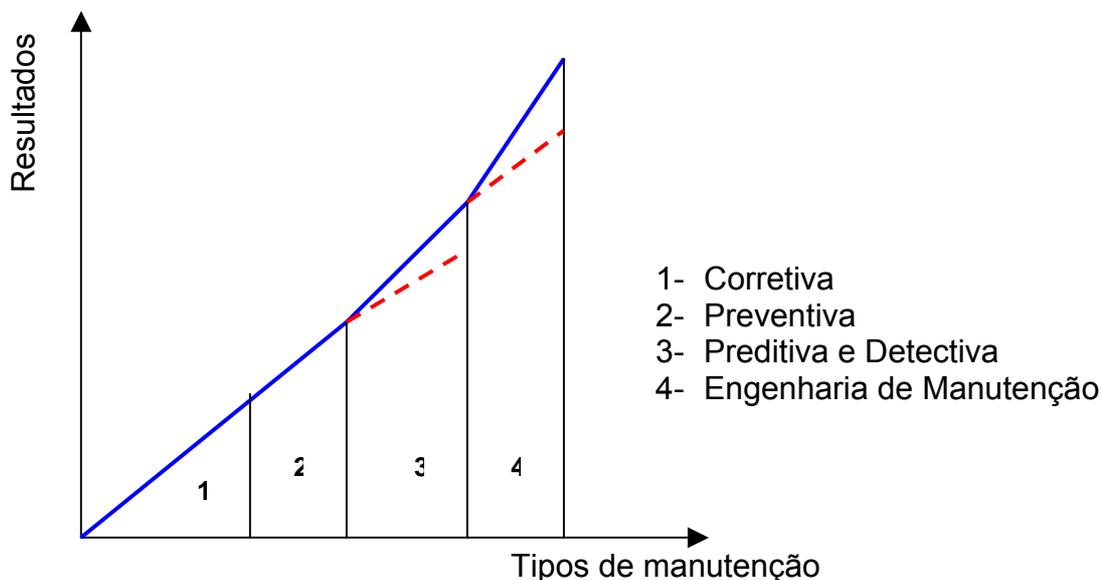


Figura 9: Resultados x Tipos de Manutenção
FONTE: Pinto e Xavier (1999)

Observa-se na Figura 9 uma evolução dos resultados à medida que melhores técnicas vão sendo introduzidas, sendo que, entre a corretiva e preventiva ocorre uma melhora contínua, mas discreta, e quando se muda de preventiva para a preditiva ocorre um salto positivo nos resultados. Salto mais significativo ocorre quando se adota a engenharia de manutenção (PINTO E XAVIER, 1999).

A engenharia de manutenção como uma maneira de analisar e buscar as melhorias necessárias, deve promover mudança de modo que o nível de atuação, através da aplicação de manutenção preditiva seja aumentado como forma de obter melhores resultados para a organização.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005), 59,83% das empresas Brasileiras possuem atividade de engenharia de manutenção, observando uma queda em relação à pesquisa realizada em 2003 que era de 78,86%, sendo os setores de Alimentos, Açúcar e Alcool, Engenharia elétrica, Metalúrgico, Petróleo, Transporte, Prestação de serviços de equipamentos e Químico, que possuem esta atividade.

2.4. FALHA E SUAS CARACTERÍSTICAS

Falha implica em uma quebra, ruptura ou descontinuidade entre o esperado e o verificado, perdendo a capacidade de realizar a função especificada.

Nepomuceno (1989) comenta que, quando a aptidão de um item qualquer termina, não sendo mais exercida a função que lhe compete, dá-se o nome genérico de falha, também chamada de pane, quebra, ruptura, enguiço e várias outras denominações, dependendo do hábito do operador. Na verdade, falha nada mais é que o termino da aptidão de um item qualquer, ou de um equipamento inteiro, de exercer as funções para as quais foi instalado, podendo ser de três tipos:

- a) Imposição do operador, que retira o equipamento do serviço de maneira deliberada, apesar do mesmo estar cumprindo satisfatoriamente as funções que lhe competem:
- b) Falhas de desempenho, ligadas a uma diminuição de eficiência do equipamento;
- c) Falhas catastróficas, que dão origem ao termino da aptidão de um sistema qualquer de cumprir suas funções.

A impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com sua função no nível especificado ou requerido é a definição de falha dada por Lafraia (2001) e o autor ainda comenta que, a origem das falhas dos equipamentos, numa visão ampla, é devida a três fatores básicos:

- a) Falhas de projeto: Ocorrem quando o projetista não consegue identificar claramente as necessidades do cliente ou quando estas não estão adequadamente identificadas e não se consegue aplicar os requisitos de engenharia corretos para aplicação, como por exemplo, seleção de materiais inadequada ao uso e dimensionamento inadequado de peças.

- b) Falhas de fabricação: Na fase de fabricação pode provocar falhas quando os processos de fabricação e montagem são inadequados, e o uso incorreto do produto incluindo manutenção inadequada.
- c) Falhas na utilização: Ocorrem por falta de instrução do fabricante ou de treinamento do cliente.

Para Mirshawka e Olmedo (1993), uma falha é o término da capacidade de um item efetuar uma função exigida ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho definido. Falha pode, então representar ou ser representada pela:

- Interrupção da produção;
- Operação em regime instável;
- Queda da quantidade produzida;
- Deterioração (perda da qualidade) do produto.

Para Branco Filho (2002) e Viana (2002), falha é a perda da capacidade de um item para realizar sua função especificada, podendo ser equivalente ao termo avaria, é a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo. A falha leva um item ao estado de indisponibilidade. Lafraia (2001) comenta que a idéia usual, é de que a melhor maneira de se otimizar a disponibilidade de plantas de processo é através da execução de algum tipo de manutenção, consistindo de substituição ou recondicionamento de equipamento e/ou componentes em intervalos fixos por trás de planos de substituições periódicas, assumindo-se que a maioria dos componentes operam confiavelmente durante um determinado período e, na seqüência, inicia-se um período de desgaste acelerado conforme apresentado na Figura 10.

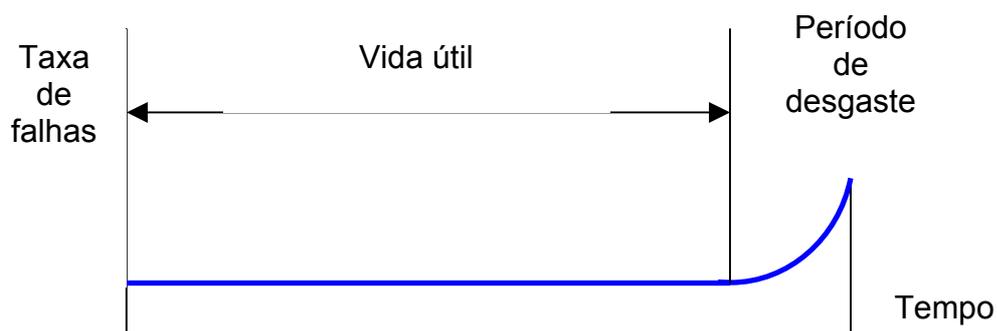


Figura 10: Teoria por trás de planos de substituições periódicas
 FONTE: Lafraia (2001)

Para Nepomuceno (1989) o termo vida útil designa o tempo de vida durante o qual um dispositivo qualquer (peça, componente, máquina, equipamento, sistema, circuito, etc) deve operar de maneira satisfatória, obedecendo às especificações do projeto e com segurança, desde que sujeito a um processo de manutenção como indicado pelas instruções do fornecedor, sem ser submetido a condições ambientais ou esforços superiores aos especificados.

Lafraia (2001) comenta que, a definição de falha no contexto da confiabilidade é, “impossibilidade de um sistema ou componente cumprir com sua função no nível especificado ou requerido”. Tradicionalmente, as fases da vida de um componente ou sistema são descritas pela Curva da Banheira, conforme apresentado na Figura 11.

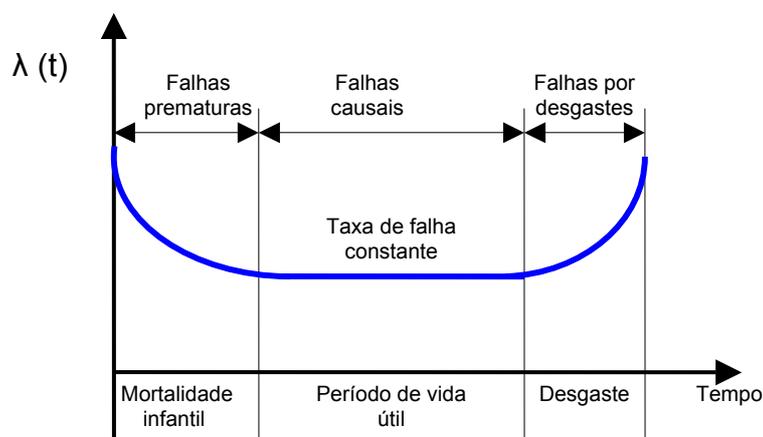


Figura 11: A curva da Banheira
 FONTE: Lafraia (2001)

A Figura 11 mostra que um componente apresenta três períodos de vida conhecidos como, mortalidade infantil, período de vida útil e período de desgaste, sendo que Lafraia (2001) comenta todos os períodos abaixo:

- Período de mortalidade infantil - Ocorre às falhas prematuras. A taxa de falha é decrescente, podendo ter as seguintes origens: processo de fabricação deficiente, controle de qualidade deficiente, mão de obra desqualificada, amaciamento insuficiente, pré-teste insuficiente, materiais fora de especificação, componentes não especificados, componentes não testados, componentes que falharam devido à estocagem e transporte indevidos, sobrecarga no primeiro teste, contaminação, erro humano, instalação imprópria, partida deficiente, entre outras.
- Período de vida útil - Caracterizado por taxa de falha constante. Normalmente, as falhas são de natureza aleatória, pouco podendo ser feito para evitá-las. Alguns exemplos de causas de falhas neste período são: interferência indevida, fator de segurança insuficiente, cargas aleatórias maiores que as especificadas, resistência menor que a esperada, defeitos abaixo do limite de sensibilidade dos ensaios, erros humanos durante uso, aplicação indevida, abusos, falhas não detectadas pelo melhor programa de manutenção preventiva, causas inexplicáveis e fenômenos naturais imprevisíveis.
- Período de desgaste - Ocorre o término da vida útil do equipamento; a taxa de falha cresce continuamente, podendo ter as seguintes causas: envelhecimento, desgaste e abrasão, degradação de resistência, fadiga, fluência, corrosão, deterioração mecânica, elétrica, química ou hidráulica, manutenção insuficiente ou deficiente, vida de projeto muito curta.

Para Lafraia (2001) deve-se alertar que nem todos os tipos de componentes e sistemas apresentam sempre todas as fases. Programa de computador, por exemplo, é típico de sistema com período de mortalidade infantil apenas, na

medida em que os erros de programação são corrigidos, as falhas vão praticamente desaparecendo. Componentes eletrônicos apresentam normalmente falhas aleatórias, sendo com lançar-se mão do conceito de substituição quando há quebra, já que a manutenção preventiva nesta fase é normalmente de pouca efetividade. Componentes mecânicos, entretanto, apresentam normalmente as três fases e é comum se medir a taxa de falha para se tentar evitar o período de falhas por desgaste.

Pinto e Xavier (1999) comentam que o processo de manutenção centrada na confiabilidade adota o modelo em que seis tipos de curvas de falha são utilizadas para caracterizar a vida dos equipamentos, e não apenas a curva da banheira, que incluía a mortalidade infantil, além da suposição de uma vida por um certo intervalo de tempo além do qual se tornavam desgastados. O conceito de que quanto mais velhos, mais os equipamentos falham não é verdadeiro, acredita-se nisso pela freqüente associação do aumento de número de ciclos de desgaste com o tempo, mas quando se tem parte em contato com o produto, como em bombas, correias transportadoras e refratários, é que esse conceito se torna verdadeiro, sendo este um modo de falha.

Conforme Pinto e Xavier (1999) uma pesquisa de 30 anos realizada pela *United Airlines* mostra que quanto mais complexos os equipamentos encontram-se os tipos de falhas D, E, F, e Lafraia (2001) confirma que estudos feitos em aviões civis mostram que 7% das falhas se encontram no tipo de falha C, 14% na D, e 68% na F, porém, equipamentos de outros ramos industriais não se comportam necessariamente como os da aviação civil, sendo que, à medida que a complexidade dos equipamentos cresce, os modelos E, F tornam-se mais predominantes, conforme apresentado no Quadro 4.

PADRÃO DE FALHA	% IDADE	IDADE/POSSIBILIDADE DE FALHA	VARIAÇÃO SEGUNDO A POSSIBILIDADE DE FALHA
A	4		Curva da banheira (mortalidade infantil)
B	2		Acentuada na zona de desgaste
C	5		Aumento gradual. Não identificado com a idéia do desgaste
D	7		Taxa inicialmente baixa e depois constante
E	14		Falha constante aleatória em qualquer idade
F	68		Inicialmente segundo a mortalidade infantil seguida taxa constante

Quadro 4: Tipos de curvas de falhas
 FONTE: Pinto e Xavier (1999)

Pinto e Xavier (1999) analisam cada padrão de falha indicada no Quadro 4, como segue:

- Padrão A – Há uma elevada ocorrência de falhas no início de operação do equipamento, considerando-se como mortalidade infantil ou falha no início de funcionamento, seguida de uma freqüência de falha constante e um aumento devido à degradação ou desgaste do equipamento.
- Padrão B – Apresenta a probabilidade constante de falha seguida de uma zona de desgaste ao final da vida útil, pode-se também apresentar em vez de probabilidade constante de falhas, um aumento gradual.
- Padrão C – Apresenta um aumento lento e gradual na probabilidade de falha sem que haja uma idade definida ou identificada de desgaste.
- Padrão D – Indica uma baixa probabilidade de falha no equipamento novo seguido de um rápido aumento para um patamar de probabilidade de falha constante.

- Padrão E – Apresenta probabilidade constante de falha para qualquer idade do equipamento, ou seja, o equipamento apresenta falha aleatória.
- Padrão F – Apresenta alta probabilidade no início (mortalidade infantil) que cai para uma situação de probabilidade constante para as demais idades. Pode-se apresentar também um aumento lento e gradual, em vez de probabilidade constante.

As falhas por fadiga ou corrosão são apresentadas nos padrões A, B, C, e as falhas típicas em equipamentos complexos como hidráulicos ou eletrônicos, são apresentados pelos padrões D, E, F (PINTO E XAVIER, 1999).

Lafraia (2001) comenta que quanto mais cedo for à intervenção de manutenção, menor será a probabilidade de falha, a menos que algum modo de falha predominante depende do tempo que esteja presente. Manutenções programadas podem na realidade, aumentar a taxa de falhas, através da introdução de falhas prematuras que não existiriam no sistema, porém, não se quer dizer que a manutenção preventiva deva ser abandonada por completo, sendo que, para falhas sem maiores conseqüências, políticas de manutenção corretiva podem ser as mais efetivas, mas quando as conseqüências são graves, algo deve ser feito para prevenir a falha ou, ao menos reduzir suas conseqüências. Entretanto ao verificar os aspectos das curvas A e B, Pinto e Xavier (1999), concluem que a manutenção preventiva faz sentido para esses padrões, porém, é válido para máquinas mais simples e padrões de falha com idade de desgaste identificável, tendo a classificação das falhas adotadas pela *Association Française de Normalisation* (AFNOR), conforme apresentado no Quadro 5 por Mirshawka e Olmedo (1993).

CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS	
EM FUNÇÃO DE	FALHA
Velocidade ou forma de manifestação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Progressiva; 2. Repentina (evolução quase instantânea das características de uma entidade).
Momento do aparecimento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Durante o funcionamento; 2. Ao Parar (quando a função requisitada não é mais utilizada); 3. Na satisfação.
Grau de importância	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parcial (inaptidão para cumprir as funções requisitadas de forma completa); 2. Completa (perda completa da função).
Velocidade de aparecimento e grau de importância	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por degradação: ao mesmo tempo progressiva e parcial; 2. Catalítica: ao mesmo tempo repentina e completa.
Causas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Por fraqueza inerente à concepção ou fabricação; 2. Má utilização; 3. Má conservação; 4. Envelhecimento ou desgaste; 5. Primária (não provocada por falha de uma outra entidade); 6. Secundária (conseqüência de alguma outra falha).
Origem	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interna à entidade (origem da falha é atribuída a própria entidade-máquina, equipamento, dispositivo e sistema); 2. Externa (contrário do item 1).
Conseqüências	<ol style="list-style-type: none"> 1. Crítica (susceptível de causar danos corporais ou de conduzir a outras conseqüências julgadas inaceitável); 2. Não crítica (contrário do item 1); 3. Maior ou principal (susceptível de influenciar uma função considerada como sendo de importância vital); 4. Menor (sem ferimento pessoal corporal provável, sem imobilização do material, a redução não é desacelerada).
No tocante a sua característica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intermitente (perda repetitiva e momentânea, completa ou parcial de uma função requisitada); 2. Fugitiva ou transitória (perda de curta duração, não repetitiva, completa ou parcial de uma função requisitada); 3. Sistemática (ligada de maneira segura a uma causa que não pode ser eliminada a não ser que seja por uma modificação); 4. Reproduzível (que pode ser provocada à vontade simulada a sua causa); 5. De causa comum (que pode influenciar simultaneamente ou em cascata vários componentes de uma entidade ou toda ela).

Quadro 5: Classificação das falhas
 FONTE: Mirshawka e Olmedo (1993)

Observa-se no Quadro 5 que uma falha depende de uma função e essa função define a classificação da falha, sendo interessante analisar todas, porém, em especial a função do grau da importância e consequências. Do ponto de vista da engenharia para Nepomuceno (1989), as falhas são divididas em duas classes bem distintas:

- a) Falhas permanentes: Permanecem inexistindo os desempenhos adequados por se tratar de componente defeituoso, até que o defeito seja sanado pela substituição do componente;
- b) Falhas intermitentes: São as que mais transtornos causam, dando origem a uma ausência da função executado pelo componente ou dispositivo em tela durante um curto tempo, voltando a função a ser executada logo depois, permanecendo durante longo tempo. Nesses casos, é comum existir dificuldade em detectar qual o componente responsável pelo transtorno.

As falhas permanentes e intermitentes podem ser classificadas segundo a velocidade com que aparecem, podendo ser, conforme Nepomuceno (1989) as seguintes:

- a) Falhas evolutivas: Previsíveis, através de ensaios ou exames periódicos.
- b) Falhas repentinas: Não previsíveis, acontecendo repentinamente, independentemente de informação ou sinal prévio.

Combinando as falhas evolutivas e repentinas, se tem a seguinte classificação de acordo com Nepomuceno (1989).

- a) Falhas catastróficas: Quando se trata de falhas repentinas e completas;
- b) Falhas de degradação: Quando se trata de falhas evolutivas e parciais.

Nepomuceno (1989) ainda comenta que as falhas se apresentam e se desenvolve de maneiras diferentes, como:

- a) Desgaste: Originadas pelo uso normal de componentes que.
- b) Uso inadequado: Utilizar o componente ou dispositivo com um regime de trabalho fora do especificado.
- c) Debilidade inerente: Falha de construção do componente, originando-o a operar sob tensões superiores àquela que o mesmo pode resistir.

Para Mirshawka e Olmedo (1993) é muito conveniente dar alguns detalhes a mais sobre as falhas. Faz parte do espírito da manutenção, principalmente da corretiva, não apenas retirar um equipamento do estado de pane ou reparar um sistema avariado, mas também procurar evitar o reaparecimento do defeito, tornando-se muito importante a análise de falhas, não se esquecendo a identificação da natureza da falha (mecânica, elétrica, eletrônica, hidráulica, pneumática e a situação, ou seja, espaço (localização), tempo (data), número de unidade em uso, supervisão preventiva (sensores, inspeções periódicas, rondas), sendo que o processo de uma falha tem a seguinte evolução:

- Iniciação – Encontra-se comumente um defeito de concepção, de fabricação e/ou uma causa extrínseca (choque, sobrecarga repentina, etc.).
- Propagação – Geralmente acontece por modos de falhas em funcionamento, tais como a fadiga, o desgaste.
- Ruptura – A perda de bom funcionamento ocorre freqüentemente de maneira acelerada logo após a propagação no tempo.

Para Mirshawka e Olmedo (1993) os principais modos de falhas são mecânicos e elétricos como seguem:

- Falhas mecânicas

- a) Choque (geralmente é um acidente de comportamento);
 - b) Sobrecarga (trabalho acima do valor nominal levando uma deformação permanente ou ruptura);
 - c) Fadiga (esforços alternados e repetitivos que levam a ruptura, mesmo quando estão longe do limite de elasticidade);
 - d) Fadiga térmica (dilatações, deformações plásticas, queimaduras ou fusão);
 - e) Desgaste pelo uso (provocado pelo atrito e que, como consequência, implica uma perda de material das superfícies sem contato);
 - f) Abrasão (riscos por um corpo de dureza superior);
 - g) Erosão (devido a efeito de impactos de partículas sólidas ou líquidas em grandes velocidades);
 - h) Corrosão (eletroquímica, química, elétrica, bacteriana);
 - i) Fluência (deformação que se torna permanente com o tempo, sob o efeito conjugado das tensões mecânicas e térmicas).
- Falhas elétricas
 - a) Ruptura de ligação elétrica (consequência, freqüentemente, de uma causa extrínseca, tal como um superaquecimento, uma vibração ou um grande choque mecânico);
 - b) Colagem de contatos (ocorre após a fusão dos contatos);
 - c) Destruição de um componente (após esforços elétricos, ionizações);
 - d) Rompimento de isolamento (diversas causas por efeito corona, por envelhecimento).

Apesar de ser difícil a prevenção destas falhas, torna-se possível agir sobre os fenômenos externos que geram tais falhas, com as ações térmicas, as vibrações e os raios.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, Documento Nacional (2005) dos principais indicadores de desempenho, a frequência de falha se encontra em terceiro grau de importância com 12,17% das empresas que utilizam, sendo que, os setores de Transporte, Petróleo e Alimentos, Açúcar & Alcool, Prestação de serviços de equipamentos, são os que aparecem com maiores índices de utilização. Observando uma tendência de crescimento em relação à pesquisa realizada em 2001 que era de 11,66%.

PINTO & XAVIER (1999) comentam que, nas atividades programadas sob manutenção preditiva está embutido o conceito de que a maioria das falhas fornece algum tipo de aviso, como sendo o de falhas potenciais (P-F), as quais normalmente antecedem uma falha funcional.

- Falha potencial: O conceito de falha potencial para Xenos (1998), leva em consideração o fato de que muitas falhas não acontecem repentinamente, mas se desenvolvem ao longo do tempo, representando o ponto onde o item físico começa a apresentar perda do desempenho da função. Para Lima (2000) a falha potencial pode ser definida como perda parcial da função, estipulada com base em um padrão de desempenho estabelecido e Moubrey (2000) define falha potencial como uma condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência.
- Falha funcional: Moubrey (2000) define falha funcional, como a incapacidade de qualquer item físico cumprir uma função para um padrão de desempenho aceitável pelo usuário.

Como o desenvolvimento da falha pode ocorrer no período que varia desde microssegundos até anos, a frequência de acompanhamento deve ser

compatível, de modo a não haver desperdício de recurso. As atividades de manutenção devem estar baseadas no desenvolvimento do período da falha, conforme apresenta a curva P-F na Figura 12, por Pinto e Xavier (1999).

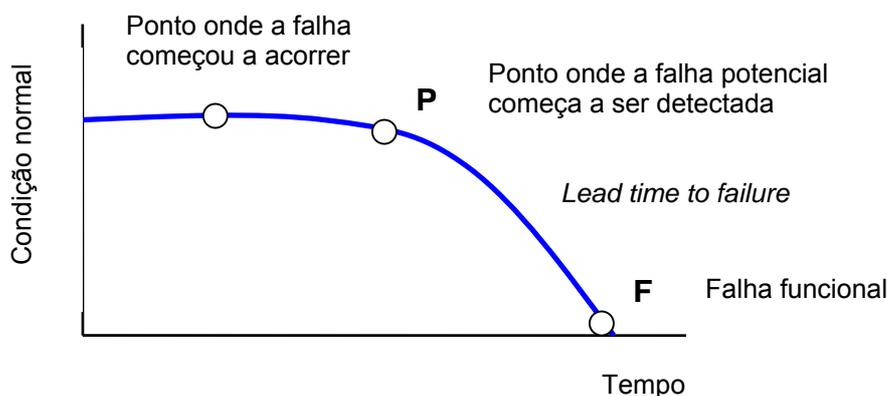


Figura 12: Curva P-F
 FONTE: Pinto & Xavier (1999)

Observa-se na Figura 12 que a partir do ponto “P” onde a falha potencial começa a ser detectada até o ponto “F” falha funcional, existe um intervalo, *Lead time to failure* (tempo para falhar) que pode ser de microssegundos até anos, porém, para que não ocorra parada inesperada do equipamento, a frequência de acompanhamento deve ser menor do que o intervalo P-F, podendo ser detectada a falha potencial antes que atinja o estágio de falha funcional.

2.5. DISPONIBILIDADE

Uma das definições de disponibilidade, segundo Branco Filho (2002), é, “a probabilidade de uma máquina estar produzindo ou disponível para produzir”. Se a disponibilidade média é de 80%, quer dizer que, em média, se pode ter o item ou máquina trabalhando ou disponível para trabalho em apenas 80% do tempo, embora não se possa precisar quanto tempo funcionará continuamente. Nos outros 20% do tempo, o item não estará disponível por diversos fatores que devem ser investigados. Note-se que a parada de equipamento por falta de matéria-prima ou por faltar encomendas não deve ser computada como

indisponibilidade e qualquer atividade de manutenção efetuada dentro do período programado deve ser computada como trabalho programado e se só puder ser executado com a máquina parada deve ser computados apenas o tempo desta investigação de manutenção com a máquina não disponível. Normalmente é calculada por:

$$\text{Disp} = \sum [(H\text{CAL} - H\text{TMN}) / \sum H\text{CAL}] \times 100 \quad [1]$$

$$\text{Ou Disp} = [T\text{MEF} / (T\text{MEF} + T\text{MPR})] \times 100 \quad [2]$$

Onde,

HCAL = Horas calendário (número dias no período x 24 horas)

HTMN = Horas total de manutenção (preventiva, corretiva, etc...)

TMEF = Tempo médio entre falha

TMPR = Tempo médio para reparo

Nepomuceno (1989) comenta que, embora seja possível fazer o cálculo de custo da manutenção avaliando-se o tempo médio entre defeitos sucessivos e o tempo médio consumido para execução do reparo, é possível utilizar um outro método de verificação. A disponibilidade permite executar tal avaliação através de um único número por combinar as duas medições mencionadas numa unidade adimensional que representa grandes vantagens, principalmente no caso de um produto arbitrário que é utilizado em grandes quantidades. A disponibilidade de um produto é calculada por:

$$D = \text{Tempo disponível para utilização} / (\text{tempo disp.} + \text{tempo ocioso}) \times 100 \quad [3]$$

Observa-se que o tempo disponível é aquele durante o qual a máquina, produto ou equipamento está apto a operar sem problemas, estando realmente disponível para cumprir as funções que lhe são destinadas. O tempo ocioso é aquele durante o qual o dispositivo não apresenta condições de funcionamento, por estar sofrendo manutenção ou intenção devido à operação inadequada,

sendo disponibilidade definida como a medida que indica a proporção do tempo total em relação ao tempo em que o equipamento está disponível ao cumprimento das funções para as quais foi destinado, comenta Nepomuceno, (1989).

Para Lafraia (2001) Disponibilidade (D) é a probabilidade de que um componente que sofreu manutenção exerça sua função satisfatoriamente para um dado tempo. Na prática, é expresso pelo percentual de tempo em que o sistema encontra-se operante, para componentes que operam continuamente, e para componentes reserva, é a probabilidade de sucesso na operação do sistema quando demandado. Frequentemente usado quando altos custos estão envolvidos com a perda da função. Ideal para descrever equipamentos em plantas de processo, podendo ser representada matematicamente pela expressão:

$$D = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)} \quad [4]$$

Onde,

TMEF significa tempo médio entre falha e TMPR o tempo médio para reparo. Graficamente a Figura 13 apresenta a relação entre disponibilidade e a situação do componente.

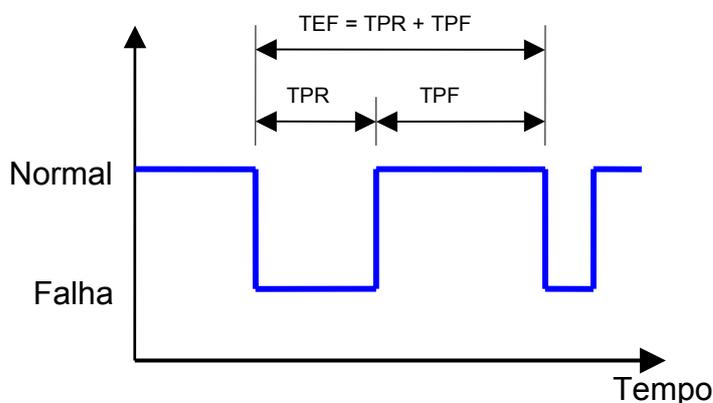


Figura 13: Relação entre a disponibilidade e a situação do componente
FONTE: Lafraia (2001)

Observa-se na Figura 13 que o tempo indisponível é o tempo para reparo (TPR) e o tempo disponível é o tempo para falhar (TPF), sendo o tempo entre falha (TEF).

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, Documento Nacional (2005) dos principais indicadores de desempenho, o tempo médio entre falha (TMEF) se encontra em quarto grau de importância com 11,69% e o tempo médio para reparo em quinto grau de importância com 11,46% das empresas que utilizam, sendo que, os setores de Petróleo e Transporte são os que aparecem com maiores índices de utilização em TMEF e somente o setor de Transporte em TMPR. Observa-se que estes indicadores aparecem a partir da pesquisa realizada em 2003 com tendência de estabilidade em TMEF que era de 11,89% e tendência de crescimento em TMPR que era de 9,56%.

Ao analisar-se a disponibilidade de um sistema, Cascone (1992) comenta que deve-se considerar principalmente sua definição conceituando-se o que se entende por disponibilidade do sistema, o tipo de mortalidade correspondente a sistemas reparáveis e não-reparáveis e as mudanças de estado no sistema, correspondentes ao estado de falha ou estado de bom funcionamento do componente do sistema, podendo um sistema apresentar uma excelente disponibilidade, embora apresente confiabilidade relativamente baixa, devido o uso de redundâncias, na qual a falha de um componente não implica em falha do sistema e uma recolocação em serviço eficiente, e o autor cita algumas definições de disponibilidade, como segue:

“Medida do grau em que um item estará em estado operável e confiável no início da missão, quando a missão for exigida aleatoriamente no tempo” (NORMA BRASILEIRA NBR-5462/81, 1994).

“Dentro de certas condições de uso, aptidão de um dispositivo sofrer manutenção ou restabelecer a condição na qual possa realizar a função requerida, quando a manutenção é feita sob dadas condições, com

procedimentos e meios descritos” (NORMA FRANCESA AFNOR X60-010, 1985).

Para Monchy (1989) disponibilidade é a probabilidade de restabelecer a um sistema suas condições de funcionamento específicas, em limites de tempo desejados, quando a manutenção é conseguida nas condições e com meios prescritos, sendo observado quatro conceitos básicos:

1. A noção de probabilidade de bom ou mau funcionamento;
2. As condições de funcionamento, que implicam em uma quantificação de um nível de performance inicial e de um patamar de admissibilidade;
3. Os limites de tempo, que implicam na definição de um tempo alocado para cada intervenção e de um atraso de tempo;
4. A manutenção definida, na qual a intervenção só tem sentido quando referida a definição dos meios pelas quais ela foi feita, como por exemplo, procedimento, logística, pessoal.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção Documento Nacional (2005) dos principais indicadores de desempenho, a disponibilidade operacional se encontra em segundo grau de importância com 19,81% das empresas que utilizam, sendo que, os setores de Transporte, Petróleo e Energia Elétrica são os que aparecem com maiores índices de utilização entre as empresas pesquisadas a disponibilidade operacional se encontra em 87,90%, observando uma tendência de estabilidade em relação a pesquisa realizada em 2003 que estava em 19,58% de utilização deste indicador e 89,48% a disponibilidade operacional.

2.6. CONFIABILIDADE

A confiabilidade operacional para Lafraia (2001) é um fator de grande importância para a gestão das empresas, tornando-se relevante os seguintes aspectos:

- Segurança – Integridade das pessoas e equipamentos associada à imagem das empresas e sua relação com a sociedade (poder público, sindicatos, etc.);
- Aumento da demanda de mercado exigindo crescente aumento do nível de produção, tornando as perdas de produção extremamente críticas;
- Mercado competitivo exigindo que as empresas entreguem produtos com qualidade e baixos custos;
- Pressão dos acionistas no sentido de exigir melhor remuneração do capital investido;
- Automação – A implantação da automação industrial com todos os resultados benéficos resultando condições mínimas de confiabilidade das instalações físicas para que os sistemas de controle avançado operem adequadamente.

Para Galletto (1987), Cascone (1992) e Manutenção Mundial (2005) confiabilidade, será sempre associada à probabilidade de que um item sobreviva durante um determinado tempo nas condições operacionais projetadas e ambientes especificados. Algumas definições de confiabilidade são citadas por Cascone (1992), como segue:

“Característica de um dispositivo expressa pela probabilidade que este dispositivo tem de cumprir uma função requerida, em condições de utilização e por um período de tempo determinado” (NORMA FRANCESA AFNOR X06-501/77, 1984).

“Capacidade de um item desempenhar uma função especificada, sob condição e intervalo de tempo pré-determinado” (NORMA BRASILEIRA NBR-5462/81, 1994).

“Probabilidade de um item satisfazer uma função requerida, nas condições fixadas, por um período de tempo estabelecido” (NORMA AMERICANA MIL-217B/70, 1974).

“Tendência de um objeto a satisfazer a função requerida, nas condições fixadas, por um período de tempo estabelecido” (NORMA ITALIANA UNI - 5497 – CEI-56-1, 1977).

Branco Filho (2000) define que confiabilidade é a probabilidade de que um item ou uma máquina funcione corretamente em condições esperadas durante um determinado período de tempo ou de ainda estar em condições de trabalho. Após um determinado período de funcionamento, é a capacidade de um item para realizar sua função específica nas condições e com desempenho definido durante um período de tempo determinado. Por exemplo, a máquina pode ser 100% confiável para trabalho em jornadas de até 200 horas ininterruptas, mas ser apenas 80% confiável para jornadas de até 250 horas ininterruptas, isto quer dizer que, estatisticamente, não existem falhas até 200 horas, mas cerca de 20% das máquinas falham entre 200 e 250 horas.

Nepomuceno (1989) comenta que de maneira geral, é possível adotar a definição de confiabilidade entendendo que, “um dispositivo é considerado confiável, seja um automóvel, avião ou qualquer mecanismo, quando permanece cumprindo suas funções durante toda a vida útil estabelecida pelo projeto, independentemente de condições favoráveis ou adversas”. Portanto entende-se por confiabilidade a probabilidade de um produto (peça, equipamento, circuito, máquina, sistema, componente, etc...) fabricado de conformidade com dado projeto, operar durante um período especificado de tempo (eventualmente o tempo de vida útil) sem apresentar falhas identificáveis, desde que sujeito à manutenção de conformidade com as instruções do fabricante e que não tenha sofrido tensões superiores àquelas

estipuladas por limites indicados pelo fornecedor, não tenha sido exposto a condições ambientais adversas de conformidade com os termos de fornecimento ou aquisição.

Pinto e Xavier (1999) definem confiabilidade como a probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condição normais de uso não excedendo os limites especificados.

Componente máquina ou equipamento conforme Pinto e Xavier (1999), é projetado e fabricado para atender a uma especificação, ou seja, qualquer equipamento ao ser projetado, tem por base a função que irá desempenhar. Nesse aspecto, o desempenho dos equipamentos pode ser analisado por dois enfoques:

- Desempenho inerente - É o desempenho que o equipamento é capaz de fornecer.
- Desempenho requerido ou desejado - É o desempenho que se quer obter do equipamento.

Pinto e Xavier (1999) comentam que, este enfoque é importante porque a manutenção consegue apenas recuperar o desempenho inerente do equipamento. Se o desempenho do equipamento não é o desejado, se reduz a expectativa, ou se introduzem modificações. Pelo lado prático, a quantificação da confiabilidade só começa a fazer efeito quando o lado financeiro está incluído. É imprescindível traduzir as medições da confiabilidade (ou da falta de confiabilidade) de itens ou da planta para o contexto dos negócios. Isso pode ser entendido da seguinte maneira: plantas que apresentam alta confiabilidade também apresentam menores custos operacionais de manutenção, produtos fora de especificação, consumo de energia e a redução das falhas em equipamentos. A Figura 14 mostra que manter a confiabilidade alta também implica custos e obviamente, existe um limite acima do qual não vale mais a pena investir.

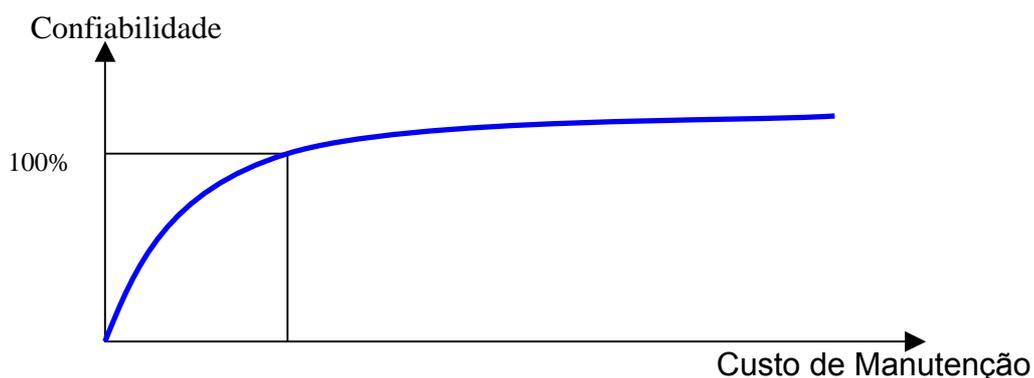


Figura 14: Confabilidade X Custo de Manutenção
 FONTE: Pinto e Xavier (1999)

A Figura 156 mostra que a visão global dos custos indicará o percentual adequado por outro lado, o aumento da confiabilidade significa redução dos custos de produção.

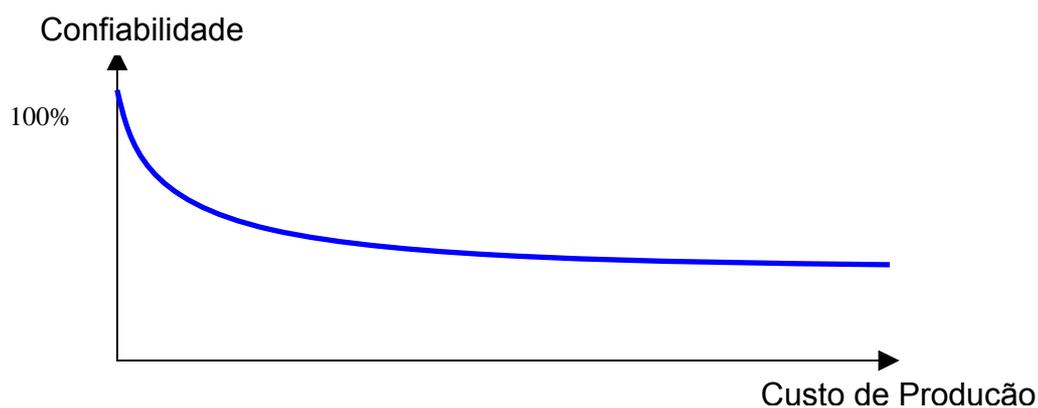


Figura 15: Confabilidade X Custo de Produção
 FONTE: Pinto e Xavier (1999)

Quanto mais atrelados ao aspecto financeiro, mais a definição e a quantificação das falhas, que estarão traduzindo a falta de confiabilidade, motivarão a organização na busca de ações para promover as melhorias necessárias. É preciso que o homem de manutenção, além de otimizar o custo da manutenção, tenha uma visão de quanto representa de ganho ou perda de faturamento e lucro, a maior ou menor confiabilidade.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005), os custos de manutenção representam 4,10% do faturamento bruto das empresas pesquisadas,

observando uma pequena tendência de queda em relação à pesquisa realizada em 2003 que era de 4,27%.

2.7. INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO

Para facilitar a avaliação das atividades de manutenção industrial, permitir tomar decisões e estabelecer metas, devem ser gerados relatórios concisos e específicos formados por tabelas de índices, podendo ser acompanhados com seus respectivos gráficos, projetados de forma que sejam de fácil análise e adequados a cada nível gerencial (TAVARES, 1999).

O caminho que se percorre de uma para outra situação deve ser balizado por indicadores de desempenho, permitindo uma quantificação e acompanhamento dos processos, banindo a subjetividade e proporcionando as correções necessárias (XAVIER, 2002). Na seleção dos indicadores que retratam de forma mais eficaz o desempenho da manutenção, é importante ter o conceito moderno da missão da manutenção, vinculando-o especialmente aos objetivos da organização, que para Costa Neto e Lima (2004), pode-se também, garantir com atitudes e habilidades das pessoas, a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e instalações, usando técnicas modernas de manutenção, atendendo as necessidades do processo produtivo, com segurança, preservação do meio ambiente e custos competitivos.

Deste conceito já pode entender que além de fazer um bom trabalho, o gerente de manutenção deve estar apto a divulgar os resultados de forma que possam ser facilmente compreendidos por qualquer pessoa ligada ou não à área de manutenção, demonstrando que a manutenção é elemento predominante na maximização da utilização de todos os recursos das instalações e de minimização de custos operacionais. Desta forma, para estabelecer os objetivos dos indicadores de desempenho é importante que:

- Sejam claros com os objetivos estratégicos da organização;

- Proporcionem uma leitura clara de como estão os resultados e possam ser comparados com as metas;
- Identifiquem problemas e facilitem as possíveis soluções.

Para Branco Filho (2002), indicadores ou índices de manutenção são a relação entre duas grandezas provenientes de dados de manutenção, sejam sobre qualidade, equipes, atendimento, custo, máquinas, material, eficiência, etc..., para uso e comparação em épocas distintas, entre equipes diversas, ou entre empresas diferentes.

Fatores críticos de sucesso de uma área de manutenção são os indicadores de disponibilidade operacional, confiabilidade das instalações, otimização dos custos, sustentados pela qualidade de vida da manutenção, sendo uma preocupação constante da gestão de manutenção.

Qualidade de Vida

Indicadores de qualidade de vida da manutenção fazem com que os gestores avaliem a saúde da equipe, podendo verificar qual o grau de satisfação e motivação em que os colaboradores se encontram, podendo ser medidos com o moral e a segurança.

a) Moral

O nível do moral pode ser acompanhado por:

- Absenteísmo – Incidências de licença médica, atrasos, saídas antecipadas;
- Horas extras – Realizações de trabalhos após o expediente normal e em dias de folga, prejudicando o descanso e o convívio familiar;
- *Turn-over* – Movimentação de pessoal.

$$\text{Turn-over} = \frac{[\text{total de saídas}/(\text{n}^\circ \text{ func. mês anterior}) + (\text{n}^\circ \text{ func. mês atual})/ 2]}{100} \times [5]$$

b) Segurança

A segurança pode ser acompanhada por:

- Número total de acidentes;
- Número total de acidentes com afastamento e sem afastamento;
- Número dos quase acidente que poderiam provocar acidentes com danos ao ser humano;
- Taxa de frequência de acidentes (TFAC).

$$\text{TFAC} = (\text{NACD}/\text{HHTB}) \times 10^6 \quad [6]$$

Onde,

NACD = Número de acidentes com o pessoal de manutenção;

HHTB = Homens horas trabalhados.

- Taxa de gravidade de acidentes (TGAC)

$$\text{TGAC} = \frac{\sum \text{HHAC}}{\text{HHTB}} \times 10^6 \quad [7]$$

Onde,

HHAC = Homens horas perdidos devido a acidente.

Disponibilidade do Equipamento

Tavares (1996) comenta que disponibilidade do equipamento é um índice de grande importância para a gestão de manutenção. Através dele, pode ser feita uma análise seletiva dos equipamentos prioritários, de forma a colocar sob

observação mais rigorosa aquele (ou aqueles) cujo desempenho estiver aquém dos padrões estabelecidos.

$$\text{DISP} = [\sum (\text{HCAL} - \text{HTMN}) / \sum \text{HCAL}] \times 100 \quad [8]$$

Onde,

HCAL = Horas calendário (número de dias do Freud x 24 horas);

HTMN = Horas total de manutenção (corretiva, preventiva, etc...).

A disponibilidade representa a porcentagem do tempo em que os equipamentos e sistemas encontram-se operante para produção para o período considerado, sendo que não implica necessariamente em estar funcionando, mas que se encontre em condições de funcionar.

Eficiência do Equipamento

Para Branco Filho (2002) eficiência global do equipamento (EFGE) indica o quanto o equipamento produziu, comparado com o que ele poderia produzir, se funcionasse sempre sem parar, com matéria prima sempre disponível, sem falhar e sem produzir peças com defeitos.

$$\text{EFGE} = (\text{DISP} \times \text{EFIC} \times \text{QUAL}) \times 100 \quad [9]$$

Onde,

DISP = Disponibilidade;

EFIC = Eficiência;

QUAL = Qualidade.

$$\text{DISP} = (\text{tempo total de operação} / \text{tempo planejado para operação}) \times 100 \quad [10]$$

$$\text{EFIC} = [\text{tempo produzido} / (\text{tempo total de operação} \times \text{taxa de produção})] \times 100 \quad [11]$$

$$\text{QUAL} = (\text{produção aprovada} / \text{total produzido}) \times 100 \quad [12]$$

Performance ou desempenho do equipamento

Para Tavares (1996) a *performance* (PERF) representa a razão entre o tempo total de operação de cada item controlado e a soma desse tempo com o tempo de manutenção nesse item, para o período considerado.

$$\text{PERF} = [\sum \text{HROP} / \sum (\text{HROP} + \text{HTMN})] \times 100 \quad [13]$$

Onde,

HROP = Horas total de operação;

HTMN = Horas total de manutenção (corretiva, preventiva, etc...).

Capacidade produtiva

A capacidade produtiva deve ser considerada na avaliação do desempenho da manutenção, porém, como referencia auxiliar na sua análise, pois se um equipamento, sistema ou instalação não desenvolve sua plena capacidade, isto tanto pode ocorrer por problemas imputados à qualidade da manutenção praticada, quanto por outras causas (GUSMÃO, 1996).

$$\text{ICP} = (\text{CPR}/\text{CPN}) \times 100 \quad [14]$$

Onde,

ICP = Índice de capacidade produtiva;

CPR = Capacidade produtiva realizada no período;

CPN = Capacidade produzida nominal no período.

Indisponibilidade

Para Branco Filho (2002), indisponibilidade (INDI) é a probabilidade que um equipamento não esteja disponível para produzir (indisponível é o que não pode usar).

$$\text{INDI} = [\sum \text{HTMN} / \sum (\text{HROP} + \text{HTMN})] \times 100 \quad [15]$$

Onde,

HTMN = Hora total de manutenção com o equipamento parado;

HROP = Hora total de operação.

Confiabilidade Operacional

Lafraia (2001) define confiabilidade operacional como sendo a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto sob condições de operação especificadas.

Gusmão (2001) comenta que a confiabilidade operacional é um aspecto diretamente afetado pela eficácia da manutenção, que deve ser capaz de assegurar a máxima disponibilidade para a produção mediante, a menor taxa de intervenções possível no período produtivo. Para minimizar o tempo e o custo destas intervenções, é necessário que elas sejam, antes de tudo e tanto quanto possível, planejadas, podendo ser dividida em dois grupos, atribuindo um índice a cada um deles.

a) Intervenções programáveis/planejáveis

Realizadas sistematicamente, a intervalos fixos de tempo, independente da condição do equipamento (manutenção preventiva) bem como aquelas determinadas pelo monitoramento preditivo, capaz de propiciar entre a detecção do defeito e a ocorrência estimada de falha, o tempo hábil para uma adequada programação/planejamento da intervenção (manutenção preditiva), podendo ser dada pelo índice de manutenção preventiva (IMP).

$$\text{IMP} = [\text{HP} / (\text{HP} + \text{HC} + \text{HO})] \times 100 \quad [16]$$

b) Intervenções não programáveis/não planejáveis

Realizadas em resposta à falhas consumadas ou iminentes do equipamento, e, portanto, sempre em regime de urgência, não proporcionando tempo hábil

para a adequada programação/planejamento da intervenção (manutenção corretiva), podendo ser dada pelo índice de manutenção corretiva (IMC).

$$\text{IMC} = [\text{HC}/(\text{HC} + \text{HP} + \text{HO})] \times 100 \quad [17]$$

Como recurso complementar para melhor caracterizar o desempenho da manutenção no aspecto “confiabilidade operacional”, recomenda-se utilizar o índice de confiabilidade operacional (ICO).

$$\text{ICO} = [\text{HO}/(\text{HO} + \text{HP} + \text{HC})] \times 100 \quad [18]$$

Onde,

HO = Horas de operação produtiva no período sob avaliação;

HC = Horas de parada para intervenção de manutenção corretiva;

HP = Horas de parada para intervenção de manutenção preventiva/preditiva.

É conveniente ressaltar que o denominador das fórmulas anteriormente indicadas evita a simples utilização das horas calendário corridas no período sob avaliação, considerando apenas as somas das horas efetivas de operação produtiva e de paradas para manutenção no período. Este critério possibilita uma avaliação mais fiel no desempenho da manutenção de plantas que não tenham sido solicitadas em tempo integral no período sob avaliação, bem como possibilita a comparação do desempenho entre plantas que não tenham sido solicitadas em regime idêntico de produção (GUSMÃO, 2001).

Planejamento da Manutenção

Xavier (2002) comenta que planejamento e controle da manutenção (PCM) é o centro de recepção, organização e distribuição dos serviços. A otimização na aplicação dos recursos esta intrinsecamente ligada à área. Atualmente sua realização se dá através de sistemas informatizados, como por exemplo, CMMS – *Computerized Maintenance Management System*. Os softwares são adequados a cada condição independentemente do tamanho ou da complexidade da

empresa. Dos indicadores que podem ser adotados no PCM, serão apresentados alguns que contribuem para avaliação do desempenho da manutenção.

a) *Backlog*

“É o tempo que uma equipe de manutenção deve trabalhar para concluir todos os serviços pendentes com toda sua força de trabalho, se não forem adicionados novas pendências durante a execução dos serviços até então registrados e pendentes em posse da equipe de PCM” (BRANCO FILHO, 2000). Xavier (2002) comenta que a literatura internacional considera que o *backlog* não deve ser superior a 15 dias. Se um *backlog* for dado em meses, a capacidade instalada em questão da equipe será a mensal, se for em dias, à divisão será pelo HH instalado da equipe.

$$\text{Backlog} = \sum \text{Hh em serviço} / \sum \text{Hh instalado} \quad [19]$$

Onde,

Hh = Homens hora.

Tavares (1999) comenta que a decisão do valor do *backlog* não é fundamental para as decisões gerenciais, uma vez que a análise tem como objetivo mais importante à determinação de tendências de variação.

b) Retrabalho de manutenção

O retrabalho de manutenção (RTMN), nada mais é que serviços repetitivos ocasionados por problemas ligados às falhas de mão de obra, material, problemas de operação, problemas de projeto, nada mais, nada menos que uma frustração para a manutenção, gerando excesso de demanda de serviços ligados à má qualidade de projeto e de mão de obra de operação, e para Xavier (2002) a maior causa do retrabalho está relacionada a problemas de mão de obra, o que mostra a necessidade de investimento no treinamento e capacitação. O indicador de retrabalho deve ser tomado em relação ao total de serviços executados.

$$\text{RTMN} = (\text{total de serviços repetidos} / \text{total de serviços realizados}) \times 100 \quad [20]$$

$$\text{RTMN} = (\text{Hh gastos em retrabalho} / \text{Hh total de manutenção}) \times 100 \quad [21]$$

c) Acerto da programação

Para Xavier (2002) outro aspecto importante ligado ao planejamento e coordenação dos serviços é a relação de serviços planejados com serviços executados. Além de medir como está andando o planejamento, indica mesmo que indiretamente, confiabilidade da instalação. O objetivo é que o cumprimento da programação (CPRO) seja de 100%. Nos países do primeiro mundo considera-se que esse número deva estar acima de 75%.

$$\text{CPRO} = (\text{Hh serviços planejados} / \text{Hh serviços executados}) \times 100 \quad [22]$$

Na manutenção são muitas as situações imprevistas que contribuem para os desvios de acerto da programação (APRO), que apontam os desvios entre os tempos programados e os tempos de execução. É importante que os desvios mais acentuados sejam justificados de modo que os parâmetros sejam mantidos ou corrigidos nas programações futuras.

$$\text{APRO} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de OT com desvio no tempo programado acima de } 20\%}{\text{n}^\circ \text{ total de OT}} \times 100 \quad [23]$$

Onde,

OT = Ordens de trabalho.

d) Treinamento e capacitação de pessoal

Treinamento e capacitação de pessoal são duas grandes preocupações das empresas que querem manter nível de competitividade e ser *best-in-class*. Empregados próprios ou contratados devem ter habilidades para realizar atividades de manutenção com conhecimento dos equipamentos e dos processos, serem capazes de dar diagnósticos através das técnicas preditivas, terem habilidades para analisar falhas, catalogá-las e participar de grupos que irão, através das ferramentas disponíveis, bloquear as causas básicas. Xavier

(2002) comenta que enquanto o investimento médio em treinamento no Brasil, é da ordem de US\$ 200,00, nos Estados Unidos é de US\$ 1.200,00 a US\$ 1.600,00/empregado/ano, sendo possível medir o investimento com os seguintes indicadores:

INVT = US\$ aplicado em treinamento/número total de empregados [24]

INHT = total de horas de treinamento/total de Hh disponível (número total empregado) [25]

Onde,

INVT = Investimento em treinamento por empregado (em US\$);

INHT = Investimento em treinamento por empregado (em horas).

e) Produtividade

O indicador de produtividade pode ser medido individualmente, porém provoca algumas reações que ao invés de promoverem motivação, acabam criando um estado de espírito em que o executante fica querendo enganar o planejamento para não prejudicá-lo. A medição da produtividade deve estar em primeiro lugar, ligada á necessidade de melhoria nos métodos de trabalho visando facilitar a vida do executante e em consequência reduzindo a demanda de serviço de manutenção, para aumentar a disponibilidade do equipamento (XAVIER, 2002).

Produtividade = $\frac{\text{Horas efetivamente trabalhadas}}{\text{Jornada de trabalho}} \times 100$ [26]

Este indicador pode ser aplicado a um individuo, a uma equipe, a um setor/departamento ou a manutenção.

f) Efetivo da Manutenção

Efetivo real ou efetivo médio diário (EFMD) pode indicar a necessidade de um estudo do plano de férias (parcela que mais influi no cálculo do numerador), ou a incidência de outros eventos como acidentes, faltas não abonadas, etc..., que requer a atenção do supervisor, no período (TAVARES, 1996).

$$EFMD = [\sum (HHEF - HHAF) / \sum HHEF] \times 100 \quad [27]$$

Onde,

HHEF = Homens hora efetivos;

HHAF = Homens hora afastados.

Gestão de Mão de obra

Para Branco Filho (2002) mão de obra normalmente refere-se ao trabalho manual dos empregados. Pode ser também, por extensão, a totalidade dos recursos humanos da empresa. “Não tenho mão de obra disponível”, referindo-se a não ter recursos humanos para fazer determinada tarefa. “Mão de obra não qualificada para a tarefa”, normalmente usada para indicar que os empregados não possuem treinamento para realizar a tarefa.

Todos os mecanismos de controle de mão de obra para Tavares (1999) devem ser orientados no sentido de se obter o maior aproveitamento dos recursos humanos disponíveis como um todo, bem como proporcionar ao pessoal maior segurança e satisfação no desempenho de suas atribuições. A seguir o autor apresenta os índices de manutenção que se refere a mão de obra.

a) Trabalho em manutenção programada

Relação entre os homens hora gastos em manutenção programada e os homens hora disponíveis, no período considerado, entendendo-se por “homem hora disponível” aqueles presentes na instalação e fisicamente possibilitados de desempenhar os trabalhos requeridos (TAVARES, 1999).

$$TBMP = (\sum HHMP / \sum HHDP) \times 100 \quad [28]$$

Onde,

TBMP = Trabalho em manutenção preventiva ou preditiva;

HHMP = Homens hora em manutenção preventiva ou preditiva;

HHDP = Homens hora disponíveis.

b) Atividades de Manutenção Preditiva

Este indicador representa a porcentagem de atividades de manutenção preditiva com as outras categorias de trabalhos de manutenção (PDM – *Predictive maintenance*), sendo a relação do total de horas de manutenção preditiva comparado com o tempo de todas as outras horas de trabalho de manutenção (WIREMAN, 1998).

$$\text{PDM} = (\text{horas de atividades de manutenção preditiva} / \text{total horas de manutenção}) \times 100 \quad [29]$$

Com esse indicador, é possível avaliar a condição em que se encontra a manutenção preditiva. Obviamente este resultado estará sendo positivo quando o resultado de manutenção corretiva estiver baixo.

c) Diminuição de frequência de quebras

Este indicador examina o tempo médio entre falhas (MTBF - *Mean time between failures*) para selecionar itens de equipamentos críticos. O programa de PDM é determinado para ter poucas quebras de equipamentos.

$$\text{MTBF} = \text{número de quebras de equipamentos} / \text{total de horas do equipamento no período} \quad [30]$$

O resultado pode ser visto para mostrar o nível de melhoramento. Se o programa de manutenção preditiva está trabalhando, o MTBF aumentará e se não aumentar, precisa ser ajustado. É benéfico usar este indicador para manter o programa de manutenção preditiva efetivo.

d) Trabalho em manutenção corretiva

Relação entre os homens hora gastos em manutenção corretiva (reparos de falha) e os homens hora disponíveis, no período considerado. Este índice é que se deve trabalhar para que seja cada vez menor e para isto, espera-se que as empresas busquem o caminho para excelência em manutenção através dos conceitos modernos, por exemplo, manutenção preditiva, não admitindo que um equipamento quebre de forma inesperada.

$$TBMC = (\sum HHMC / \sum HHDP) \times 100 \quad [31]$$

Onde,

TBMC = Trabalho em manutenção corretiva;

HHMC = homens hora em manutenção corretiva;

HHDP = Homens hora disponíveis.

e) Outras atividades do pessoal de manutenção

Relação entre os homens hora gastos em atividades não ligadas a manutenção, no período considerado dos equipamentos da unidade de produção, chamados de “serviços de apoio”, e homens hora disponíveis.

$$OAPM = (\sum HHSA / \sum HHDP) \times 100 \quad [32]$$

Onde,

OAPM = Outras atividades do pessoal de manutenção;

HHSA = Homens hora de serviços de apoio;

HHDP = Homens hora disponíveis.

f) Horas não apuradas do pessoal de manutenção

Relação entre a diferença dos homens hora disponíveis menos os homens hora trabalhados sobre os homens hora disponíveis, no período considerado, indicando, portanto, quanto do tempo do pessoal não foi ocupado em nenhuma atividade. Quando este índice for negativo, representa excesso de serviço do pessoal de manutenção e quando positivo pode ser interpretado como ociosidade do pessoal de manutenção, devido a falta de registro do tempo trabalhado pelo pessoal nos mecanismos utilizados para esse fim, cartão de tempo ou a própria ordem de serviço.

$$ONAM = \frac{\sum [HHDP - (HHMP+HHMC+HHSA)]}{\sum HHDP} \quad [33]$$

Onde,

ONAM = Horas não apuradas do pessoal de manutenção

Na gestão de mão de obra, é importante saber como está a produtividade da equipe para que possa medir se está com excesso de demanda de serviços por falta de gente ou por tempo improdutivo do pessoal de manutenção por ociosidade. Ausência ou espera de serviço não devem ser confundidas com tempo improdutivo (TAVARES,1999).

Tavares (1999) comenta que segundo uma pesquisa realizada em 35 indústrias químicas nos Estados Unidos, por processo de amostragem por um dia de trabalho (8 horas – 480 minutos), apresentaram um índice de improdutividade (tempo improdutivo) do pessoal de manutenção de 67,29% dos quais 9,17% era ociosidade, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição dos itens pesquisados

IMPRODUTIVIDADE DO PESSOAL DE MANUTENÇÃO		
DISTRIBUIÇÃO	TEMPO (min)	%
Tempo perdido por exigências legais de contrato de trabalho e rotinas normais	78	16,25
Excessos praticados no item anterior	35	7,29
Atrasos e saídas antecipadas	21	4,37
Tempo ocioso	44	9,17
Esperas	22	4,58
Caminhando ou transportando materiais e ferramentas	77	6,04
Recolhendo materiais e ferramentas	25	5,21
Recebendo instruções	21	4,38
TOTAL DE TEMPO IMPRODUTIVO	323	67,29

FONTES: Tavares (1999)

Gestão de Custos

Gusmão (1996) comenta que custo de manutenção é um aspecto que não pode ser analisado isoladamente, mas que junto com a disponibilidade operacional certamente refletirá em médio prazo, a eficácia da sistemática de manutenção praticada e para Viana (2002) a composição dos custos de manutenção era formada de gastos com pessoal, material e contratação de serviços externos, mas com advento do conceito de manutenção classe mundial, foi incluída, a depreciação e a perda e a perda de faturamento, sendo que no Brasil não se tem acrescentado na composição do custo de manutenção.

Nas cinco parcelas (pessoal, material, contratação, depreciação, perda de faturamento) que compõem os custos, devem ser computados os gastos diretos, indiretos e administrativos, que podem observado detalhadamente em Tavares (1996).

Existe uma variedade grande de índices envolvendo o custo da manutenção, sendo cada qual com sua importância. A seguir serão apresentados alguns índices capazes de dar uma significativa posição em relação aos índices Nacionais pesquisados pela Associação Brasileira de Manutenção, ABRAMAN.

- a) Custo de mão de obra (CMOB)

$$\text{CMOB} = (\text{custo da mão de obra} / \text{custo total manutenção}) \times 100 \quad [34]$$

b) Custo de Materiais (CMAT)

$$\text{CMAT} = (\text{custo total de matérias de manutenção} / \text{custo total manutenção}) \times 100 \quad [35]$$

c) Custo de serviços contratados (CSCO)

$$\text{CSCO} = (\text{custo total de serviços contratados} / \text{custo total manutenção}) \times 100 \quad [36]$$

d) Custo de manutenção por faturamento bruto (CMFT)

$$\text{CMFT} = (\text{CTMN} / \text{FTBR}) \times 100 \quad [37]$$

Onde,

CTMN = Custo total manutenção;

FTBR = Faturamento bruto da empresa.

É muito importante nestes indicadores ter atenção quanto ao faturamento. Se existir uma melhoria significativa de faturamento e os gastos com manutenção permanecerem constantes, significa um aumento de produção, significando aumento de disponibilidade de equipamentos, conseqüentemente a redução do índice de manutenção por faturamento bruto.

e) Custo de manutenção em relação á produção (CMRP)

$$\text{CMRP} = (\text{CTMN} / \text{PRTP}) \times 100 \quad [38]$$

Onde,

PRTP = Produção total no período (m³, ton, kw, km rodado, etc...).

f) Custo de sobressalente (peças de reposição) em estoque (CSOT)

Uma das despesas significativas do custo de manutenção é o custo de sobressalentes em estoque, devido à adoção de um programa de preventiva

muito amplo, cuja implantação não foi avaliada por um estudo criterioso, elevando os gastos em sobressalente.

$$\text{CSOT} = (\text{valor de sobressalente em estoque} / \text{custo total da manutenção}) \times 100 \quad [39]$$

Para Xavier (2002) dentre as melhores práticas adotadas pelas empresas que são “*Best-in-class*”, está uma política de sobressalentes em estoque bem diferente da que se encontra no Brasil. Algumas dessas políticas são:

- Rotação do estoque maior que uma vez/ano (no valor do inventário);
- Materiais e sobressalentes em consignação no estoque;
- Parcerias estratégicas com fornecedores;
- Redução de sobressalentes com baixa movimentação;
- Eliminação de materiais sem consumo;
- Não manter em estoque itens que possam ser adquiridos imediatamente no mercado;
- Estoque 100% confiável.

Indicadores de Desempenho de Classe Mundial

A mudança de enfoque de manutenção se faz necessária para quando se quer atingir Manutenção de Classe Mundial. A atividade de manutenção precisa deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz. Não basta reparar o equipamento ou instalação o mais rápido possível, é preciso mantê-lo disponível para operação, evitando as falhas e reduzindo o risco de uma parada de produção não planejada, mostrando toda a preocupação com a empresa. Indicadores de manutenção que medem sua eficiência não são suficientes para uma empresa moderna. A disponibilidade, a confiabilidade, o custo e a qualidade do atendimento junto á produção precisam ser medidos,

atuando para atender as necessidades da fabrica e garantindo que atende o mercado de maneira competitiva.

Viana (2002) comenta a existência de seis indicadores chamados de “Índices de Classe Mundial”. Tal denominação é devida o fato de ser utilizado universalmente.

a) *MTBF - Mean Time Between Failures no Brasil conhecido como TMEF = Tempo Médio Entre Falhas, definido como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para operação (HD), pelo número de intervenções corretivas neste equipamento no período (NC).*

$$MTBF = HD/NC \quad [40]$$

Esse índice deve ser usado para equipamentos que são reparados após a ocorrência de uma falha. Se valor do MTBF for aumentando, será um sinal positivo para manutenção, indica a diminuição da manutenção corretiva, conseqüentemente aumentando a disponibilidade dos equipamentos para operação.

b) *MTTR - Mean Time to Repair ou TMR = Tempo Médio de Reparo é dado como sendo a divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção (HIM) pelo número de intervenções corretivas no período (NC)*

$$MTTR = HIM/NC \quad [41]$$

Quanto menor o MTTR, melhor o andamento da manutenção.

c) O tempo médio para falha (TPMF) é a relação entre o total de horas disponíveis do equipamento para a operação (HD) dividido pelo número de falhas detectadas em componentes não reparáveis.

$$TPMF = HD/ \text{Número de Falhas} \quad [42]$$

O TMPF e o MTBF são distintos devido ao fato de este levar em consideração falha em componentes reparável, e aquele nos não reparáveis.

d) Disponibilidade física (DF) representa o percentual de dedicação para operação de um equipamento, ou de uma planta, em relação às horas totais do período, podendo ser definida como sendo a relação entre o total de horas acumuladas de operação e o total de horas transcorrido.

$$DF = HO / (HO + HM) \times 100 \quad [43]$$

Onde,

HO = Tempo Total de operação;

HM = Tempo de paralisações (preventivas e corretivas).

Este índice conforme Viana (2002), é de fundamental importância para a manutenção, pois, o principal produto é DF, ou seja, disponibilizar o maior número de horas possíveis do equipamento para operação.

f) Custo de Manutenção por Faturamento (CMFT)

Relação entre o custo total de manutenção (CTMN) e o faturamento bruto da empresa no período (FTBR).

$$CMFT = (CTMN / FTBR) \times 100 \quad [44]$$

g) Custo de Manutenção por Valor de Reposição (CPMV)

Relação entre o custo total acumulado na manutenção de um determinado equipamento e o valor de compra desse equipamento novo (valor de reposição).

$$CPMV = (\text{Custo total de manutenção} / \text{Valor de compra do equipamento}) \times 100 \quad [45]$$

Um valor aceitável deste indicador seria CMVR < 6%, no período de um ano, dependendo do retorno financeiro dado pelo equipamento analisado, que pode vir a justificar um custo de manutenção considerado inaceitável (VIANA, 2002).

3. MONITORAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

A importância do monitoramento das máquinas e equipamentos é conhecer a condição operacional, podendo ter aumento de confiabilidade, disponibilidade, conseqüentemente alta produtividade, proporcionando lucratividade para a empresa.

Para Davies (1998) monitoramento de condição é uma técnica de administração que usa a avaliação regular da atual condição operacional do equipamento, para otimizar a operação total da planta e Souza (2002) comenta que, entende-se por monitoramento de máquinas todo e qualquer processo, onde se possam acompanhar parâmetros indicadores das reais condições da máquina, tais como:

- Monitoramento de vibração
- Monitoramento de espessura
- Monitoramento de temperatura
- Monitoramento das grandezas elétricas
- Monitoramento por análise de óleo

Davies (1998) ainda comenta que, estas técnicas citadas, usadas juntas, ou seja, monitoramento de vibração com ensaios não destrutivos (monitoramento de espessura, temperatura) podem proporcionar aos gestores de manutenção, informações efetivas que os permitirá alcançar disponibilidade e confiabilidade de máquinas e equipamentos da planta.

Souza (2002) comenta que o monitoramento dos equipamentos pode ser realizado de três maneiras:

- Monitoramento periódico portátil *off-line* – Executado com coletores/analísadores portáteis de sinais dinâmicos que podem ser de

vibração, temperatura, etc... Neste caso é realizado um cadastramento prévio dos dados em *software* específico, criadas as rotas de acompanhamentos (semanais, mensais, trimestrais, etc...), conforme o grau de importância da máquina no processo produtivo. As rotas são carregadas no coletor, coleta-se os dados nas máquinas e posteriormente descarrega-se os dados medidos no *software* de gerenciamento onde estão armazenados todos os gráficos disponíveis para análise das máquinas. Este monitoramento é o mais usual por ter relação custo/benefício muito satisfatório.

- Monitoramento periódico *on-line* – São instalados sensores nas máquinas, cabos e um sistema de gerenciamento. Neste caso o sistema varre periodicamente e de maneira automática cada ponto de medição instalado e vai armazenando parâmetros, traçando curvas de tendências, gerenciando automaticamente o sistema, alertando o usuário sobre a condição de cada ponto.
- Monitoramento *on-line* contínuo – São instalados sensores nas máquinas, cabos e um sistema de gerenciamento com acompanhamento em tempo integral de cada ponto de medição. Importante neste monitoramento é ter sensores de alarmes sonoros e de segurança para proteger a máquina, quando ocorrer um defeito.

PINTO (1995) comenta que a função principal da manutenção é diminuir a necessidade de fazer manutenção. A manutenção deve trabalhar para diminuir a demanda de fazer manutenção. Com isto deve-se ter maior conhecimento dos equipamentos e instalações, introduzindo melhorias para facilitar as inspeções, diminuindo quebras e conseqüentemente as perdas, através das técnicas de manutenção preditiva.

O monitoramento tem a função de auxiliar na identificação de anomalias de funcionamento, que indiquem a possibilidade de desvios na operação (WIREMAN, 1998).

Para Pinto e Xavier (1999) a avaliação do estado do equipamento na manutenção preditiva se dá através da medição, acompanhamento ou monitoramento subjetivo, objetivo e contínuo.

3.1. MONITORAMENTO SUBJETIVO POR MEIO DOS SENTIDOS HUMANOS

Para Sexto (2002), uma tendência que se torna censurável no âmbito da indústria Cubana, é a omissão de um sinal, que por simples inspeção pode informar sobre o estado de uma máquina. É um equívoco considerar que o diagnóstico de um equipamento começa com instrumento e análises complexas. Da mesma forma, seria errôneo pensar que as inspeções apenas com os sentidos humanos podem avaliar infalivelmente a condição mecânica de máquina/equipamento. Nada muda a necessidade de promover o uso dos instrumentos de diagnóstico, porém, a maioria destes equipamentos são caros e necessitam de pessoal treinado e capacitado para interpretar o que registram e Pinto e Xavier (1999) comentam que, com simples inspeção com os sentidos humanos é possível apreciar irregularidades em um equipamento, evitando parada não programada. Não se pode subestimar a inspeção subjetiva, porém, esta não pode substituir a objetiva completamente.

Para Viana (2002) a primeira categoria de planos de manutenção é a mais básica, mas não menos importante: as inspeções rotineiras dos equipamentos. Através desta atividade simples, pode-se detectar, pelos sentidos humanos do manutentor, falhas em equipamentos de fácil resolução no estágio da gravidade em que se encontra. Praticamente, consiste na observação de certas características dos equipamentos, tais como: ruído, temperatura, condições de conservação, vibração e Pinto e Xavier (1999) comentam que, essas variáveis já são acompanhadas há muitos anos, pelo pessoal da manutenção, independente da existência de instrumentos. Esses acompanhamentos fazem parte do monitoramento da condição dos equipamentos com os sentidos: visão, audição, tato e olfato, e serão tão mais confiáveis quanto mais experientes sejam os profissionais de manutenção. Mesmo que a experiência propicie uma

identificação razoável neste tipo de verificação, ela não deve ser adotada como base para decisão por ser extremamente subjetiva; cada pessoa terá uma opinião. Apesar disso, o uso dos sentidos pelo pessoal de manutenção deve ser incentivado, mas com cautela, certificando-se das condições de segurança antes de usar seus sentidos.

Para Viana (2002) o monitoramento rotineiro deve acompanhar aspectos do funcionamento dos equipamentos, com uma periodicidade padronizada, podendo detectar mudança de pequena proporção. Para uma melhor eficiência deste acompanhamento, necessita-se de uma ferramenta muito simples, que é a rota de monitoramento, que consiste em um mapeamento dos equipamentos de uma seção, dividindo-os respeitando a sua natureza, elétrica ou mecânica, e distribuindo-os de forma a garantir o monitoramento pela área. O tratamento das informações levantadas pelo monitoramento rotineiro deverá seguir uma sistemática da seguinte forma: O planejamento de acordo com a rota, emitirá OM (ordem de manutenção) para o monitoramento subjetivo e se gerará serviço onde seu fluxo será bastante simples. O mantenedor efetuará sua rota de monitoramento, analisando uma série de equipamentos, quando ocorrer à identificação de uma falha, o mantenedor informa em sua OM para que o planejamento registre esta ocorrência e gere uma outra OM para realizar a correção desta falha detectada, habilitando a carteira de serviço, programando a execução de acordo com as prerrogativas do planejamento da manutenção.

A periodicidade para a rota de monitoramento pelos sentidos humanos, pode ser definida na engenharia de manutenção, e observando a criticidade do equipamento, podendo ser mensal, bimestral ou trimestral e este monitoramento deve ocorrer dentro do mês que foi programado.

O monitoramento subjetivo pelos sentidos humanos, ocorrerá tão somente pela inspeção visual na maioria das vezes e sempre com o equipamento em operação. Quando necessitar de tocar no equipamento para uma verificação mais apurada, deve-se lembrar do fator segurança e, solicitar na OM uma parada do equipamento para melhor inspecioná-lo.

Por meio da inspeção visual é possível definir conforme Pinto e Xavier (1999), condições de equipamentos, componentes e estruturas, podendo até ser utilizado de alguns instrumentos, para uma inspeção superficial, como por exemplo:

- Lupa manual;
- Lentes;
- Microscópios;
- Periscópios.

Pinto e Xavier (1999) ainda comentam que, para inspeção nos internos sem a desmontagem do equipamento e permitir a visualização em local de difícil acesso, pode ser utilizado diversos instrumentos, como por exemplo:

- Espelhos manuais;
- Endoscópios;
- Fibras ópticas.

Além da inspeção visual, outras técnicas de monitoramento subjetivo como audição, tato, olfato, podem trazer benefícios por meio da experiência do manutentor, diagnosticando que um determinado equipamento foi notado um alto ruído, temperatura elevada ou cheiro de queimado, sendo que, a partir deste diagnóstico e sempre anotando as informações encontradas na OM de sua rota de monitoramento, poderá ser feita uma melhor avaliação para uma tomada de decisão, buscando a disponibilidade do equipamento, evitando uma parada inesperada.

3.2. MONITORAMENTO OBJETIVO EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS

Para Pinto e Xavier (1999) varias técnicas estão disponíveis para acompanhar o estado do equipamento, possibilitando identificar o problema, com grande margem de segurança, sendo apresentado pelos autores no Quadro 6 que por meio das variáveis relacionadas diretamente com equipamento, como qualidade do óleo, vibração e temperatura, é possível monitorar e acompanhar a condição operacional.

EQUIPAMENTOS ROTATIVOS				
CONDIÇÃO	VARIÁVEL	ANÁLISE	INSTRUMENTO	SENSOR
Lubrificação	Qualidade do óleo	Ferrografia Viscosidade	Ferrógrafo de leitura direta Viscosímetro	
Forças	Vibração Deformação Tensão Ruído	Análise de Vibração Verificação de ruído Alinhamento Balanceamento	Medidor e coletor e analisador de vibração Analisador de tempo real Alinhador Mec/Laser Balanceadora	Probe sem contato Acelerômetro piezelétrico Óticos a laser
Calor	Temperatura	Temperatura de mancais e carcaça	Termômetro de contato ou infravermelho	Termopar Detector de resist temp.

Quadro 6: Técnicas separadas por condição de equipamentos rotativos
 FONTE: Adaptação feita a partir de Pinto e Xavier (1999)

Observa-se no Quadro 6 que o monitoramento objetivo é feito com base em medições utilizando-se de instrumentos apropriados para cada variável.

Os sistemas de monitoramento apresentaram um desenvolvimento apreciável nos anos 80 e na década de 90 tornaram-se sistema integrado, com funções de vigilância, monitoramento preditivo e monitoramento de desempenho e se destinam a proteger pessoal e equipamentos através do reconhecimento e imediata resposta às variações que possam levar a uma situação indesejada, via alarme e *trip* (parada do equipamento). Os sistemas oferecem a opção de utilização de monitoramento permanente (contínuo on-line, intermitente) e *off-line* (intermitente). Evidentemente, que o uso do monitoramento *off-line* feito via coletor de dados contempla o acompanhamento preditivo de um grande

número de máquinas de menor criticidade da planta, integrando ao sistema maior e processado da mesma maneira que os dados do monitoramento *on-line* (PINTO E XAVIER, 1999).

No sistema de monitoramento *on-line*, os parâmetros são obtidos de forma contínua, sem interrupção, pois o sistema estará permanentemente conectado à máquina. Este método é indicado para máquinas críticas, ou que não possam ser desligadas sem necessidade. Estes sistemas devem ser capazes de monitorar as máquinas de uma maneira autônoma, sem a necessidade da presença constante de um especialista em manutenção, inclusive para desligar a máquina se a falha detectada puder causar um dano maior, e emitir um alarme (sonoro e/ou visual) com antecedência, alertando sobre a falha (SOUZA, 2002).

3.2.1. MONITORAMENTO OBJETIVO POR MEIO DA LUBRIFICAÇÃO

Os equipamentos rotativos, tais como bombas centrífugas, motores elétricos, geradores, compressores, ventiladores, redutores e multiplicadores, turbinas a vapor e a gás, podem ser monitorados por condição da lubrificação, forças e calor; estes serão tratados adiante.

Trujillo (2002) comenta que é de conhecimento dos profissionais de manutenção que a lubrificação é uma das atividades mais importantes de conservação da máquina. A lubrificação está presente em absolutamente todos os programas de manutenção preventiva de qualquer indústria. Estudos desenvolvidos em diferentes partes do mundo e avaliados pela Associação de tribologia e engenheiros em lubrificação, estabelecem, que mais de 50% dos desgastes de rolamentos são causados por lubrificação deficiente, 80% são desgastes causados por contaminação de lubrificantes, e 30% dos lubrificantes são trocados quando poderiam continuar trabalhando. A importância de uma adequada lubrificação requer habilidades, iniciativas e responsabilidade de todos os envolvidos nas atividades de manutenção, sendo aplicável em todas as áreas de uma empresa.

Know Transfer (2002) apresenta uma visão histórica da análise de óleos lubrificantes, que desde a implantação da monitoração de condições relacionada com os óleos lubrificantes, imediatamente após a segunda guerra mundial, se desenvolveu através de quatro diferentes gerações. Cada uma destas gerações apresentou um papel significativo na combinação de fornecer uma visão científica da operação dos equipamentos lubrificados.

- Primeira geração (1950-1970)

Análise espectrométrica elementar: Imediatamente após a segunda guerra o exército americano começou a experimentar métodos analíticos tradicionais para análise elementar do óleo de motores diesel. Foi observado que existia certas tendências relacionando tanto o desgaste dos componentes mecânicos junto com informação sobre a depleção dos aditivos presentes no óleo. Isto resultou no amplamente utilizado e familiar campo da análise espectrometria, conhecida como SOAP (*Spectrometric Oil Analysis Procedure*).

- Segunda geração (1970-1980)

Incorporação de técnicas analíticas como: ferrografia, contagem de partículas, espectrometria molecular (FTIR), viscosimetria. Nesta década ocorreram significativos desenvolvimentos na instrumentação e das técnicas analíticas para a análise dos óleos usados.

- Terceira geração (1980-1990)

Combinação de testes que monitora apropriadamente a manifestação de falhas de sistemas específicos: Assim como os conceitos da manutenção preditiva e proativa foram mais aceitos como filosofia, maiores foram as necessidades de entender os problemas dentro dos sistemas mecânicos. Isto significa que não existe uma única técnica analítica que seja melhor ou mais apropriada que outras para resolver um problema. No entanto, a combinação de diversas tecnologias fornece um conjunto importante de meios que tem a capacidade de derivar uma imagem holística da saúde da máquina. Existem duas pedras angulares que fazem o trabalho das análises de óleo de terceira geração: o

perfil apropriado dos testes realizados e o sistema flexível de processamento de dados que transforma os dados brutos em informação claramente entendível pela manutenção.

- Quarta geração (1990-....)

Integração da análise de óleo com outras técnicas de monitoramento, tais como análise de vibração, termografia, etc: Durante muito tempo a análise de óleo foi considerada coisa de “laboratório”, e ficou completamente isolada, inclusive fora da área do departamento de manutenção. Com o passar do tempo foi incorporada à manutenção, e nesta fase está sendo integrada com outras técnicas de monitoramento, principalmente com a análise de vibração.

Na lubrificação, duas análises proporcionam a detecção de defeitos de equipamentos, que são ferrografia e viscosidade.

Baroni e Gomes (2001) comentam que, a técnica de ferrografia foi desenvolvida nos Estados Unidos para aplicações na aeronáutica militar em 1975 pelo Dr. Vernon C. Westcott sob o patrocínio da *Naval Air Engineering Center*, com objetivo de obtenção de maior confiabilidade no diagnóstico de condições de máquinas, como caixas de engrenagens e turbinas de helicópteros militares. Em 1982 a ferrografia foi liberada para uso civil e trazida para o Brasil em 1988. Ferrografia consiste na determinação da severidade, modo e tipos de desgaste em máquinas, por meio da identificação da morfologia, acabamento superficial. Coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em amostras de óleos ou graxas lubrificantes, de qualquer viscosidade, consistência e opacidade, sendo realizado dois tipos de exames ferrográficos:

- Quantitativo ou ferrografia de leitura direta (DR = *Direct Reading*)

Determina as concentrações e permite análise de tendências.

Partículas grandes (L = *Large* > 5 μm)

Partículas pequenas (S = *Small* < 5 μm)

Com o manuseio dos valores de L e S permitem várias interpretações, tais como:

Concentração total de partículas = L + S

Modo de desgaste

$$PLP = [(L-S) / (L + S)] \times 100 \quad [46]$$

Índice de severidade

$$IS = (L^2 - S^2) / \text{diluição}^2 \quad [47]$$

- Analítico (AN)

Permite a observação visual das partículas para que sejam identificados os tipos de desgaste presentes, tais como: esfoliação, *pitting*, abrasão, corrosão, contaminação, arrastamento, falha do lubrificante.

- Cronograma de monitoramento

Conforme Baroni e Gomes (2001) para cada tipo de máquina estabelecem-se diferentes periodicidades nos exames quantitativos (DR) e analíticos (AN), como exemplo tem-se:

DR = A cada 30 dias

AN = A cada 90 dias ou quando algo anormal é apontado pelo DR

Nas duas primeiras amostras efetuam-se DR + AN para determinação de um ponto de partida como referencia na avaliação das ações posteriores.

Para Mirshawka (1991), o lubrificante é o vetor das partículas de desgaste geradas por uma máquina, visto que ele está necessariamente presente nas zonas de atrito. O estudo da evolução da concentração de partículas em suspensão, da natureza de sua constituição, de suas dimensões e de sua morfologia traz informações úteis sobre o comportamento das peças lubrificadas e permite afastar uma eventual anomalia antes que ela se

transforme em avaria. É fundamental descobrir o ponto de origem do desgaste através da análise da natureza das partículas. De um modo geral, a natureza dos metais ou dos materiais constituintes dos elementos que compõem os aparelhos lubrificados é conhecida, o que se torna possível através da identificação das partículas contidas numa amostra do lubrificante, a determinação do ponto de origem do desgaste e seguir-lhe a evolução, como por exemplo, no caso de um motor à explosão, diagnosticar um desgaste dos anéis do pistão no caso de se encontrar partículas de cromo, e um desgaste da bronzina da biela se encontradas partículas de chumbo, cobre ou estanho.

A identificação dos diferentes tipos de desgaste pode ser obtida por meio do estudo da dimensão das partículas sólidas, tendo-se quatro tipos de desgastes citadas por Mirshawka (1991):

- Desgaste normal: As partículas maiores têm um tamanho que não ultrapassa 10 μm . A distribuição granulométrica está mais entre 0,1 μm e 1 μm .
- Desgaste acentuado: Neste caso, no intervalo entre 01 a 10 μm existe um razoável aumento do número de partículas geradas e a seguir ocorre uma rápida diminuição, tendendo a zero. Este tipo de desgaste corresponde a uma máquina que está funcionando em sobrecarga ou cuja lubrificação é insuficiente, não estando visível a avaria de superfície.
- Desgaste avançado: É o resultado normal do desgaste acentuado, estando bem visível à avaria de superfície.
- Desgaste catastrófico: É o último estágio do desgaste, antes de acontecer o defeito por atrito.

O Quadro 7 apresenta o estudo da forma e da estrutura das partículas nas principais origens de desgaste.

FORMA DAS PARTÍCULAS	ORIGENS DE DESGASTE	IMPORTÂNCIA DO DESGASTE
Pequenas plaquetas (0,3 a 5 μm)	Desgaste de adesão	Desgaste normal
Grandes plaquetas (5 a 150 μm)	Atrito	Desgaste perigoso
Escamas (10 μm a 1 mm)	Escamação	Desgaste perigoso
Lascas enroladas ou encurvadas	Abrasão	Grave, sobretudo se as lascas forem numerosas
Esferas plásticas	Depósito de aditivos	
Esferas metálicas		
Pequenas (1 a 5 μm)	Fadiga dos rolamentos	Ocorrência grave
Grandes (> 10 μm)	Cavitação - erosão	Ocorrência grave
Magmas, aglomerados (2 a 150 μm)	Corrosão - oxidação	Ocorrência grave

Quadro 7: Definição das origens de desgaste em função das partículas no óleo
 FONTE: Adaptação feita a partir de Mirshawka (1991)

Observa-se no Quadro 7 que a forma e o tamanho das partículas caracterizam a origem de desgaste, podendo ser evitado através dos estudos da forma e da estrutura das partículas o desgaste catastrófico.

Nepomuceno (1989) e Pinto, Xavier e Baroni (2002) comentam que, a viscosidade é a mais importante característica física de um óleo lubrificante. É uma medida de resistência ao escoamento e resulta do atrito interno das moléculas movendo-se entre si, sob tensão. É a única propriedade do lubrificante que influencia a espessura da película de óleo entre as partes moveis, que por sua vez influi no desgaste. Um óleo de viscosidade inadequada não formará películas suficientemente espessas capazes de evitar ou minimizar o desgaste. Por outro lado, óleos com viscosidade excessiva geram demasiado calor e desperdício de energia. O fator de maior influencia na viscosidade é a temperatura. No laboratório, as determinações devem ser realizadas sob rigoroso controle das condições de temperatura, ou seja, toma-se uma porção de óleo, leva-se a amostra a uma temperatura padronizada (normalmente 40°C) e mede-se o tempo que o óleo leva para fluir por um

orifício ou tubo capilar e medida em centistokes (cSt). Para um óleo ISO 68 tem-se viscosidade igual a 68 cSt @ 40°C.

3.2.2. MONITORAMENTO OBJETIVO

Na manutenção preditiva, a técnica mais utilizada nas empresas é a de análise de vibração que, junto com a ferrografia, pode ser considerada uma das melhores técnicas para monitoramento. Considerando-se que a intensidade da vibração é diretamente proporcional à força de excitação (movimento normal rotativa e alternativo, desbalanceamento, choque) e ao grau de mobilidade do sistema (rigidez e folgas), pode-se concluir que, o aumento da vibração nos indicará alterações no estado da máquina (BARONI & GOMES, 2001).

Para Pinto, Xavier e Baroni (2002) a avaliação das vibrações por ser feita em dois níveis:

- Medição de nível global: Determinação do estado geral de um equipamento. É a somatória do modo de vibração de todos os componentes.
- Análise de espectros: Cada componentes da máquina possui seu próprio padrão de freqüências. A estratificação das freqüências elementares que compõem todo o sinal complexo permite a identificação de cada componente. Esta estratificação é normalmente feita por meio de tratamentos matemáticos. Os instrumentos atuais executam este trabalho automaticamente utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT – *Fast Fourier Transformation*).

Quando se intencionar controlar o estado dos equipamentos por medição de vibração, percebe-se que não é prático o modo de freqüência a ser executado em todos os equipamentos, por apresentar vários pontos de medição, tornando elevado o número de pontos de controle. Desta forma, a análise de freqüência como rotina, se reserva aos equipamentos estrategicamente mais importantes. Medição de nível global representa a composição de varias fontes de vibração.

Estes níveis são observados e devem permanecer dentro de faixas admissíveis. Quando uma tendência do aumento do nível de vibração ocorre, uma análise de frequência pode ser feita, para localizar a origem do problema. Com isto, se torna possível manter sob controle um grande número de equipamentos. A medição global de vibração é uma operação rápida e simples, podendo ser realizado por instrumento portátil, leve e prático, como por exemplo, a caneta de vibração da SKF, CMVP50-VIBPEN. A caneta de vibração (*vibration pen*) fabricada pela SKF é um instrumento que mede ao mesmo tempo, o valor da vibração global e envelope de aceleração. O valor global de vibração (*overall*) na faixa de frequência entre 10 e 100 HZ é usado para avaliação de problemas como desbalanceamento, desalinhamento e o envelope de aceleração acusam problemas que ocorrem em altas frequências de 10 a 30 kHz, característico de rolamentos e engrenamentos (PINTO e XAVIER, 1999).

Para Mobley (1990) análise de vibração é a técnica dominante usada pela manutenção preditiva. Esta técnica usa o barulho ou vibração criada pelo equipamento mecânico para determinar suas condições. Segundo Mirshawka (1991) e Pinto, Baroni e Gomes (2002) problemas típicos detectados com a análise de vibrações são:

- Desbalanceamento;
- Desalinhamento entre máquinas ou entre componentes internos;
- Empenos de eixos;
- Excentricidades de polias, mancais, rotores de motores e geradores;
- Desgaste (aumento de folgas) em engrenagens e mancais;
- Má fixação de máquina ou de componentes internos;
- Instabilidade de filme de óleo em mancais;
- Roçamentos;

- Fenômenos aerodinâmicos e/ou hidráulicos (turbulência, cavitação);
- Problemas elétricos.

Os parâmetros de vibração relacionados com máquinas rotativas são usualmente expressos em termos de deslocamento, velocidade e aceleração. Todos os três representam “o quanto” o equipamento está vibrando. A frequência é a outra variável de importância na análise de vibração, que ajuda a identificar a origem da vibração, ou seja, “o que” está causando a vibração. Finalmente, a fase indica “onde o ponto pesado se encontra em relação ao sensor de vibração”.

Para Wireman (1998) o monitoramento da condição operacional de equipamentos pode ser realizado por exames de dinâmica operacional. As técnicas mais comuns para medir a dinâmica operacional são análise de vibração, termografia, ultra-sônicos e análise de óleo. Baseado no tipo de equipamento, a análise de vibração pode indicar problemas com rolamentos, correias, engrenagens, desalinhamento de eixos e desbalanceamento. O maior impacto que o monitoramento de vibração tem em muitas empresas é usar para detectar problemas de rolamentos, conhecendo dias, semanas ou até mês que um componente falhará e o departamento de manutenção poderá realizar a substituição com o mínimo impacto no processo operacional.

Através da análise de vibração podem-se identificar anomalias, possibilitando programar as atividades de manutenção para ser realizada antes que ocorra a sua parada inesperada.

Para Mirshawka (1991) as principais anomalias que podem ser detectadas através da análise espectral, podendo ser classificadas em três categorias:

- Picos que aparecem nas frequências múltiplas ou nos múltiplos da velocidade do rotor.
- Picos que aparecem em velocidades independentes da velocidade do rotor.

- Densidade espectral proveniente de componentes aleatórios da vibração.

Mirshawka (1991) comenta que, os fenômenos que podem provocar picos cujas frequências estão ligadas àquela do rotor, pode-se citar o desbalanceamento, desalinhamento, mau ajuste mecânico, avarias nas engrenagens, turbilhonamento da película de óleo, excitação hidrodinâmica, mau estado da correia de transmissão, e os fenômenos que criam picos e com frequências não relacionadas à frequência do rotor, pode-se citar a vibração de máquinas vizinhas, vibrações de origem elétrica e a ressonância da estrutura ou do rotor, e a cavitação, escamação dos rolamentos e os atritos, são os fenômenos que provocam modificações nos componentes aleatórios do espectro.

Marra (2002) comenta que tendo reconhecido que o aumento do nível de vibração normalmente indica o desenvolvimento de uma falha, o engenheiro da planta precisa então localizar a falha num elemento particular da máquina. Medida de vibração de nível global fornece muito pouca informação da origem da falha. Somente com o espectro de frequência será possível obter o diagnóstico preciso da falha em desenvolvimento. Isso implica no estudo inicial das especificações e desenhos de engenharia para cada máquina, fazer um plano esquemático e registrar nele as características geométricas e dinâmicas do equipamento, tais como: o número de pólos do motor, as velocidades de rotação, número de dentes das engrenagens, os dados das esferas e rolos dos rolamentos, etc. Através de cálculos simples, estes dados convertidos nas frequências características que compõem o espectro de frequência esperado no caso de desenvolvimento de falhas.

As principais anomalias citadas por Mirshawka (1991) são apresentadas no Quadro 8, proporcionando ao engenheiro o reconhecimento das mesmas.

CAUSA	VIBRAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	FREQUÊNCIA	DIREÇÃO	
Desbalanceamento	1 x FR	Radial	Intensidade proporcional à velocidade de rotação
Desalinhamento	2 x FR	Axial e Radial	Axial em geral mais importante se o defeito de alinhamento contém um desvio angular
Defeito de fixação	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Engrenagens defeituosas	Frequência de engrenamento = F F = Nº Dentes X FR árvore	Radial + Axial	Banda lateral em torno da frequência de engrenamento
Turbilhão de óleo	0,42 a 0,48 x FR	Radial	Unicamente sobre mancais lisos hidrodinâmicos com grande velocidade
Excitação hidrodinâmica	Frequência de passagem das pás	Radial e Axial	
Correia em mau estado	1, 2, 3, 4 x FR	Radial	
Excitação elétrica	1, 2, 3, 4 x 60 Hz	Axial e Radial	Desaparece ao se interromper a energia
Velocidade crítica de rotação	Frequência crítica do rotor	Radial	Aparece em regime transitório e desaparece em seguida
Deterioração rolamento	Altas frequências	Radial e Axial	Ondas de choque causadas por escamações
Pinhão (falsa volta)	F +/- FR pinhão	Radial + Axial	Bandas laterais em torno da frequência de engrenamento devido às falsas voltas.

Quadro 8: Reconhecimento das principais anomalias
FONTE: Mirshawka (1991)

Após ter o reconhecimento das anomalias, muitos engenheiros começam usando um dos critérios de vibração padronizados como guia para o julgamento da severidade de vibração em máquinas. Nepomuceno (1989), Pinto e Xavier (1999) comentam que a ISO através dos standards ISO 2372 e 3945 fornece um gráfico para julgamento da severidade de vibração em máquinas rotativas, conforme Quadro 9, muito utilizados na Europa, tanto para testes de aceitação no fabricante, como para avaliação de máquina em campo, avaliando níveis de vibração para frequência entre 10 a 1000 Hz.

Faixas de severidade de vibração radial			Julgamento de qualidade para classes separadas de máquinas			
Faixa	Velocidade em rms na faixa de 10-1000 Hz (limites de faixa)		Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
	mm/s	in/s				
0,28	0,28	0,011	A	A	A	A
0,45	0,45	0,018				
0,71	0,71	0,028				
1,12	1,12	0,044	B	B	B	B
1,8	1,8	0,071				
2,8	2,8	0,11	C	C	C	C
4,5	4,5	0,18				
7,1	7,1	0,28	D	D	D	D
11,2	11,2	0,44				
18	18	0,71				
28	28	1,1				
45	45	1,8				
71	71	2,7				

Classe de Máquinas
 Classe I = Máquinas pequenas até 20 HP.
 Classe II = Máquinas médias de 20 a 100 HP.
 Classe III = Máquinas grandes 10-20 ver/seg. 400 HP e maiores montadas em suportes rígidos
 Classe IV = Máquinas grandes 100-200 ver/seg. 400 HP e maiores montadas em sup. flexível

A = BOM B = SATISFATÓRIO C = INSATISFATÓRIO D = INACEITÁVEL

Quadro 9: Julgamento da severidade de vibração em máquinas rotativas
 FONTE: Pinto e Xavier (1999)

Observa-se no Quadro 9 que, os valores de vibração são para velocidades em RMS (*root mean square*).

3.3. MONITORAMENTO OBJETIVO EM EQUIPAMENTOS MECÂNICOS ESTÁTICOS

Nos equipamentos estáticos, tais como vasos, caldeiras, torres, válvulas, tubulações, isolamentos e estruturas, podem ser monitorados por condição da espessura e integridade, forças e calor, conforme apresenta o Quadro 10.

EQUIPAMENTOS MECÂNICOS ESTÁTICOS				
CONDIÇÃO	VARIÁVEL	ANÁLISE	INSTRUMENTO	SENSOR
Espessura Integridade	Corrosão Erosão Abrasão <i>Pitting</i> Trincas Desgaste	Análise de imagem Medição de espessura Detecção de trincas Defeitos em soldas	Medidor Ultra- sônico Ultra-som Líquido penetrante	Sondas Termopar
Forças	Fadiga Deformação Impacto Ruído Vibração	Teste hidrostático Análise de vibração	Conjunto de teste hidrostático Analisador de vibração	Dinamômetro Sondas Termopar
Calor	Temperatura	Isolamento Vazamentos purgadores	Lápis / giz indicador de temperatura Termógrafos	RTD Termopar

Quadro 10: Técnicas separadas por condição de equipamento mec. estáticos
 FONTE: Adaptação feita a partir de Pinto e Xavier (1999)

Chainho (2001) comenta que a autoridade pública, poder judiciário, sindicatos, políticos, imprensa e toda sociedade estão exigindo mais segurança, maior proteção ambiental, mais qualidade e respeito pelo consumidor, especialmente das indústrias. A regularização e a fiscalização estão ficando mais rigorosas, exigindo relatório cujo conteúdo é mais abrangente do que os registros tradicionais da inspeção de equipamentos, pois se deve tratar também de aspectos relacionados com a segurança e a saúde do trabalhador, através de avaliação de integridade física dos equipamentos, podendo ser por análise de medição de espessura e detecção de descontinuidade de material (trinca interna).

Para Chainho (2001) avaliação das condições físicas através de medição de espessura consiste basicamente num exame visual cuidadoso, feito por um técnico de inspeção qualificado, sendo que, as observações feitas durante a inspeção também podem indicar a necessidade de outras análises, tais como: teste por pontos, radiografia, metalografia, ultra-som, fornecendo informações para decidir-se se o equipamento pode ou não continuar operando até a próxima parada, devido basear-se:

- No estado atual do equipamento avaliado na inspeção;
- Na velocidade da deterioração com base nos resultados da inspeção;
- Na condição crítica, ou seja, a quantidade de danos acumulados que provoca riscos insuportáveis de falha ou acidente.

Em muitas situações, tais como: espessura de chapa de um vaso de pressão, parede de uma carcaça de bomba e parede de tubulação, a condição de um componente ou do próprio equipamento é definida de acordo com a espessura do material, podendo ser feita por instrumentos mais elementares, além dos instrumentos convencionais como paquímetros e micrometros para peças usinadas, sendo maior interesse em medição de espessura em equipamentos de grande porte, cujo acesso com os instrumentos convencionais não é possível, sendo necessário à utilização do instrumento de ultra-som, e Pinto e Xavier (1999) comentam que o instrumento de ultra-som além de permitir a medição de espessura é muito utilizado para detecção de descontinuidade do material, ou seja, de defeitos interno.

Nepomuceno (1989) comenta que medida de espessura na manutenção constitui providencia primordial ao desgaste de equipamentos, principalmente quando o trabalho é altamente perigoso seja por perigo de poluição seja por explosão, sendo que em algumas instalações, necessita-se de um monitoramento por tempo integral da espessura, dada a corrosão constante e contínua.

Caso seja constatada baixa espessura e/ou alta taxa de corrosão, o número de medição de espessura escolhido para controle deve ser ampliado e os pontos de medição devem ser registrados para acompanhamento e após a verificação das espessuras, esses pontos devem ser protegidos contra corrosão (RIBEIRO, 2001).

Nas instalações industriais a utilização de vasos sob pressão é muito comum, existindo sempre o problema de vazamentos, sendo necessária sua verificação, principalmente em casos de produtos perigosos, podendo ser

através da análise de teste hidrostático. Esta análise é a mais comum, onde se verifica a existência de vazamento, simplesmente pela aplicação de pressão, normalmente 1,5 vez a pressão de trabalho. O processo pode eventualmente, indicar alguns defeitos ou descontinuidades, mas, normalmente, são detectados somente aqueles que apresentam grandes áreas, tais como trincas na região de soldagem, juntas e furos, sendo realizado com embasamento de normas publicadas pela ASME, ABNT, JIS, VDI, BIS, ASTM (NEPOMUCENO, 1989).

Para Ribeiro (2001) a pressão de teste hidrostático deve ser no mínimo a 1,5 vezes a pressão de projeto, devendo ter a duração do teste, no mínimo de 30 minutos ou tempo necessário para percorrer a linha no caso de tubulação, de acordo com as normas ASME B-31.G, APIRP-570 e FP-574 ou código de projeto ASME B-311 ou B-31.3.

Carvalho, Palfi, Brambila (2001) comenta que a Norma Brasileira NBR-12177, define os objetivos, pressão de teste, métodos de execução, critérios de aceitação e periodicidade para o teste hidrostático.

Para um determinado purgador sob condições fixas (de pressão diferencial, temperatura de operação e principio de funcionamento) podem-se distinguir os ruídos do fluxo de condensado e vapor através do purgador, pela comparação das descargas com o ruído que se ouve nas fontes, identificando situações típicas de vazamento e alagamento, com o monitor ultra-sônico Spirax Sarco UP 100 (ENGIPIPE, 2001).

A definição e finalidades dos purgadores de vapor (*steam-traps*) por Telles (1994) são dispositivos automáticos que separam e eliminam o condensado formado nas tubulações de vapor e nos aparelhos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor, que deveriam ser chamados, com mais propriedade, de “purgadores de condensado”. A maioria dos purgadores, além de removerem o condensado, eliminam também o ar e outros gases incondensáveis (CO₂, por exemplo) que possam estar presentes. Os purgadores de vapor são os

dispositivos de separação mais importantes e de emprego mais comum, tendo as seguintes causas do aparecimento de condensado em tubulações de vapor:

- Em tubulações de vapor úmido o condensado se forma por precipitação da própria umidade;
- Em tubulações de vapor saturado o condensado aparece em consequência das perdas de calor por irradiação ao longo da linha;
- Em tubulações de vapor saturado ou superaquecido o condensado pode em consequência do arrastamento de água, proveniente da caldeira.
- Em quaisquer tubulações de vapor, o condensado sempre se forma na entrada em operação, quando todo o sistema está frio e, também, quando o sistema é tirado de operação e o vapor vai-se condensando aos poucos no interior da tubulação.

Telles (1994) ainda comenta que, o condensado forma-se também em todos os aparelhos onde o vapor é usado como meio de aquecimento (refervedores, aquecedores a vapor, serpentinas, autoclaves, estufas), como consequência da perda de calor do vapor. A remoção do condensado do ar e de outros gases existentes nas linhas de vapor deve ser feita pelas seguintes razões:

- Conservar a energia do vapor: o condensado não tem ação motora (máquinas a vapor) nem ação aquecedora eficiente (o vapor aquece cedendo o calor latente de condensação). A entrada ou permanência do condensado nos aparelhos de aquecimento diminui grandemente a eficiência desses aparelhos;
- Evitar vibrações e golpes de aríetes nas tubulações, causados pelo condensado pelo condensado, quando empurrado pelo vapor em alta velocidade. Esses golpes ocorrem principalmente nas mudanças de direção, extremos de tubulações, válvulas, etc., porque as velocidades usuais para vapor são muitas maiores (20 a 100 vezes) do que as usadas para água e, também, porque o condensado é incompressível.

- Evitar a erosão rápida das palhetas das turbinas, que seria causada pelo impacto das gotas de condensado.
- Diminuir os efeitos da corrosão. O condensado combina-se com o CO₂, que possa existir no vapor formando o ácido carbônico, de alta ação corrosiva.
- Evitar a redução da seção transversal útil de escoamento do vapor devido à acumulação do condensado.
- Evitar o resfriamento do vapor em consequência da mistura com o ar e outros gases.

É importante saber para qual finalidade será utilizado o purgador de vapor (eliminação de condensado ou reter o vapor nos aparelhos de aquecimento), devido o sistema de instalação ser completamente diferente.

Nagao (1998) comenta que os purgadores de vapor são equipamentos críticos para indústria de processo, onde o seu correto funcionamento é fundamental para o controle de temperatura, bem como o impacto na economia de energia. Um purgador de vapor que apresenta falha na condição aberta está jogando significativa quantidade de energia e em muitas vezes jogando fora milhares de dólares devido ao desconhecimento do problema. Normalmente encontram-se em algumas empresas, valores entre 25 a 35% de purgadores com problemas. Sistemas como o *Trap Man* (marca registrada da TLV para coletor de dados para análise de falhas em purgadores de vapor) é um coletor de dados e um software que faz o gerenciamento dos purgadores no microcomputador, mostrando em tabelas e gráficos, o estado de saúde dos purgadores e o valor da perda.

Com o objetivo de reduzir o consumo de vapor e melhor reaproveitamento do condensado, a Engipe (2001), realizou na empresa Vicunha Têxtil S/A – Americana, o levantamento técnico das instalações de vapor e retorno de condensado, avaliando-se o funcionamento de 259 purgadores instalados, onde 49 foram anotados com não-conformidade, ou seja, 19%, representando

730 ton. de vapor por ano, correspondendo a R\$ 23.000,00/ano de perda, sendo as seguintes causas de não conformidades:

- Purgadores vazando – Vazamentos de vapor nos purgadores pressurizam as linhas de retorno e tanque *flash* dificultando o trabalho dos equipamentos, diminuindo a capacidade de purga, perdendo eficiência no processo produtivo, aumentando o consumo de combustível e desde modo aumenta-se também a quantidade de poluentes lançados na atmosfera.
- Purgadores Repesando – Alagamentos das linhas de vapor dificultam a troca térmica nos equipamentos, além de sujeitar purgadores, válvulas e equipamentos a golpes de aríete, danificando-os e gerando custos de reparos desnecessários.
- Purgadores bloqueados – Purgadores bloqueados, significa que não estão sendo utilizados ou que estão com vazamentos. O simples bloqueio não resolve um vazamento, apenas provoca alagamento da linha de vapor ou do equipamento.
- Purgadores desativados – Purgadores quando desativados, devem ser retirados da linha, pois os mesmos estão perdendo calor e energia para o ambiente, com grande desperdício de combustível e custo.

Para um bom funcionamento dos purgadores em instalações de linha de vapor, deve-se verificar se os purgadores estão instalados de acordo com as marcações nos corpos ou instruções de instalação e quando possível instalando-os abaixo da linha de condensado, assegurando que a pressão de vapor seja capaz de deslocar todo o condensado formado. A Tabela 2 mostra a quantidade em Kg/h de condensado formado a cada 30 m durante o processo.

Tabela 2: Condensado formado a cada 30 m durante o processo (Kg/h)

Pressão (Kg/cm ²)	Diâmetro da Linha						
	2"	2.1/2"	3"	4"	6"	8"	10"
2,1	3,6	4,0	4,9	6,3	8,9	12,0	14,0
4,2	4,5	5,4	6,3	8,0	12,0	15,0	18,0
7,0	5,4	6,7	8,0	9,8	14,7	18,0	23,0
8,5	5,8	7,2	8,9	10,7	16,1	20,0	25,0
12,0	7,1	8,5	10,3	11,6	17,0	24,0	30,0
17,5	8,1	9,8	12,1	15,2	22,3	28,0	34,0

FONTE: Engipepe (2001)

Observa-se na Tabela 2 que a quantidade de condensado formado a cada 30 m é muito grande sendo necessário à drenagem da linha, com objetivo de minimizar as ocorrências de golpes de aríete.

Os purgadores mecânicos devem ser instalados próximos dos pontos de drenagem, isto evitará o travamento devido à presença de vapor preso, caso não seja possível, deverá ser utilizado um purgador de bóia com mecanismo eliminador de vapor preso. As instalações adequadas e de fácil acesso, proporciona facilidade e segurança de manutenção.

O método de avaliação utilizado na análise de ruídos ou vibrações a frequências além da faixa audível (aproximadamente 20.000 Hz), são chamados de ultra-sônicos. Vibrações a estas frequências são geradas pelo fluxo de um fluido e seu atrito mecânico, sendo bastante absorvidas pelas tubulações onde estes fluidos passam. Baseando-se neste princípio, a vibração forçada é um meio de se detectar a passagem de vapor ou condensado através do purgador, separando a interferência audível de outros ruídos próximos. Para isso, utiliza-se equipamento ultra-sônico UP 100 (Spirax Sarco), sendo seu princípio de funcionamento um transmissor eletromecânico similar ao microfone, que converte a vibração mecânica em um sinal elétrico de pequena intensidade. O sinal é então ampliado e filtrado eletronicamente, de modo que somente as faixas de vibrações na frequência ultra-sônica permanecem (35 a 45 kHz), sendo convertido para uma frequência mais baixa de 0,5 a 15 kHz, ou seja, um sinal audível que pode ser percebida pelos fones e um indicador digital.

A principal aplicação do monitoramento por ultra-sônico é detectar vazamento. A fluxo turbulento de líquidos e gases por meio de um orifício restringido, tal como um vazamento, produzirá um sinal de frequência alta que pode facilmente ser identificada usando técnicas ultra-sônico. Essa técnica é ideal para detectar vazamentos em purgadores, válvulas, tubulações e outros sistemas de processo (MOBLEY, 1990).

Chainho (2001) comenta que a inspeção por de monitoramento em equipamentos mecânicos estáticos, surgiu pela necessidade de mantê-los em condições físicas satisfatórias, proporcionando um nível mínimo de segurança e confiabilidade. Ao longo dos anos, a inspeção tem sofrido sucessivas revoluções decorrentes da evolução tecnológica e aqueles que não acompanharam este desenvolvimento, perderam excelente oportunidade para melhorar sua eficiência e eficácia, com redução de custos de manutenção, aumentando a disponibilidade. A instalação, operação e manutenção de caldeiras e vasos de pressão em indústrias, sempre mereceram atenção especial dos órgãos fiscalizadores da segurança no trabalho. Por trabalharem com pressão e temperaturas elevadas, esses equipamentos geram grandes riscos quando não funcionam corretamente. O assunto é tão sério, que recebeu uma Norma inteira para abordá-lo, a Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13), caldeiras e vasos de pressão, pertencente ao Ministério do Trabalho e trata especificamente do projeto, instalação, operação e manutenção de caldeiras e vasos de pressão, bem como seus acessórios como, válvulas de segurança.

Hanrath (1998) comenta que pressões a vapor, anterior aos 1800, eram bastante baixas, não aumentando significativamente, isto é, antes do desenvolvimento das máquinas a vapor. Mas durante este período, um grande número de explosão de caldeiras causou preocupação pública, necessitando de buscar da causa. Além da preocupação pela busca da causa dessas explosões, Lyra (1985) comenta que surgiram duas atividades, tendo como influência a garantia da integridade das pessoas, através da segurança industrial, voltado principalmente para o homem, procurando conscientizá-lo dos riscos que o cercam e indicando os procedimentos pra que sejam evitados

os acidentes, que além de provocar incêndio e lesões corporais, pode provocar danos diretos a outros equipamentos e também lucro cessante. A outra atividade é através da inspeção de equipamentos, procurando atender a todos os requisitos de segurança durante a fabricação, montagem e durante todo tempo em que esteja em operação.

A NR-13 por ser mandatório, se tornou de grande importância para as organizações, contribuindo na identificação do ponto potencial de falha, proporcionando a manutenção preventiva, evitando os acidentes com os equipamentos de unidade de processo, conseqüentemente, aumentando a disponibilidade e confiabilidade, garantindo a integridade física das pessoas e das instalações.

3.4. MONITORAMENTO OBJETIVO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA, PROTEÇÃO E CONTROLE.

Nos equipamentos elétricos de potencia, proteção e controle, tais como motores, geradores, capacitores, transformadores, alimentadores, barramentos, disjuntores, reles e *starters*, podem ser monitorados por condição da qualidade do óleo, forças, calor e energia, proporcionando diagnósticos favoráveis à manutenção, evitando a descontinuidade do processo produtivo, conforme apresenta o Quadro 11.

EQUIPAMENTOS ELETRICOS				
CONDIÇÃO	VARIAVEL	ANALISE	INSTRUMENTO	SENSOR
Óleo	Qualidade do óleo	Rigidez dielétrica Viscosidade	Aparelho de teste rigidez Viscosímetro	
Forças	Vibração Eletromagnética Energia de choque em rol.	Análise de vibração	Analizador de vibração Medidor de pulso choque	Acelerômetro piezelétrico Shock pulse meter
Calor	Temperatura	Temperatura barramentos	Termômetro infravermelho	Sensor infravermelho
Energia	Tensão Corrente Resistência Capacitância	Medidor de tensão/corrente resistência e capacitância	Mega Multiamperímetro Medidor resistência ohm	Voltímetro, amperímetro, ohm

Quadro 11: Técnicas separadas por condição de equipamentos elétricos
FONTE: Adaptação feita a partir de Pinto e Xavier (1999)

Nepomuceno (1989) comenta que as máquinas elétricas apresentam problemas similares aos dispositivos mecânicos, sendo inclusive a análise das vibrações mecânicas um dado fundamental para determinar o estado de tais dispositivos. Entretanto, os equipamentos elétricos apresentam alguns dados e algumas particularidades que lhes são intrínsecas, como por exemplo, as bobinas soltas, isolamento deteriorado, campo magnético irregular, etc. Um elemento importante dentro dos equipamentos elétricos é os motores, seja de corrente contínua ou alternada, sendo que as grandes maiorias dos equipamentos industriais são acionadas por motores trifásicos, existindo um número menor de motores de corrente contínua, nos casos que a velocidade de rotação deve ser variada ou invertida. A grande quantidade de motores não diminui a importância da cabeção, principalmente a de alta tensão, transformadores em cabines primárias, subestações, etc., assim como os disjuntores, protetores magnéticos, térmicos e dispositivos de controle. Em vários tipos de instalação industrial os equipamentos e dispositivos elétricos operam dentro de um ambiente poluído, como nas industriais petroquímicas e siderúrgicas, estando sujeitos a umidade excessiva, poeira, variações apreciáveis de temperatura, gases corrosivos, etc. Nesses casos, as máquinas rotativas em particular operam baixas condições severas e adversas, tanto do ponto de vista elétrico quanto mecânico. A manutenção do equipamento elétrico é bastante amplo, existindo alguns fenômenos que são importantes e que devem ser investigados com o devido cuidado, que são:

- Deterioração do dielétrico;
- Deterioração do enrolamento de motores e transformadores;
- Deterioração do óleo dos transformadores e disjuntores;
- Deterioração de coletores de motores C. A. e C.C.;
- Deterioração dos disjuntores (contactos, barras, etc.);
- Deterioração de dispositivos moldados

Evidentemente os problemas descritos podem apresentar algum entrelaçamento, um dos processos de deterioração pode correr simultaneamente com outro, levando a um processo de pane extremamente rápidas, com resultados desastrosos à produção.

3.4.1. RIGIDEZ DIELÉTRICA

Rigidez dielétrica é análise de óleo realizada em transformadores. É nome dado a substâncias gordurosas, líquida sob temperatura normal, de origem mineral, animal ou vegetal, empregadas nas mais variadas finalidades, como sejam, lubrificações, combustão, iluminação, etc. (MICHAELIS, 2003).

Nagao (1998) comenta que a técnica utilizada é a cromatografia dos gases dissolvidos e as análises físico-químico do óleo isolante dos transformadores elétricos, podendo detectar o nível de degradação dos óleos isolantes.

Baroni e Gomes (2001) comentam que o teste de rigidez não é utilizável para a predição de vida útil porque não é função da composição do óleo, mas dos contaminantes presentes (principalmente a umidade). Entretanto este teste deve ser realizado periodicamente para determinação do momento de troca ou regeneração da carga, sendo o mesmo bastante simples. Numa cuba com eletrodos e sob temperatura e umidade controladas, verificamos qual a tensão em que ocorre a passagem de corrente (faísca). Os resultados são expresso em KV/cm.

O uso dos equipamentos elétricos em ambientes adversos, principalmente em atmosfera altamente poluída, dá origem a uma serie de causas que levam o dielétrico a apresentar rapidamente deterioração, ocorrendo a perda da capacidade de resistir à diferença de tensão elevada e, nos casos mais graves, ao rompimento do dielétrico por faiscamento ou corona durante os picos comuns na produção. Não existe até o momento método capaz de predizer a vida residual de um dielétrico. Dada a importância do problema, é essencial que seja detectada a evolução do estado do dielétrico para evitar uma pane devida ao rompimento do mesmo devido a faiscamento entre pólos. Na

ausência de um método, a deterioração é avaliada de maneira estimativa, baseando-se no julgamento global dos resultados obtidos com diversos testes e diagnósticos de isolamento, parâmetros referentes a equipamentos determinados, condições ambientais, inspeção e observações visuais, etc., que permitem a tomada de algumas providencias que tendem a evitar situações irreversíveis. O teste mais importante nos transformadores consiste na análise do óleo e, principalmente, no conteúdo de gás dissolvido no óleo. Caso existam gases orgânicos, coisa bastante comum, o óleo deve ser imediatamente substituído por óleo isento de impurezas e gases dissolvidos. Nota-se que o óleo não deve conter uma quantidade de gases inflamáveis superior a 0,1600 ml/100 ml (NEPOMUCENO, 1989).

3.4.2. TERMOGRAFIA

Para Pinto e Xavier (1999) a temperatura elevada em barramentos e equipamentos elétricos normalmente são associados ao mau contato. O acompanhamento de temperatura em equipamentos elétricos é um método preditivo que permite localizar e acompanhar defeitos incipientes.

Para Mobley (1990) o perfil de temperatura do equipamento elétrico é o significado primário do monitoramento da condição de operação dos mesmos. Imagem térmica, usando técnica de termográfica é a técnica recomendada a monitorar a condição do equipamento, porém, o custo de implementação em muitos casos é proibitivo. O custo mais eficaz deste método é contratar fora quem pode prover a capacidade de monitoração requerida. Exceções no uso deste método para equipamentos elétricos são aqueles sistemas que confia na função de óleos dielétricos. Neste exemplo, tribologia provem o melhor entendimento da condição de equipamento. Com a imagem térmica, essa informação pode ter o custo mais eficiente se adquirido fora.

O histórico da Termografia relatado por Mirshawka (1991) é que em 1840, *Herschel* obteve a primeira imagem térmica, por meio de um processo baseado na evaporação diferencial de uma fina película de óleo. Entre 1920 e

1940, vários programas secretos, para fins militares, se concentraram no desenvolvimento de detectores de infravermelho que detectassem o movimento de tropas e da artilharia inimiga durante a noite, sendo que estes sistemas inicialmente desenvolvidos necessitavam, aproximadamente, de 10 minutos para a formação de imagens térmicas, e se restringiam a objetos fixos.

A partir de 1965, foi introduzido no mercado o primeiro instrumento capaz de formar imagens térmicas instantâneas, tanto para objetos fixos como em movimento. Na década de 70 a termografia se tornou uma técnica muito utilizada nas indústrias siderúrgicas, companhias de geração e distribuição de energia elétrica, indústrias petroquímicas, medicina, etc.

A termografia é uma das ferramentas mais poderosas para identificação de pontos quentes em instalações elétricas e falhas em isolamentos térmicos. Os termógrafos digitais de última geração fazem a termográfica colorida de alta resolução, com armazenamento de imagem no microcomputador (NAGAO, 1998).

Nepomuceno (1989) comenta que a termografia é um novo método de medir temperatura superficial usando materiais luminescentes. A distribuição da temperatura sobre a superfície é convertida em padrão de brilho (ou cores), que pode ser observado diretamente ou gravado fotograficamente.

Para Mirshawka (1991) a termografia auxilia na prevenção de falhas e interrupções do sistema elétrico. A detecção de um componente defeituoso baseia-se na elevação anormal de sua temperatura em função de um aumento da resistência ôhmica, devido à ocorrência de oxidação, corrosão ou falta de contato. Desta maneira, um componente defeituoso aparece na imagem térmica como um ponto quente, sendo que as inspeções devem ser efetuadas nos períodos de maior demanda, quando os pontos deficientes da rede tornam-se mais evidentes. Os componentes mais freqüentes inspecionados são:

- Conectores;
- Chaves seccionadoras;

- Fusíveis;
- Grampos;
- Disjuntores;
- Banco de capacitores;
- Transformadores de potência.

A utilização da termografia nas indústrias é uma realidade, permitindo a otimização das paradas para a manutenção, aumentando consideravelmente a disponibilidade dos equipamentos, além da diminuição dos custos de manutenção.

3.5. SISTEMA INFORMATIZADO DA MANUTENÇÃO

Cada vez mais, observa-se a importância da manutenção no contexto produtivo das indústrias, afetando seus objetivos em produtividade, qualidade e competitividade com maior realismo e capacidade crítica. As conseqüências derivadas da ausência de sistemas de informações que permitem, efetivamente, a implantação de gerenciamentos da manutenção informatizada, para análise e diagnóstico de causas remotas das ocorrências apresentadas pelos equipamentos e instalações, bem como a eliminação dos prejuízos decorrentes da ausência de um efetivo planejamento técnico das ações da manutenção (SIQUEIRA, 1996).

Viana (2002) comenta que se torna difícil para um planejamento e controle da manutenção trabalhar sem o auxílio de um *software*, diante do volume de informações a serem processadas, acarretando atrasos e má qualidade dos dados fornecidos para tomada de decisão gerencial, quando operadas por controles manuais.

Conforme pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005), observa-se uma tendência de

estabilidade de utilização de *software* próprio, sendo que, 17,60% das empresas pesquisadas utilizam, o qual era de 20,14% em 2003 e 18,59% em 2001. E a utilização de *software* externo se encontra em 24,80% de utilização, o qual era de 34,53% em 2003 e 19,87% em 2001, observando uma tendência de queda em relação à pesquisa de 2003. O uso de micros interligados na manutenção se encontra com uma tendência de crescimento, o qual está em 48,72% de utilização pelas empresas pesquisadas e, era de 46,57% em 2003 e 45,45% em 2001, como também, existe uma tendência de crescimento em relação a micros independentes na manutenção, que está em 18,80% e era de 11,45% em 2003 e 9,79% em 2001.

De acordo com esta pesquisa, as principais aplicações da informática na manutenção estão em 26,46% em programação/execução de serviços, 24,07% em estatística de falhas, 23,02% em controle de custos e 21,16% em gerenciamento de estoque, observando um crescimento em relação à pesquisa realizada em 2003 que era respectivamente de 23,93%, 23,46%, 21,09% e 19,91%.

Viana (2002) ainda comenta que a importância de um sistema de gerenciamento da manutenção, recai na necessidade de um controle efetivo das ações mantenedoras, desde os cadastros, até sua análise de relatórios. Já existem no mercado sistemas de tratamento integrado as informações de uma empresa, que facilita o fluxo entre todas as atividades de compras, manutenção, finanças e recursos humanos, como o *software* ERP (*Enterprise Resource Planning*), entre outros, que antes não observava a presença deles para o gerenciamento da manutenção. Um sistema informatizado de manutenção, tem as seguintes finalidades de acordo com Viana (2002):

- Organizar e padronizar os procedimentos ligados aos serviços de manutenção, tais como: ordem de manutenção, programação de manutenção e informações provenientes do banco de dados;
- Facilitar a obtenção de informações da manutenção como: custo do equipamento, desempenho, características técnicas, etc...;

- Gerenciar a estratégia de manutenção através dos planos preventivos, por meio dos monitoramentos, garantindo que as tarefas planejadas sejam automaticamente emitidas em forma de OM;
- Aumentar a produtividade da manutenção através de informações e otimização de mão de obra;
- Controlar o estado do equipamento através do seu histórico;
- Fornecer relatórios de índices consolidados como *backlog*, índices de manutenção corretiva, preventiva, preditiva, entre outros.

De forma geral, deve-se estudar a realidade da manutenção, traçando o perfil de sistema informatizado mais adequado para o PCM de uma organização de manutenção (VIANA, 2002).

Para Souza (2002) a participação da informática no monitoramento de máquinas e equipamentos é de fundamental importância para a manutenção, não somente em relação às finalidades que um sistema pode contribuir, como citado acima, mas também, no acompanhamento de condição por um sistema *on-line* de diagnóstico à distância chamado de telediagnóstico, tendo como característica mais interessante, a capacidade de comunicação automática de problemas detectado na máquina monitorada. O sistema deve informar a situação da máquina automaticamente, permitindo acesso do inspetor, aos dados de funcionamento da máquina, para que este possa interferir em seu funcionamento à distância, ou informar ao operador da necessidade de uma manutenção em tempo de se tomar uma providência, e também, o sistema deve ser capaz de tomar uma decisão autônoma de proteger a máquina, uma vez tendo sido programado, desligando-a, caso o operador não possa efetuar esta operação a tempo.

Para Pinto e Xavier (1999) a tendência é que toda empresa esteja interligada e os dados de uma área sejam facilmente acessados por qualquer outra área.

4. PROPOSTA DE METODOLOGIA DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO E DOS MONITORAMENTOS.

Um problema muitas vezes colocado na área industrial é a definição da metodologia de manutenção adequada para um sistema novo ou já operante, sendo este problema tratado de duas formas opostas: por exercício matemático, onde as hipóteses geralmente utilizadas diminuem a praticidade, ou então é considerado um problema estritamente prático, não sendo possível ser tratado metodologicamente e, cuja resolução depende, muitas vezes, do conhecimento dos mantenedores, ou seja, subjetivamente (REYS, 1995)

Com base nas fundamentações teóricas apresentadas e na larga experiência do autor no segmento de processo contínuo de viscosidade, apresenta-se a seguir a proposta de metodologia do processo de manutenção e dos monitoramentos, baseado numa organização de manutenção centralizada. São propostas melhorias em termos de gerenciamento da manutenção na busca da prevenção, correção, análise e melhoramento contínuo do processo industrial. Espera-se melhores resultados nos controles dos recursos humanos e no gerenciamento das atividades de manutenção, tendo o planejamento e controle de manutenção (PCM) e a engenharia de manutenção, como responsáveis por este gerenciamento.

4.1. PROCESSO DA MANUTENÇÃO

A manutenção industrial deve ser vista como processo, e não simplesmente como um departamento responsável por uma função. Uma forma de se tratar este problema é realizar o mapeamento do processo da manutenção, identificando as atividades principais, os departamentos responsáveis pela sua execução e as relações existentes. Com isto, obtém-se, toda a rede de relações da qual a manutenção participa, buscando oportunidades e ganhos,

como redução de tempos, eliminação de desperdícios e outras perdas de natureza diversa (CALLIGARO, 2003).

Na Figura 16 , são apresentados os processos mais importantes que afetam o desempenho dos equipamentos e instalações.

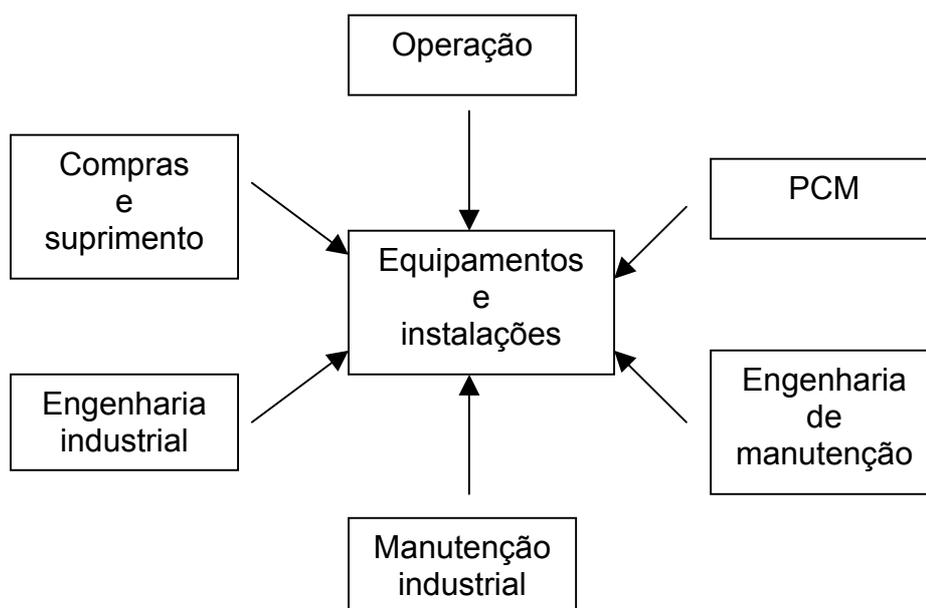


Figura 16: Processos e sua influência sobre o desempenho de equipamentos e instalações

FONTE: Adaptação feita a partir de Calligaro (2003)

À Figura 16 sub entende a meta do processo de manutenção como sendo a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e instalações, cabendo ao PCM a responsabilidade pela coordenação do processo de manutenção, e à engenharia de manutenção e à manutenção industrial, a execução dos serviços de manutenção.

As atividades desenvolvidas pelo PCM afetam e são afetadas, não só pela área de operação, mas, também pelas áreas de compras e suprimento e pela engenharia industrial e todos os demais segmentos, dependendo da estrutura organizacional de cada empresa.

4.2. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA MANUTENÇÃO

Uma estrutura organizacional da manutenção conforme Calligaro (2003), deve ser preferencialmente do tipo horizontal, com no máximo dois níveis hierárquicos, considerando-se as características típicas e o desempenho esperado para a função manutenção: atividade sob controle e rotineira, comunicação eficaz, grande velocidade no processo decisório e alto nível de autonomia e delegação.

Para Viana (2002) a tendência no mercado é que a manutenção ocupe um nível de gerência departamental, da mesma forma que a operação.

Neste trabalho, apresenta-se o planejamento e controle de manutenção – PCM, como a gerência departamental, o qual terá toda responsabilidade pelo processo de manutenção, ocupando o mesmo nível hierárquico de um planejamento e controle da produção – PCP, conforme organograma da manutenção apresentado na Figura 17.

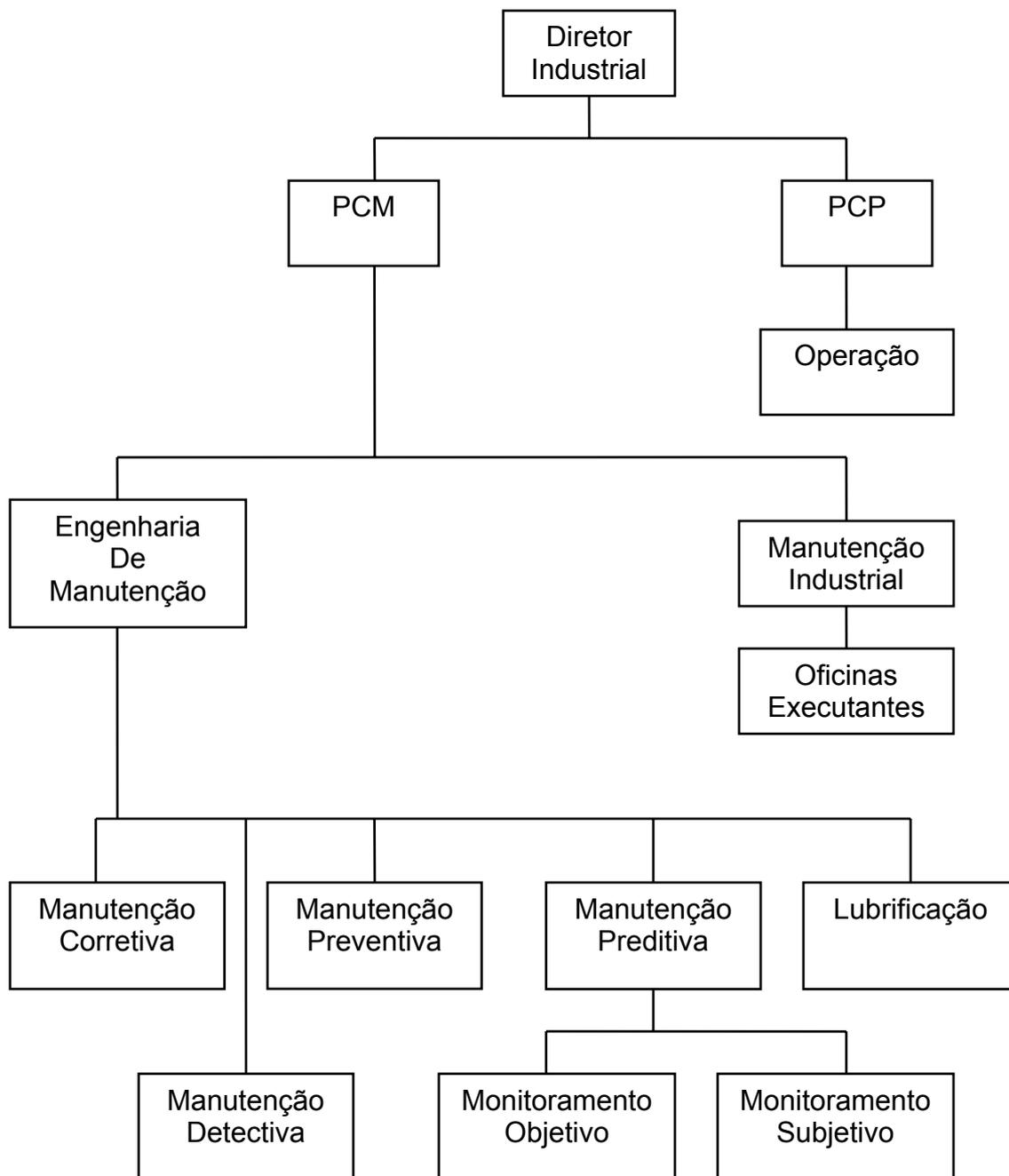


Figura 17: Organograma da Organização da Manutenção
 FONTE: Adaptação feita a partir de Viana (2002)

Conforme apresentado na Figura 17, as três funções essenciais que devem ser contempladas no desenho de qualquer organização de manutenção, são o

PCM, a Engenharia de Manutenção e a Manutenção Industrial, tendo as seguintes atribuições:

- PCM: elaboração da previsão dos custos de manutenção, acompanhamento dos índices de manutenção, administração junto com o suprimento, das peças sobressalentes, organizar e apresentar relatório de análise e decisão, planejamento das atividades de manutenção em comum acordo com a operação e a engenharia de manutenção e programação e controle da manutenção no gerenciamento do processo da manutenção;
- Engenharia de manutenção: organizar e implementar sistemas de manutenção, propor medidas preventivas para aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e instalações, buscar sempre melhores resultados para a organização, deixando de consertar continuamente, para procurar as causas básicas, modificando situações permanentes de mau desempenho, gerenciamento das atividades de manutenção, preditiva, detectiva, preventiva, corretiva, lubrificação, implementando novas técnicas e acompanhando planos e resultados;
- Manutenção industrial: execução das atividades de manutenção (corretiva, preventiva) e o monitoramento subjetivo através de rota de inspeção por meio dos sentidos humanos, registros das intervenções nos equipamentos na ordem de manutenção (OM).

Para Kroner (1999) em empresas pequenas não se justifica uma organização paralela, porque geralmente existe somente um Diretor ou Gerente que responde por todas as atividades da organização. Mas, para empresas grandes, a manutenção independente tem a vantagem de garantir maior sinergia, devido se ter às informações e conhecimentos colhidos e redistribuídos.

Para não existir problemas de integração com a operação, devido problemas culturais e, para que se obtenha as vantagens com organograma da

organização da manutenção apresentado na Figura 17, seria necessário desenvolver uma sistemática por meio de um macrofluxograma apresentado na Figura 18, para o bom funcionamento e desenvolvimento das atividades de manutenção, atendendo as necessidades de operação, garantindo a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, proporcionando alta produtividade.

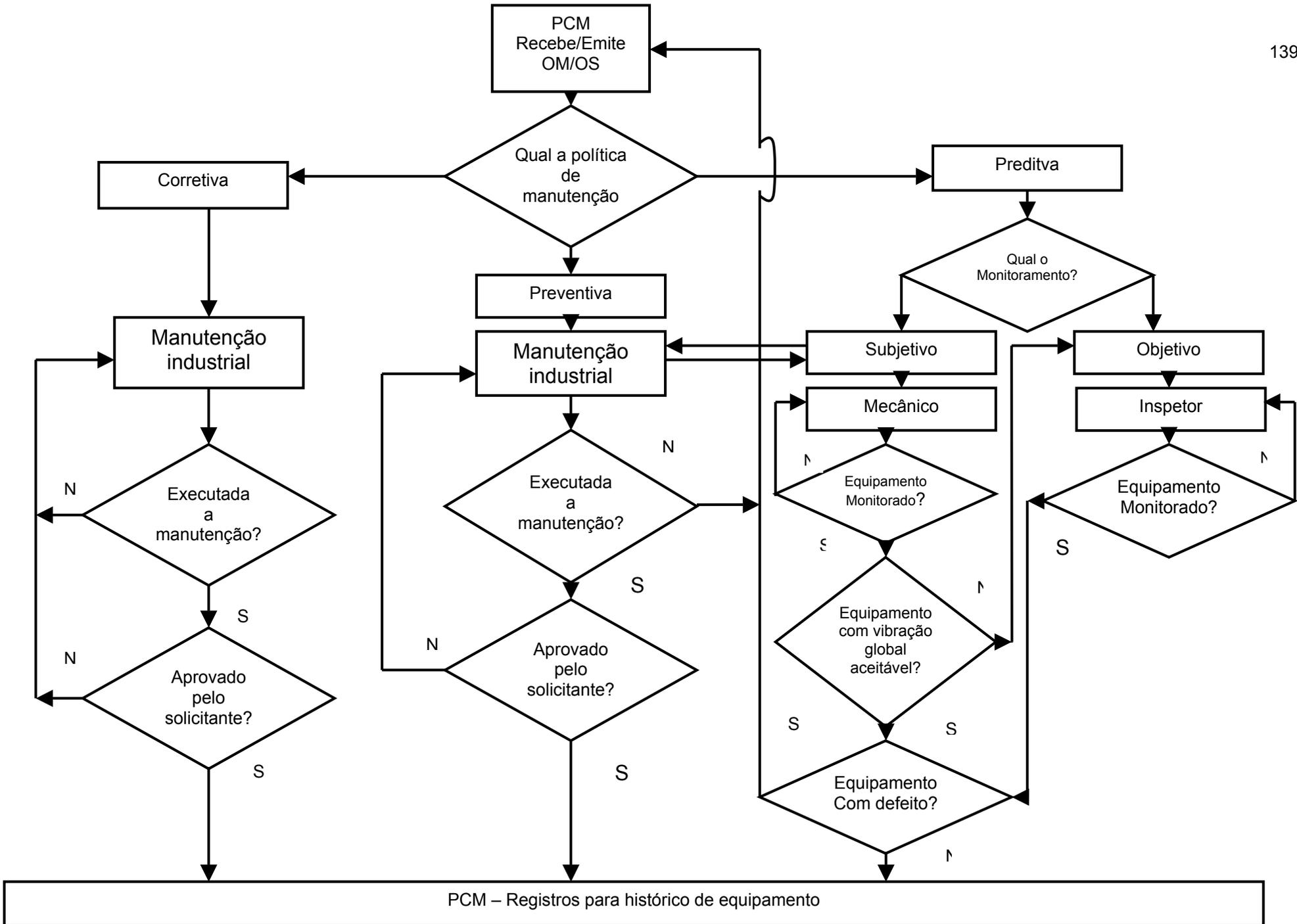


Figura 18: Macrofluxograma das atividades de manutenção

A Figura 18 apresenta o macrofluxograma das atividades de manutenção, atendendo uma sistemática das ordens de manutenção (OM) ou ordem de serviço (OS), onde o PCM recebe OS e emite OM, sendo que as OS's são emitidas pela operação e OM's pelo PCM. Quando a manutenção for corretiva, a operação emite OS diretamente para a manutenção industrial para execução imediata da ocorrência e, posteriormente, a manutenção industrial envia a OS para o PCM fazer os registros. Quando a OS é preventiva, ela é enviada ao PCM para planejamento e programação das atividades a serem realizadas.

O PCM emite periodicamente OM dos monitoramentos de acordo com a rota e envia para preditiva, sendo que, se for subjetivo, a preditiva envia para a manutenção industrial para que o mecânico realize o monitoramento subjetivo. Se detectado um ponto potencial de falha e não necessitar de análise objetiva, ela é enviada ao PCM para registrar, planejar e programar a manutenção preventiva, e gerar outra OM para realizar a correção da falha detectada. Se houver necessidade de análise objetiva para poder identificar o problema, a OM é enviada para o monitoramento objetivo e será realizada pelo inspetor.

Observa-se que a manutenção preventiva será realizada sempre após detectar ponto potencial de falha pelo monitoramento objetivo ou subjetivo e também, quando programado pelo PCM, os equipamentos cuja frequência de quebra é conhecida.

Através do monitoramento subjetivo, atendendo esta sistemática, é possível se ter um número maior de equipamentos monitorados, possibilitando conhecer as condições operacionais proporcionando disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e instalações.

4.3. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM)

Nesta proposta o PCM terá a responsabilidade pelo gerenciamento do processo de manutenção, cabendo a ele planejar, organizar e programar as atividades de manutenção, distribuindo os serviços das OS's recebidas e as

OM's emitidas, através do sistema informatizado da manutenção. Além de toda organização voltada para a manutenção, o PCM estará no mesmo nível hierárquico que o PCP, que em conjunto, elaborarão os planos para alcançar as metas estabelecidas pela diretoria industrial.

Com a estrutura de planejamento e programação de manutenção implementada e consolidada, a direção e gerência, devem valorizar e estimular o desenvolvimento da cultura da manutenção planejada através da manutenção preditiva, por meio do monitoramento objetivo e subjetivo. A organização como um todo, deve empenhar-se para o aprimoramento desta atividade no processo de manutenção, para atender as necessidades operacionais

4.4. ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A engenharia de manutenção é de fundamental importância no controle das atividades de manutenção, coordenadas por ela, conforme apresentado na Figura 17.

As equipes designadas para atuar nesta área, devem coordenar os trabalhos para buscar os melhores resultados para a organização, deixando de consertar continuamente e de conviver com problemas crônicos, para procurar as causas básicas, modificando situações permanentes de mau desempenho, melhorado padrões e sistemáticas utilizadas, dando retorno ao projeto e interferindo tecnicamente nas compras, buscando técnicas modernas de manutenção e lubrificação industrial (PINTO E XAVIER, 1999).

Nesta proposta, a engenharia de manutenção terá a responsabilidade de gerenciamento das atividades de manutenção, e no monitoramento objetivo além dos equipamentos rotativos, também se responsabiliza pelos equipamentos estáticos mecânicos relacionados com a Norma Regulamentadora NR-13, como também os equipamentos elétricos de

potência, proteção e controle, monitorados por termografia. Sejam por mão de obra própria ou contratada.

Para Calligaro (2003) outra importante função da engenharia de manutenção, em conjunto com a engenharia industrial, é a conversão do aprendizado obtido com a operação, manutenção e melhoria dos equipamentos, em especificação e padrões para aquisição de novos equipamentos, sobressalentes, assim como, o recebimento, avaliação e condicionamento de novas instalações, assegurando-se o atendimento as exigências pré-estabelecidas

4.5. PLANOS DE MANUTENÇÃO

Com o objetivo de se ter disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e instalações, se faz necessário ter planos de manutenção na busca constante de melhorias. Os planos de manutenção de acordo com Viana (2002), são o conjunto de informações, para a orientação das atividades de manutenção, sejam elas corretivas, preventivas, preditivas ou detectivas, de maneira a dar uma maior eficiência as ações detecção de falhas e quebras e, por conseguinte, garantir a alocação de todos os recurso necessários para a execução dos serviços.

Os planos de manutenção para atender as necessidades de um processo produtivo no contexto da proposta deste trabalho, são divididas em quatro categorias, conforme segue:

- Plano de lubrificação: a lubrificação de uma planta é de fundamental importância para a conservação de elementos mecânicos de máquinas e equipamentos, com o objetivo de reduzir o atrito entre superfícies, evitando desgastes e temperaturas indesejadas, desde que atendidas as recomendações do fabricante e o plano de lubrificação. Embora a lubrificação não seja o foco deste trabalho, vale ressaltar que por meio dela, pode ser encontrada alguma anomalia em equipamento, pelo

lubrificador, sendo ele, um grande inspetor durante a realização de sua atividade, porém, subjetivamente.

O roteiro para a lubrificação pode ser atendido com base em plano de lubrificação, conforme apresentado no Quadro 12, ou até mesmo por OM, uma vez implantado um programa informatizado no PCM.

PLANO DE LUBRIFICAÇÃO - 2006					
PLANTA:			UNIDADE:		
TAG	MÁQ/EQUIP. PONTOS A LUBRIFICAR	MÊS	LUBRIFICANTE INDICADO	FREQUENCIA	QUANTIDADE
XXX-0001	Redutor	Jan – Jul	Móbil 632	6 m	180 l
XXX-0002	Bomba vácuo	J-F-M-A-M-J-J-A	Mobilux EP2	1 m	50 g
XXX-0003	Mancal eixo	J-M-M-J-S-N	Mobilux EP2	3 m	30 g

Quadro 12: Plano de lubrificação

- Plano de manutenção preventiva: a manutenção preventiva será realizada sistematicamente, ou seja, em intervalos de tempo fixo, nos quais a ação é conhecida por prevenir diretamente as falhas, restaurando a capacidade inicial de um item físico ou componente existente antes ou no limite de tempo especificado, seja, por idade ou por conseqüência do processo produtivo. Neste plano as OM's são geradas periodicamente de forma automática no PCM. Deve ser observada alguma premissa para o melhor atendimento deste plano como, materiais sobressalentes disponíveis, equipe de manutenção definida por especialidade (mecânicos, eletricitas, etc...), EPI's informados, ferramentas necessárias para a execução dos serviços e, equipamentos de apoio (máquina de solda, guindaste, etc...) se for necessário, preparado.
- Plano de monitoramento objetivo para equipamento mecânico rotativo, estático, e elétrico de potência, proteção e controle: Este plano, também tem uma sistemática de intervalos pré-determinados, porém, será realizado com o equipamento em operação, atendendo uma programação pelo PCM de acordo com a rota de periodicidade de inspeção que serão executadas pelo inspetor de equipamentos.

Para os equipamentos estáticos, como caldeira, vasos sob pressão e válvulas de segurança, será observada uma periodicidade de acordo com a legislação (NR-13), buscando com este plano a integridade física das pessoas e a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos e instalações. Tanto para esses equipamentos como, para os equipamentos rotativos, o plano visa monitorá-los de forma, a acompanhar as condições operacionais, avaliando-os na busca de possível falha potencial, e quando encontrada, serão anotadas na OM do equipamento e devolvidas ao PCM para as providencias de planejamento e programação para corrigir a falha encontrada. Serão devolvida, tanto esta, como as outras OM's sem falha potencial encontrada.

- Plano de monitoramento subjetivo para equipamento rotativo: o monitoramento subjetivo por meio dos sentidos humanos, é uma técnica muito valiosa para a manutenção, necessitando, também, de uma sistemática, da mesma forma que a objetiva, realizada com o equipamento em operação. Este monitoramento será simplesmente pela técnica visual, mas com grande valor, no sentido de encontrar falha potencial, evitando as paradas inesperadas. O plano deve ser feito mediante ao fluxograma de processo produtivo da planta, onde poderá ser identificado o equipamento a ser monitorado, observando que os equipamentos prioritários e importantes para o processo produtivo estarão na rota de monitoramento objetivo.

O critério que se deve usar para este monitoramento é observar os equipamentos que operam continuamente e não fazem parte de outro plano de manutenção. Assim, pode-se ter uma grande quantidade de equipamentos monitorados. Uma vez criada a rota de monitoramento subjetivo, deve-se obedecer a uma periodicidade mensal, bimestral ou trimestral, de acordo com os problemas que poderiam ocorrer (vazamentos, condição de conservação, etc...) e ser visualizados.

Neste plano pode-se também considerar a observação de ruído, temperatura e vibração global, sempre por meio de uma OM, onde deverá ser anotada a ocorrência. Recomenda-se ter uma OM para cada equipamento, possibilitando o registro para histórico de equipamento.

O quadro 13, apresenta o modelo de OM, tanto para o monitoramento objetivo como subjetivo.

MONITORAMENTO: Subjetivo			
OM NÚMERO: 54326			
OFICINA: Mecânica			
EQUIPAMENTO: Bomba centrífuga envia água gelada			
TAG: BO-FIO-025			
CENTRO DE CUSTO: 62185080			
MÊS PROGRAMADO: Fevereiro/2006			
ATIVIDADE		SITUAÇÃO	
1 – Mecânico – Estado de conservação		Normal	
2 – Mecânico – Vedação		Vazamento	
3 – Mecânico – Vibração global		Normal	
INSPECTOR NÚMERO	DATA	ÍNICIO	TÉRMINO
1331	01/02/2006	09:00	10:00
SINTOMA: Bomba com vazamento pela gaxeta			
CAUSA: Gaxetas danificadas			
HOUE INTERVENÇÃO: Sim			
QUAL: Engaxetou a bomba			
COMENTÁRIOS: A bomba ficou operando normalmente, porém, será acompanhada na próxima inspeção, caso continue com vazamento, deverá ser verificado a bucha do eixo.			

Quadro 13: Modelo de ordem de manutenção (OM)

Observa-se no quadro 13, a importância do preenchimento dos itens da OM, principalmente do item comentários, devido às decisões serem baseadas na análise de dados e informações.

Em resumo, a seqüência de atividades para utilização do monitoramento subjetivo, se aplica conforme apresenta a Figura 19.

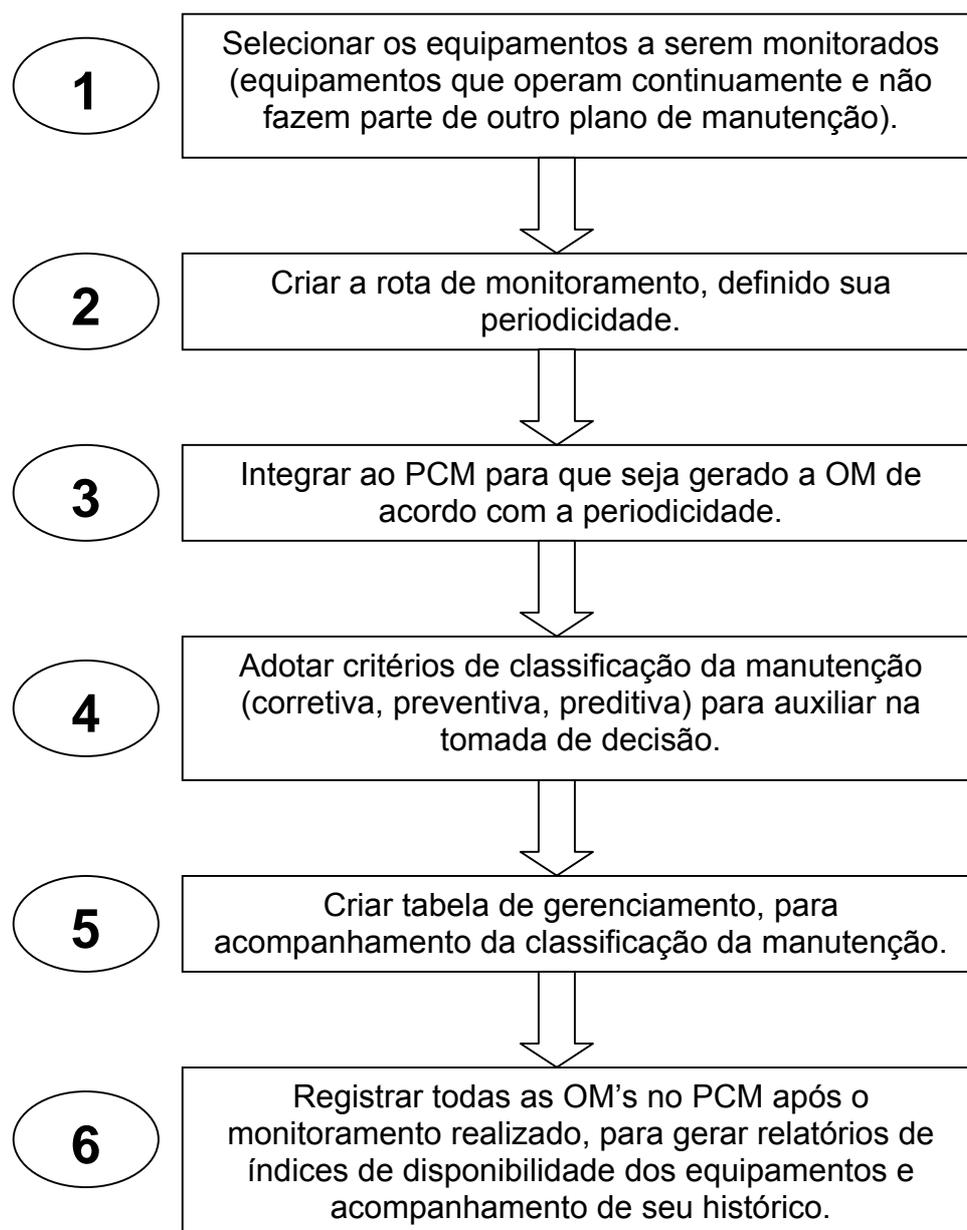


Figura 19: Seqüência de atividades para utilização do monitoramento subjetivo

4.6. IMPLEMENTAÇÃO DE MONITORAMENTO SUBJETIVO EM BOMBAS CENTRÍFUGAS

A implementação de monitoramento subjetivo em bombas centrífugas foi realizada em 2005 em uma empresa de processo contínuo de viscosa, localizada na cidade de Americana.

A empresa adota o sistema centralizado de gerenciamento da fábrica de viscosse, mantendo sob um único comando todas as áreas de manutenção e operação, subordinadas a Gerência da Fábrica, que responde ao Diretor Industrial, permitindo que a própria Gerência estabeleça as metas de produção, consultando ambas as áreas, quanto à capacidade das máquinas e seu estado.

O gerenciamento da manutenção é realizado no PCM, onde recebe todas as informações para orientarem tomadas de decisão, quanto à manutenção dos equipamentos, sendo através de controle computacional. Este sistema permite rápida obtenção de informações, e a alimentação do sistema é feita a partir das OM's preenchidas pelos inspetores, mecânicos e supervisores de operação. Há na empresa impressos tais como: requisição de materiais, pedido de serviço, ordem de manutenção e outros, que fornecem suporte necessário ao desenvolvimento das atividades de planejamento, programação e controle da manutenção. Outro setor importante para a manutenção é a usinagem, onde são feitas reformas e fabricação de peças.

O PCM mantém toda a programação de máquinas e equipamentos para ser realizada por meio do monitoramento objetivo e manutenção preventiva. A manutenção preventiva é executada através do cumprimento dos seguintes planos:

- Plano de lubrificação;
- Plano de monitoramento objetivo;
- Plano de paradas programadas;
- Controle de pendências de manutenção.

O plano de lubrificação consiste de uma programação definida em relação aos equipamentos, onde o lubrificador executa os trabalhos de acordo com esta programação.

O plano de monitoramento objetivo consiste de uma rota de inspeção programada sistematicamente por meio de OM.

O plano de parada programada e o controle de pendências de manutenção, são definidas em reunião constituída pela Gerência da Fábrica em conjunto com o PCM, manutenção e operação. Nesta reunião, em comum acordo com o grupo toma as decisões de paradas de máquinas para a manutenção com base nas OM's inspecionadas e as necessidades operacionais.

Nesta empresa se encontravam instalados 2.185 equipamentos, dos quais, 193 estavam sendo inspecionados, somente pelo monitoramento objetivo. Na necessidade de aumentar a quantidade de equipamentos sob controle, sem aumentar a demanda de serviços para a manutenção preditiva que era responsável por este monitoramento, iniciou-se a implementação do monitoramento subjetivo a ser realizado pelo mecânico de manutenção.

A implementação começou em bombas centrífugas devido não se ter o controle desejado e, nesta oportunidade, a empresa estava com 308 bombas instaladas e operando, divididas em 8 unidades diferentes, sendo uma delas escolhida para esta implementação, por ter o principal processo produtivo e contendo 41 bombas.

O objetivo foi mostrar que, com o monitoramento subjetivo, poderia se ter às necessidades atendidas com maior quantidade de equipamento sob controle, proporcionando maior confiabilidade e conseqüentemente, disponibilidade operacional. No inicio da implementação, houve um pouco de resistência pelo pessoal com maior tempo de casa, não entendendo a real necessidade. Mas, com o tempo, passaram a notar a diferença de se ter o controle e “chegar na frente” de um problema.

Para que não acontecesse nenhum esquecimento, foi criada a rota de monitoramento e integrado ao PCM no SIM (Sistema Informatizado de Manutenção), o qual enviaria de acordo com a periodicidade de cada bomba, a OM para a inspeção.

A inspeção sempre era feita pelo mecânico da unidade e anotada na OM a ocorrência encontrada. Por ser puramente subjetiva, adotaram-se alguns critérios para auxiliar na tomada de decisão, da seguinte forma:

a) Se a bomba fosse encontrada em condições normais de operação, sem nenhuma anomalia, esta bomba seria classificada como manutenção preditiva, acompanhada por condição.

b) Se a bomba fosse encontrada em condições de operação, porém com algumas anomalias notáveis como, vazamento, estado de conservação ruim, ruído excessivo, vibração excessiva, esta bomba seria classificada como manutenção preventiva, devendo ser programada sua manutenção, mas não com urgência.

c) Se a bomba fosse encontrada em péssimas condições de operação, com anomalias notáveis como vazamento exagerado, ruído exagerado, esta bomba seria classificada como manutenção corretiva e programada sua retirada imediatamente.

Em alguns casos, detectado vibração global alta, a OM era encaminhada para análise objetiva, para posterior tomada de decisão.

Com este critério adotado, passou-se a ter o controle efetivo de todas as bombas desta unidade, deixando de ter paradas inesperadas que, anteriormente a esta implementação, chegavam a aproximadamente 7 bombas paradas por ano, das quais 4 eram responsáveis pela alimentação de água das cortadeiras de viscosidade, causando perda de produção da ordem de 30 ton./dia. Adicionalmente, dependendo da quebra, tinha-se parada de até 2 dias, sem contar o custo de manutenção em mão de obra e materiais, ou seja, o transtorno para produção e manutenção custava em torno de R\$ 100.000,00 por ano. Como resultado deste controle, deixou-se de ter paradas inesperadas, mas notou-se uma variação da classificação do tipo de manutenção executado nas bombas, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Acompanhamento da classificação de manutenção das bombas

MÊS	MANUTENÇÃO DA BOMBA			TOTAL
	Mcorr	Mprev	Mpred	
Março	2	3	36	41
Junho	0	14	27	41
Setembro	2	9	30	41
Dezembro	3	10	28	41

A constante mudança da classificação de manutenção das bombas, inspecionadas subjetivamente pelo mecânico, apresentada na Tabela 3, deve-se ao fato de esta técnica ser puramente subjetiva, o que não implica na falta de credibilidade em sua realização.

Nesta empresa, encontravam-se instalados e operando 2.185 equipamentos, dos quais 521 passaram a serem monitorados subjetivamente após a implementação, obtendo-se resultados significativos, deixando de existir as perdas e custos apresentados anteriormente por paradas inesperadas. Ainda, continuaram sendo monitorados objetivamente os 193 equipamentos. Com esta implementação, passou-se a ter aproximadamente 35% dos equipamentos sob controle efetivo da manutenção, que antes eram somente 9%.

4.7. O MONITORAMENTO DA MANUTENÇÃO E SEUS RESULTADOS

O monitoramento visa manter sob controle a situação de disponibilidade e confiabilidade operacional de máquinas, equipamentos e instalações, através do acompanhamento de condição por meio de monitoramento objetivo (medição e análise de vibração, termografia, análise de óleo e tribologia, ensaio não destrutivo como medição de espessura e temperatura) e por monitoramento subjetivo pelo uso dos sentidos humanos (visão, audição, tato e olfato). As técnicas de manutenção preditiva são as mais freqüentemente utilizadas na busca dos melhores resultados operacionais.

Observou-se nesta implementação que, a equipe de manutenção passou a ter mais contato com o equipamento, proporcionando maior conhecimento sobre o

mesmo, passando a permitir cada vez mais, um diagnóstico preciso de um ponto potencial de falha detectado.

Dos 521 equipamentos que fizeram parte da rota de monitoramento subjetivo, pode-se citar outro resultado, além das bombas, que foi a eliminação de parada inesperada por quebra do transporte de álcali celulose por esteira metálica. Esta esteira somente ficou sob controle efetivo da manutenção, garantindo a disponibilidade, após ter sido incluída na rota de monitoramento subjetivo. A partir desta inclusão na rota subjetiva, passaram a serem identificadas anomalias como rompimento da esteira, cupilha de fixação, solda e desgaste, o que só foi possível com a inspeção visual e em pequenas paradas programadas.

Numa visão futura, a manutenção terá um papel fundamental no resultado das organizações, principalmente, devido o alto nível de automação que está em desenvolvimento nas plantas, observando uma necessidade de utilização da manutenção preditiva por meio de monitoramento.

O monitoramento se tornará mais econômico e mais estrategicamente importante, sendo realizado tanto objetivamente como subjetivamente, através de rotinas programadas pelo PCM e executada pela própria equipe de manutenção, implicando as seguintes tendências de acordo com Dunn (2002):

- Monitoramento de condição será considerado cada vez menos uma caixa preta, que requer especialista, de modo a obter coleção de dados de rotina e análise, apesar de ser necessário para executar análises mais complexas e não usuais;
- Operadores de produção aumentarão o uso de técnicas de monitoramento de condição, para determinar problemas potenciais em equipamento, tanto usando equipamentos manuais ou por sistemas de monitores permanente instalados e integrado com o sistema de controle de processo;

- Mecânicos aumentarão a utilização de técnicas de monitoramento de condição, para verificação de seu próprio trabalho, como por exemplo, checar alinhamento, balanceamento, etc...;
- Deverá ser reduzido foco no uso de técnica de monitoramento de condição, para prever falha de equipamentos e aumentar o foco na utilização de técnicas, para aumento de vida de componente e melhoria do desempenho do equipamento.

O monitoramento de condição de máquinas, equipamentos, instalações e o rendimento operacional de sistemas de processo produtivo, assegurarão o intervalo máximo entre os reparos, minimizando o número e o custo das paradas não programadas, criadas por falhas, e melhorará a disponibilidade operacional global das plantas operacionais.

O objetivo do monitoramento é eliminar a manutenção por paradas inesperadas e permitir que a manutenção seja realizada somente quando o sistema de monitoramento indicar a real necessidade.

5. CONCLUSÕES

Durante o desenvolvimento do trabalho, notou-se, na revisão bibliográfica, que os autores buscam de forma geral a manutenção preditiva por meio do monitoramento de condição, ou seja, monitoramento objetivo, a excelência em manutenção, e também, que a engenharia de manutenção deve assumir cada dia mais o destino da manutenção, sendo ela responsável pelos procedimentos e planos de manutenção.

A pesquisa realizada pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – Documento Nacional (2005), mostrou uma necessidade de melhorias nas indústrias brasileiras, no sentido de se ter maior aplicação dos recursos em manutenção preditiva.

Este trabalho procurou demonstrar que, por meio do monitoramento subjetivo, pode-se ter maior quantidade de equipamentos sob controle, sem necessidade de aumentar a demanda da manutenção preditiva e que, a manutenção como um processo pode ser capaz de propor melhorias consideráveis para uma organização, na busca da disponibilidade e confiabilidade operacional. A metodologia do processo de manutenção e dos monitoramentos proposto, mostrou que com algumas alterações em relação ao modelo praticado atualmente nas indústrias podem-se ter benefícios, com o PCM sendo responsável pelo processo da manutenção no mesmo nível hierárquico de um PCP, aliado à engenharia de manutenção e à manutenção industrial, buscando aumentar a quantidade de equipamentos sob controle, por meio do monitoramento objetivo e subjetivo, com credibilidade e segurança, desde que acompanhados de uma sistemática, integrado ao PCM.

Com a implementação do monitoramento subjetivo em bombas centrífugas, constatou-se na prática que, é uma importante técnica de acompanhamento de desempenho de equipamentos, que deve ser explorada pelas empresas,

principalmente em empresas de processo contínuo, onde muitos equipamentos se encontram fora de qualquer plano de manutenção.

Verificou-se, durante a implementação, a necessidade de, os conceitos e definições associados ao monitoramento subjetivo serem mais bem compreendidos por todos, evitando as resistências.

Sugere-se, para futuras implementações, avaliar o impacto individual do monitoramento objetivo e subjetivo nos índices e nos custos da manutenção, bem como definir que a equipe que irá trabalhar na implementação seja fortemente capacitada no assunto, com plena compreensão de seus propósitos, objetivos e definições, e das ferramentas utilizadas, que no caso são os sentidos humanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARONI T. A. D. e GOMES G. F., **Técnicas de Manutenção Preditiva**, In Curso de Inspeção de Equipamentos, ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, SP, outubro/2001.

BELHOT R. V. e CAMPOS F. C., **Relações entre Manutenção e Engenharia de Produção: Uma Reflexão**, Produção, v.5, nº 5, ABEPRO, novembro, 1995.

BELHOT R. V. e CARDOSO I. A. P., **Reflexos da Manutenção ao Contexto Global da Organização**, Metalurgia e Materiais, v. 50, nº 432, ano 1994.

BLOCH H. P., e GEITNER F. K., **Machinery Failure Analysis and Troubleshooting**, v. 2, Houston, Gulf Publishing Company, 1997.

BRANCO FILHO G. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**, Rio de Janeiro, ed. Ciência Moderna Ltda, 2000.

BRANCO FILHO G., **Indicadores e Índices de Manutenção**, in VII Congresso de Manutenção – SEMAPI, Campinas, São Paulo, Outubro, 2002.

CALLIGARO C., **Proposta de Fundamentos Habilitadores para a Gestão da Manutenção em Indústrias de Processamento Contínuo, Baseada nos Princípios da Manutenção de Classe Mundial**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2003

CARBONE L. C., **A Importância da Monitoração de Máquinas**, Nova Manutenção Y Qualidade, Ano 9, n. 42. 2002.

CARVALHO N. F., PALFI W., BRAMBILLA P. A., **Inspeção de Caldeiras e Vasos de Pressão**, Curso de Inspeção de Equipamentos, ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção, São Paulo, Outubro, 2002.

CASCONE N. R., **Metodologia para Análise e Otimização da Confiabilidade da Manutenibilidade e da Disponibilidade de um Processo Contínuo de Produção**, Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas, SP, outubro, 1992.

CHAGAS M. M., **Engenharia de Manutenção: Uma Ferramenta ao Alcance de Todos**, in 12 °Congresso Brasileiro de Manutenção, São Paulo, anais..., CD-ROM, 1997.

CHAINHO J. A. P., **Aspectos Gerenciais da Inspeção de Equipamentos**, Curso de Inspeção de Equipamentos, ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção, São Paulo, outubro, 2001.

COSTA NETO L. G., E LIMA C. R. C., **Manutenção Preditiva: Caminho para Excelência em Manutenção**, in VIII Encontro de Mestrando e III Encontro de Doutorando em Engenharia, Unimep, Anais... Santa Bárbara do Oeste, São Paulo, Abril, 2004.

DAVIES A., **Handbook of Condition Monitoring: Techniques and Methodology**, ed. Chapman e Hall, 1998

DOCUMENTO NACIONAL, **A Situação da Manutenção no Brasil**, ABRAMAN, Rio de Janeiro, 2005.

DUNN S., **Monitoramento de Condição no Século XXI**, disponível em <www.manter.com.br>, acesso em 14 de outubro de 2002.

ENGIPIPE, **Engenharia Industrial**, São Paulo, 2001.

GALLETO F., **Affidabilità**, v. I e II, ed. Cleup, Padova, Itália, 1987.

GUSMÃO C. A., **Índices de Desempenho da Manutenção: Um Enfoque Prático**, Revista Mantener, ano 1, n. 4, março, 2001.

GUSMÃO C. A., **Índices de Desempenho da Manutenção: Um Enfoque Prático**, Revista Manutenção n. 57, março/abril, 1996.

HANRATH H. D., **Seminário ASME Boiler and Pressure Vessel Code**, São Paulo, 1998.

KELLY A. e HARRIS, M. J., **Administração da Manutenção Industrial**, Tradução de Maio Amora Ramos, Instituto Brasileiro de Petróleo, Título Original: Management of Industrial Maintenance, Rio de Janeiro, 1980.

KNOW TRANFER, Assessoria e Consultoria, **Visão Histórica da Análise de Óleos Lubrificantes**, In Boletim Informativo 01/98, disponível em <www.ktl.com.br> acesso em 31 de outubro de 2002.

KRONER W., **Produtividade e Qualidade na Manutenção**, São Paulo, 1999.

LAFRAIA J. T. B., **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**, Rio de Janeiro – RJ, ed. Qualitymark: Petrobrás, 2001.

LIMA R. S., **TPM – Total Productive Maintenance**, Curso de Formação de Multiplicadores, Advanced Consulting & Training, Belo Horizonte, 2000.

LYRA R. P., **Prevenção de Acidentes em Vaso de Pressão**, 13º Seminário de Inspeção de Equipamentos, IBP, São Paulo, 1985.

MANUTENÇÃO MUNDIAL, **Defeito**, Disponível em <www.manutençãomuncial.com>, acesso em 23 de abril de 2005.

MARCONI M., A. e LAKATOS E. M., **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas; Amostragens e Técnicas de Pesquisa; Elaboração, Análise e Interpretação de dados**, 5º ed, Atlas, São Paulo, 2002.

MARRA J. L., **Medida de Vibração**, Teknikao, disponível em <www.cidase.com/tek/net01.html>, acesso em 31 de outubro de 2002.

MARZULLO JUNIOR, T., **A Manutenção como Estratégia na Cadeia de Suprimento**, MAN IT Gestão Manutenção, Disponível em <www.manut.com.br>, acesso em 23 de abril de 2005.

MICHAELIS Dic., disponível em <www.uol.com.br>, acesso em 20 de janeiro de 2003.

MIRSHAWKA V. e OLMEDO, N. L., **Manutenção Combate aos Custos da Não Eficácia: A vez do Brasil**, São Paulo, Makron Books, 1993.

MIRSHAWKA V., **Manutenção Preditiva: Caminho para Zero Defeito**, ed. Makron, McGraw-Hill, São Paulo, 1991.

MOBLEY R. K., **An Introduction to Predictive Maintenance**: Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

MONCHY F. A., **A Função Manutenção: Formação para Gerência da Manutenção Industrial**, São Paulo, ed. Durban Ltda, 1989.

MOUBRAY J., **Manutenção Centrada em Confiabilidade**, Tradução Kleber Siqueira, ed. Brasileira, Título Original: Reliability Centred Maintenance, Aladon, São Paulo, 2000.

MUASSAB J. R., **Gerenciamento da Manutenção na Indústria Automobilística**. Monografia de Especialização do Curso de MBA , Gerencia de Produção, Departamento de Economia, Confiabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, São Paulo 2002.

NAGAO S. K., **Manutenção Industrial: Análise, Diagnostica e Proposta de Melhoria de Performance em industrias de Processo**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1998.

NEPOMUCENO L. X., **Manutenção Preditiva em Instalações Industriais, Procedimentos Técnicos**, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1985.

NEPOMUCENO L. X., **Técnicas de Manutenção Preditiva – Vol. 1 e 2**. ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1989.

NORMA AMERICANA MIL-STD-217B, **Reliability Prediction of Eletronic Equipament**, setembro, 1974.

NORMA BRASILEIRA NBR-5462, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Confiabilidade e Manutenibilidade**, Rios de Janeiro, RJ, 1994.

NORMA BS-3811/74, **Maintenance Terms in Terotechnology**, British Standards Institution, 1974.

NORMA FRANCESA AFNOR X06-501, **Aplications de La Statistique: Introdutions a La Fiabilite**, 1984.

NORMA FRANCESA AFNOR X60-503, **Introduction à la Disponibilité**, 1985.

NORMA ITALIANA UNI-S-497, **Terminologia de Base per L’Affidabilita**, 1977.

PALMER DOC., **Maintenance Planning and Scheduling Handbook**, McGraw-Hill, 1999.

PICANÇO J. R., **Análise da Produtividade na Manutenção Industrial: Um Estudo de Caso no Núcleo de Manutenção da Deten Química S.A.** Dissertação de Mestrado da Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2003.

PINTO A k. & XAVIER J. N., **Manutenção Função Estratégica**, Rio de Janeiro, ed. Qualitymark, 1999.

PINTO A. K., **Gerenciamento Moderno da Manutenção**, In 10º Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – RJ, 1995.

PINTO A. K., XAVIER J. N., BARONI T. A. D., **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**, ed. Qualitymark, RJ, ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, 2002.

REYS M. A., **Determinação de Critérios para a Escolha de Metodologia de Manutenção**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica, outubro, 1995.

RIBEIRO L. A., **Inspeção de Tubulação e dutos**, In curso de Inspeção de Equipamentos, ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, SP, outubro/2001.

SANTOS I. S., **Metodologia para Otimização da Manutenção de Equipe e Sistemas**. Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas, SP, 1996.

SEXTO L. F., **Lá Útil Y Subestimada Inspección con los Sentidos**, disponível em <www.datastream.net/latinamerica>, acesso em 22 de novembro de 2002.

SIQUEIRA K., **Tecnologia da Manutenção**, Nova Manutenção Y Qualidade, ano 9, n. 42, 2002.

SLACK N. et al., **Administração da Produção**, São Paulo, Atlas, 1997.

SOUZA G. M., **Monitoramento de Máquinas**, Nova Manutenção Y Qualidade, ano 9, n. 42, 2002.

SOUZA F. A. S., **Monitoramento on-line Variáveis e Diagnósticos à Distância – Telediagnósticos**, in VII Congresso de Manutenção – SEMAPI, Campinas, São Paulo, outubro de 2002.

TAVARES L., **Administração Moderna da Manutenção**, ed. Novo Pólo, Publicações e Assessoria Ltda, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

TAVARES L., **Excelência na Manutenção: Estratégias para Otimização e Gerenciamento**, ed. Casa da Qualidade, Salvador, Bahia, 1996.

TELLES P. C. S., **Tubulações Industriais: Materiais, Projeto e Montagem**. 8º edição, Livros Técnicos e Científicos, editora S/A, 1994.

TRUJILLO G., **Lá Lubricación como Elemento Fundamental del Mantenimiento de Clase Mundial**, disponível em <www.datastream.nt/latinamerica>, acesso em 22 de novembro de 2002.

VIANA H. R. G., **PCM – Planejamento e Controle de Manutenção**, Rio de Janeiro, ed. Qualitymark, 2002.

WIREMAN T., **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**, Industrial Press, Inc., New York, 1998.

WIREMAN T., **World Class Maintenance Management**, 1st Ed, 1990.

WYRESBSKI J., **Manutenção Produtiva Total: Um Modelo Adaptado**, Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

XAVIER J. N., **Indicadores na Manutenção**, Manter, disponível em <www.manter.com.br>, acesso em 14/ de julho de 2002.

XAVIER J. N., **Manutenção Preditiva: Caminho para a Excelência**, Nova Manutenção y Qualidade, ano 11, ISSN 1413-4659, nº 52, 2004.

XENOS H. G., **Gerenciamento da Manutenção Produtiva**, ed. de Desenvolvimento Gerencia, Belo Horizonte, 1998.

ZAIOS D. R., **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.