



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

**IVAN BANDEIRA NOGUEIRA**

**METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO APLICADAS EM MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

**ACARAPE-CE  
2017**

**IVAN BANDEIRA NOGUEIRA**

**METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO APLICADAS EM MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rejane Félix Pereira**

**ACARAPE-CE  
2017**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema Integrado de Bibliotecas da Unilab(SIBIUNI)  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Nogueira, Ivan Bandeira.

N712m

Metodologias de manutenção aplicadas em maquinas e equipamentos de geração hidrelétrica / Ivan Bandeira Nogueira. - Acarape, 2017.  
57f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2017.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Rejane Félix Pereira.

1. Manutenção produtiva total. 2. Engenharia de manutenção.
  3. Geração hidrelétrica. I. Título
-

**IVAN BANDEIRA NOGUEIRA**

**METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO APLICADAS EM MÁQUINAS E  
EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 23/06/2017

**BANCA EXAMINADORA**



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Rejane Félix Pereira (IEDS /UNILAB)

Presidente da Banca Examinadora



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Silvia Helena Lima dos Santos (IEDS /UNILAB)

Membro da Banca Examinadora



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Juliana Alencar Firmo de Araújo (UNIFOR)

Membro da Banca Examinadora

"Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho." (Dalai Lama).

Ao meu pai (*in memoriam*) Agaci Gomes Nogueira e a minha mãe Tereza Bandeira Nogueira, por sempre me apoiarem, e pela educação que me tornou o homem que sou hoje.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a **DEUS** por sempre me abençoar, me dando saúde e sabedoria nas minhas decisões.

À minha mãe Tereza Bandeira Nogueira por sempre me apoiar, me entender e por todo amor e dedicação que sempre teve por mim.

*In memoriam* ao meu pai, Agaci Gomes Nogueira, falecido em dezembro de 2005, mas que sempre esteve ao meu lado me apoiando e incentivando o meu crescimento.

À minha noiva, Renara Mesquita da Costa, pela paciência, compreensão, apoio e amor.

Aos meus irmãos, Clodoaldo Bandeira, Angélica Bandeira, Wangeffem Bandeira e Jesuleide Bandeira, pelo apoio, pela ajuda e por sempre estarem ao meu lado.

Aos meus amados sobrinhos, Hevillen Karem Bandeira, Ana Roberta Bandeira, Izabelle Bandeira, Wanmilly Nogueira, Ávila Nogueira, Álvaro Nogueira e ao Igor Oliveira, marido de minha sobrinha Ana Roberta. que sempre estiveram na torcida pelo sucesso.

Às minhas cunhadas, Maria de Fátima, Alvanir Rodrigues, Renata Mesquita.

Aos meus sogros Sr. Sergio Inácio e Sra. Lucila Mesquita da Costa, que tenho como pais pois também sempre me apoiam.

Aos meus amigos de infância, por sempre dividirmos momentos alegres, obstáculos, mas sempre estivemos juntos acompanhando o crescimento de cada um: Freitas, Clodoaldo Queiroz, Rafael Florêncio, Josuélio Braga, Geovani Moraes, Luís Américo, Valmir Junior e Aluísio Dodó.

Aos meus amigos, companheiros de graduação, com quem vivenciei muitos momentos, muitas vezes mais que a própria família, onde foi um grande aprendizado para nossa vida pessoal e profissional, pois compartilhamos momentos alegres, tensos, choros, risos, ao qual serão lembrados por toda nossa vida: Francisco Aldemario, Mardônio Rodrigues, Everton Deangeles, Marcelo Rodrigues, Alysson Christian, Felipe Barbosa, Guilherme Menezes, Milton Honório, Jairo Lima, Marcos Tadeu, Matheus Melo, Franciélío

Lima, Adriano Mendonça, Pedro Henrique, Mabrysa Torres, Verônica Dantas e Lidiana Sabino.

Aos meus professores e todos que formam o corpo docente do curso de Engenharia de Energias pela dedicação, profissionalismo, amor e satisfação em exercer a profissão, fundamentais para a formação pessoal e profissional dos estudantes.

À minha professora orientadora Rejane Félix, pelo apoio, atenção, dedicação, proporcionando as ferramentas necessárias para o desenvolvimento e realização deste trabalho.

Ao Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) que sempre buscou melhorias para o desenvolvimento do curso, para o bem estar dos estudantes e professores a fim de que se utilizassem das melhores ferramentas possíveis para nosso desempenho, professores George Mamede, Cicero Saraiva, Alisson Pessoa, bem como aos colaboradores: Fabiana, Lucas, Vinicius, Samara e a todos que formam o IEDS.

A todos que, indireta e diretamente, estão ligados a minha vida e que sempre torceram pelo meu sucesso e bem estar.

À Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira – UNILAB, por me proporcionar o orgulho de ser parte da história da universidade, como fazer parte da primeira turma do Curso de Engenharia de Energias.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar e apresentar os conhecimentos em gestão da manutenção já publicados em artigos periódicos, dissertações, revistas, livros e relatórios técnicos, resumindo-se as práticas já publicadas. Constituiu-se em um trabalho de levantamento bibliográfico, pesquisa, observação, análise, classificação e interpretação dos fatos coletados – pesquisa sobre tipos de manutenções e das ferramentas e dos métodos de gerenciamento da manutenção de máquinas e equipamentos, fazendo uma abordagem das principais ferramentas utilizadas para esse trabalho, mostrando como é importante para garantir a confiabilidade e segurança dos aparelhamentos, melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção evitando desperdícios. Para prevenir possíveis falhas e quebras nos equipamentos a empresa deve elaborar uma política de manutenção corretiva, preventiva, preditiva e detectiva e lançar os custos e rateios de despesas da produção. Para tanto, são abordados inicialmente os conceitos da manutenção, assim como sua crescente relevância e destaque. A história da manutenção nas empresas vem evoluindo rapidamente, novas tecnologias vão surgindo e tendências da sociedade que exigem produtos mais baratos e de qualidade. Tais mudanças buscam diminuir os custos nas áreas de produção e aumentar a produtividade. Em seguida, são exploradas as ferramentas que facilitam o trabalho de manutenção. Finalmente, como contribuição e um dos principais resultados destacados no estudo, são apresentadas as ferramentas TPM. Na atualidade a Manutenção Produtiva Total (TPM – do inglês *Total Productive Maintenance*) tornou-se uma filosofia de grande importância para as empresas que procuram alcançar esta competitividade. Dessa forma, procura-se chamar atenção para a importância da manutenção preventiva nas indústrias, e o uso da Manutenção Produtiva Total nesse setor. Para contextualizar o tema, apresenta-se uma análise bibliográfica buscando um contexto histórico da manutenção Produtiva Total (TPM), e os oito pilares de aplicação da manutenção planejada, controle inicial, educação e treinamento, pilar manutenção da autonomia, pilar manutenção da qualidade, pilar administração e escritório, pilar higiene e segurança, pilar melhoria focada, e levantar uma reflexão para o uso desta filosofia nos dias atuais.

**Palavras-chave:** Engenharia de manutenção. Manutenção Produtiva Total (TPM). Geração hidrelétrica.

## ABSTRACT

The goal of this paper is to investigate and present the knowledge in maintenance management published in periodical articles, dissertations, magazines, books and technical reports, summarizing the practices published. It was a work of bibliographical research, survey, observation, analysis, classification and interpretation of the collected facts - research about kind of maintenance, tools and methods of management of maintenance of machines and equipment, doing an approach of the main tools used for this work, showing how important it is to promise the trust and safety of equipment, improve the quality and reduce production costs avoiding waste. To prevent possible failures and breakdowns in equipment, the company must develop a policy of corrective, preventive, predictive, detective and control the costs and divide of the production expenses. At first are presented the concepts of maintenance as well as their increasing relevance and prominence. The history of enterprise maintenance has been evolving rapidly, new technologies are emerging and societal trends that demand cheaper products but with quality. Those changes seek to reduce costs in the areas of production and increase productivity. After that be explored the tools that facilitate the maintenance work. Finally, how contributions and one of the main results highlighted in the study, TPM tools are presented. Currently, the Total Productive Maintenance (TPM) has become a philosophy of big importance for companies which wish to reach this competitiveness. This way, it's shown the importance of preventive maintenance in industries, and the use of Total Productive Maintenance in this sector. To contextualize the issue a bibliographical analysis is presented looking for a historical context of Total Productive Maintenance (TPM), and the eight pillars of application of planned maintenance: initial control, education and training, maintenance of autonomy, quality maintenance Pillar, Pillar management and office, pillar hygiene and safety, pillar focused improvement and raise a reflection for the use of this philosophy in the current days.

**Keywords:** Maintenance engineering. Total Productive Maintenance (TPM). Hydroelectric generation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Organização do conhecimento para definição do melhor sistema de gestão da manutenção.....	20
Figura 02 – Tipos de manutenção.....	25
Figura 03 – Sistemática para avaliação da melhor técnica de manutenção.....	27
Figura 04 - Curva da banheira – equipamentos eletrônicos .....	29
Figura 05 - Curva da banheira – equipamentos mecânicos .....	29
Figura 06 – Ciclo PDCA .....	34
Figura 07 - Evolução dos tipos de manutenção.....	42
Figura 08 – Geração da manutenção. ....	43
Figura 09- Falhas invisíveis, <i>iceberg</i> .....	46
Figura 10- Pilares TPM .....	47
Figura 11- Analogia entre a saúde humana e a saúde da máquina .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**CCQ** – Círculo de Controle da Qualidade

**FMEA** – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise do Tipo e Efeito de Falha)

**JIPM** – *Japan Institute of Plant Maintenance* (Instituto Japonês de Manutenção de Planta)

**MASP** (Método de Análise e Solução de Problemas),

**PCM** – Planejamento e Controle da Manutenção

**PDCA** (Método de Controle de Processos),

**RCFA** – *Root Cause Failure Analysis* (Análise da Causa Raiz da Falha)

**RCM** – Reliability-Centered Maintenance (Manutenção Centrada à Confiabilidade)

**TPM** – Total Productive Maintenance (Manutenção Produtiva Total)

**TQC** – *Total Quality Control* (Controle de Qualidade Total)

**MCC** (Manutenção Centrada em Confiabilidade)

## SUMÁRIO

<b>1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>14</b>
1.1 Introdução .....	14
1.2 Objetivos geral.....	15
1.3 Objetivos Específicos .....	15
1.4 Justificativa.....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Manutenção de equipamentos .....	17
2.1.1 Histórico da Manutenção .....	17
2.1.2 Tipos de manutenção e sua importância .....	21
2.1.3 Manutenção corretiva não planejada.....	22
2.1.4 Manutenção corretiva planejada.....	23
2.1.5 Manutenção preventiva .....	23
2.1.6 Manutenção preditiva .....	26
2.1.7 Manutenção detectiva.....	28
2.1.8 Engenharia de manutenção .....	29
2.2 Objetivos da manutenção .....	30
2.3. Ferramentas da manutenção .....	31
2.3.1 Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP .....	32
2.3.2. Método gerencial de controle de processos (PDCA) .....	33
2.3.3.Failure Mode and Effects Analysis – FMEA.....	35
2.3.4 Root Cause Failure Analysis – RCFA .....	37
2.3.5 Fault Tree Analysis – FTA .....	37
2.4 Ferramentas para aumento da confiabilidade.....	37
<b>3 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO APLICADOS EM EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA .....</b>	<b>39</b>
3.1Manutenção Produtiva Total (TPM).....	41

<i>3.1.1 Objetivos da TPM</i> .....	44
<i>3.1.2 As melhorias devem ser conseguidas por meio dos seguintes passos</i> .....	44
<i>3.1.3 Aplicar o programa dos oito S</i> .....	443
<i>3.1.4 Eliminar as seis grandes perdas</i> .....	45
<i>3.1.5 Motivos físicos</i> .....	46
<i>3.1.6 Motivos psicológicos</i> .....	465
<i>3.1.7 Os Oito Pilares da TPM</i> .....	47
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>53</b>

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1 Introdução

Desde a revolução industrial, o ser humano tem se preocupado em procurar caminhos de tornar cada vez mais eficazes os processos de modificação, ou seja, utilizar menores quantidades de recursos para mudar o estado ou a condição de algo a produzir. A primeira reação foi a crescente adoção da automação nas atividades de produção, e como consequência, altos investimentos em equipamentos. Assim, esperava-se conseguir retornos desses investimentos de forma mais acelerada, e que os equipamentos tivessem o maior resultado possível.

A necessidade de aumentar a produção desencadeou um novo olhar para as empresas, onde possibilitou acreditar que apenas em programar de forma correta a produção, acoplado a isso uma conservação atuante nos equipamentos em funcionamento, acomodaria uma produção eficiente, com qualidade e menos custos.

É de fundamental importância tomar conhecimento que o sucesso de uma empresa está atrelado a interação de todas as suas esferas de forma a atuar em benefício do objetivo organizacional. E, para assessorar e garantir a competitividade no mercado atuante, as empresas contemporâneas dispõem de duas ferramentas fundamentais: o planejamento e o controle. Estas se tornaram utensílios primordiais para todos os setores de uma organização, em especial no aprimoramento da manufatura.

O planejamento tem o objetivo promover uma visão estruturada e antecipada dos eventos que poderão ocorrer a curto, médio e longo prazos durante um processo produtivo. Como exemplo pode-se citar o planejamento das paradas de máquinas e equipamentos para manutenção. Já o controle, tem como objetivo medir, coletar e registrar informações sobre um processo produtivo, fornecendo indicadores para que se possa prever e evitar a propagação de erros.

Um programa de controle de manutenção (PCM) é altamente importante para uma empresa/indústria, pois, quando empregado de maneira adequada, pode proporcionar diversos benefícios, dentre os principais, pode-se citar:

- Redução dos custos de manutenção;
- Redução das paradas de manutenção dos equipamentos;
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos para produção.

Existem diversos métodos de manutenção e suas variações, os mais comuns são, manutenção preventiva, preditiva, corretiva, que estão descritas no capítulo 4, e a manutenção Produtiva Total, também conhecida como TPM, que está descrita no capítulo 5.

O objetivo global da Manutenção Produtiva Total (TPM) é a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais (máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos etc.) e em termos humanos (aprimoramento das capacitações pessoais envolvendo conhecimento, habilidades e atitudes). A meta ser alcançada é o rendimento operacional global.

Existem ainda, diversas ferramentas que podem ser aplicadas na manutenção, dentre elas: Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP, *Failure Mode and Effects Analysis* – FMEA, *Root Cause Failure Analysis* – RCFA, *Fault Tree Analysis* – FTA, todas descritas no capítulo 4.

Para realização deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica em diversas obras publicadas, tais como artigos de periódicos, livros, dissertações e teses, com o objetivo identificar experiências de aplicação relacionadas às centrais hidrelétricas.

## **1.2 Objetivos geral**

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre o gerenciamento da manutenção de máquinas e equipamentos, fazendo uma abordagem das ferramentas utilizadas na manutenção de equipamentos, procurando demonstrar os cuidados necessários direcionados a um sistema de manutenção aplicado em equipamentos de geração de energia hidrelétrica.

## **1.3 Objetivos Específicos**

Com base nas pesquisas no âmbito da manutenção os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Mostrar os tipos de manutenção;
- Identificar as vantagens e desvantagens da manutenção;
- Apresentar os planos de gestão de manutenção.

#### **1.4 Justificativa**

O aumento da competitividade da indústria no mercado teve como uma de suas consequências mais expressivas, a maior importância concedida ao gerenciamento da produção que, acompanhado com os avanços tecnológicos, levam a uma reavaliação de vários conceitos e práticas no setor. Este avanço justifica a implantação de novos sistemas, estágios e inovações no setor de manutenção que proporcione ferramentas para o setor industrial, hidrelétrico, otimizando o tempo e o custo, maximizando os lucros, a qualidade de produção dos produtos, como também aumentando o tempo de vida útil das máquinas e equipamentos.

A proposta deste trabalho se justifica ainda pelas grandes oportunidades que rodeiam o setor de manutenção, haja vista, a gestão estratégica deste setor ainda ser pouco praticada no Brasil, e muitas empresas ainda não possuem controle de suas atividades neste âmbito, concentrando suas práticas em manutenções corretivas, sem indagar se realmente tais práticas otimizam seus ganhos. Há uma crescente demanda por sistemas de manutenção eficientes e economicamente viáveis.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA**

### **2.1 Manutenção de equipamentos**

#### *2.1.1 Histórico da Manutenção*

A manutenção tem o objetivo de conservar os equipamentos e instalações em condições satisfatórias de operação, para garantir a obtenção de produtos cujo resultado final é o lucro proveniente do trabalho executado (NEPOMUCENO, 1999).

Conforme Tavares (1998), a história da manutenção acompanha o desenvolvimento técnico industrial da humanidade. No fim do século XIX, com a mecanização das indústrias, surgiu a necessidade dos primeiros reparos. Até 1914, a manutenção tinha importância secundária e era executada pelo mesmo efetivo de operação. Com o advento da primeira guerra mundial e a implantação da produção em série, instituída por Ford, as fábricas passaram a estabelecer programas mínimos de produção e, em consequência, sentiram necessidade de criar equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível.

Assim surgiu um órgão subordinado à operação, cujo objetivo básico era de execução da manutenção, hoje conhecida como manutenção corretiva. Esta situação se manteve até a década de 30, quando, em função da segunda guerra mundial e da necessidade de aumento de rapidez de produção, a alta administração industrial passou a se preocupar, não só em corrigir falhas, mas evitar que elas ocorressem, e o pessoal técnico de manutenção passou a desenvolver o processo de prevenção de avarias que, juntamente com a correção, completavam o quadro geral de manutenção, formando uma estrutura tão importante quanto à de operação.

Por volta de 1950, com o desenvolvimento da indústria para atender aos esforços pós-guerra, a evolução da aviação comercial e da indústria eletrônica, os gerentes de manutenção observaram que, em muitos casos, o tempo gasto para diagnosticar as falhas era maior do que o despendido na execução do reparo. Assim foram selecionados equipes de especialistas para compor um órgão de assessoramento chamado Engenharia de Manutenção com encargos de planejar e controlar a manutenção preventiva, e analisar causas e efeitos das avarias e os organogramas se subdividiram.

A partir de 1966, com a difusão dos computadores e a sofisticação dos instrumentos de proteção e medição, a engenharia de manutenção passou a desenvolver

critérios de predição ou previsão de falhas, visando à otimização da atuação das equipes de execução de manutenção. Esses critérios, conhecidos como manutenções preditiva ou preventiva, foram associados aos métodos de planejamento e controle de manutenção automatizado, reduzindo os encargos burocráticos dos executantes de manutenção. Estas atividades acarretaram o desmembramento da engenharia de manutenção que passou a ter duas equipes: a de estudos de ocorrências crônicas e a de PCM -Planejamento e Controle de Manutenção, esta última com a finalidade de desenvolver, programar e analisar os resultados dos sistemas automatizados de manutenção (TAVARES, 1998).

Ainda Tavares, “a partir de 1980 com o desenvolvimento dos microcomputadores, a custos reduzidos e linguagens simples, os órgãos de manutenção passaram a desenvolver e processar seus próprios programas, eliminando os inconvenientes da dependência de disponibilidade humana e de equipamentos para o atendimento as suas prioridades de processamento das informações pelo computador central, além de dificuldade de comunicação na transmissão de suas necessidades para o analista de sistemas, nem sempre familiarizada com a área de manutenção. Esta situação favoreceu o PCM que pôde melhor desempenhar suas funções de assessoramento aos gerentes, não só de manutenção, mas também, de operação e de produção. No final de século passado, com as exigências de aumento da qualidade dos produtos e serviços pelos consumidores, à manutenção passou a ser um elemento importante no desempenho dos equipamentos em grau equivalente ao que já vinha sendo praticado na operação. Em consequência o PCM (assim como a engenharia de manutenção) passou a desempenhar importantes funções estratégicas dentro da área de produção através do manejo das informações e da análise de resultados para auxiliar aos gerentes (produção, operação e manutenção) em suas missões de tomada de decisão, sendo então recomendado que tanto a engenharia de manutenção quanto o PCM passem a ocupar posição de “staff” a toda área de produção (nas empresas de processo ou serviço)”. (1998, p.13).

A manutenção de máquinas e equipamentos é importante para garantir a confiabilidade e segurança dos equipamentos, melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção evitando desperdícios. Para prevenir possíveis falhas e quebras nos equipamentos a empresa deve elaborar uma política de manutenção corretiva, preventiva, preditiva e detectiva e lançar os custos e rateios de despesas da produção.

Com a ampliação dos mercados de forma global, as pressões sobre as organizações de manufatura e serviços, para serem mais competitivas e oferecerem produtos e serviços de qualidade, cresceram ao ponto de expandir essa busca por otimização para muito além das fronteiras do “chão de fábrica”, envolvendo todos os setores da organização. Como resultado desse processo, a missão das funções de apoio ao processo produtivo, entre elas a

manutenção, passou a ter necessidade de estar alinhada com a melhoria contínua, que tem ocorrido em todas as áreas da organização. Xenos (1998) lembra que:

Tradicionalmente as atividades de manutenção eram consideradas como um mal necessário [...] Mais recentemente esta atitude em relação à Manutenção começou a mudar e hoje ela já é reconhecida como uma função estratégica. [...] até mesmo as pequenas interrupções da produção podem causar grandes prejuízos. Estes desafios industriais colocaram a Manutenção em evidência. A Manutenção é indispensável à produção e pode ser considerada como a base de toda atividade industrial.

O principal objetivo da manutenção é preservar a integridade funcional dos recursos envolvidos na produção ou operação de um serviço. Uma vez que a capacidade produtiva e operacional de uma organização está intimamente ligada à disponibilidade e confiabilidade de seus recursos, a manutenção passa, então, a desempenhar um papel estratégico, como fator capaz de oferecer um diferencial competitivo à organização (LEVITT, 1997; PALMER, 1999).

Segundo Giacomet (2001), manutenção é toda ação realizada em um equipamento, conjunto de peças, componentes, dispositivos, circuito ou estrutura que se esteja controlando, mantendo ou restaurando, a fim de que o mesmo permaneça em operação ou retorne a função requerida, ou seja, o conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado. O equipamento deve desempenhar sua função requerida com segurança e eficiência, considerando as condições operativas, econômicas e ambientais.

Para Tavares (1998), entende-se por manutenção todas as ações necessárias para que um item (equipamento, obra ou instalação) seja conservado ou restabelecido, de modo a poder permanecer de acordo com a condição especificada. Independente da definição que se utilize de manutenção percebe-se que as definições ora citadas neste capítulo utilizam a expressão “manter”, “restabelecer”, “conservar”, “restaurar” ou “preservar” a função requerida do ativo físico de um sistema.

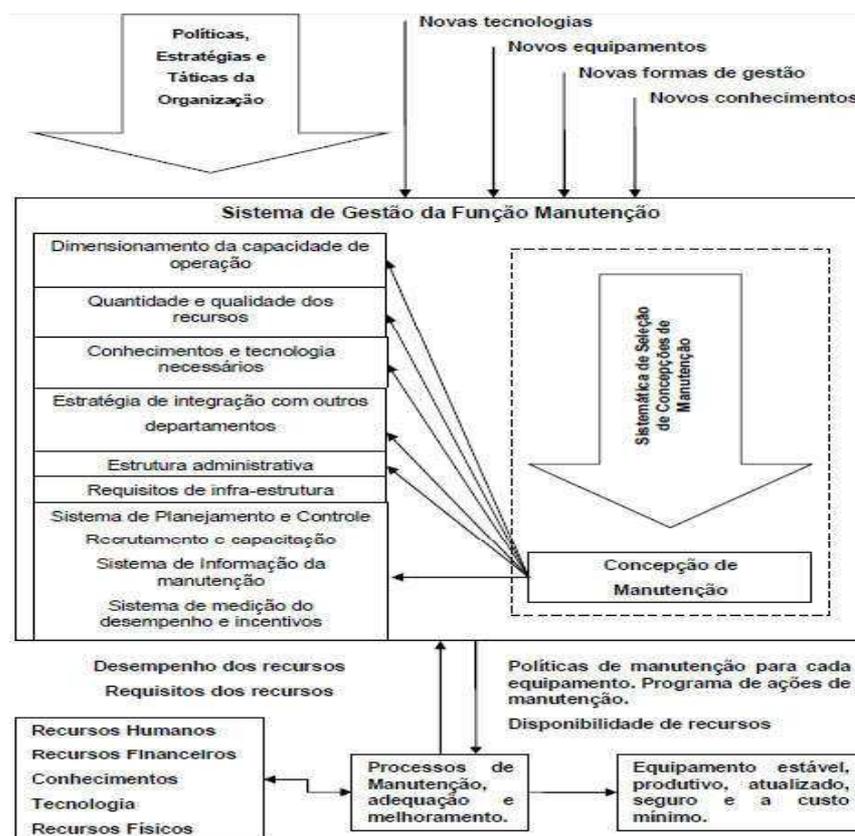
A função desempenhada pelo setor de manutenção deve ser considerada parte integral e fundamental da organização (MORROW, 1982), pois assegura a disponibilidade de equipamentos, instalações e serviços, indispensáveis no desenvolvimento de suas funções, justificando, assim, sua existência. A manutenção deve ser considerada uma organização funcional da estrutura que dirige uma parte das operações da empresa, na qual, com o

aumento da complexidade tecnológica, o setor de produção torna-se cada vez mais dependente do setor de manutenção.

A definição da concepção da manutenção reflete o que a empresa aguarda da função manutenção para alcançar os propósitos do negócio da empresa. As atividades da gestão manutenção não finalizam na definição da concepção, só é a primeira fase do processo.

Na figura 01 mostra-se o contexto da metodologia que auxiliará ao gestor da Função Manutenção na tarefa de decidir de escolher qual a concepção mais adequada de manutenção, para as características próprias da sua empresa e do entorno em que se desenvolvem as metas e propósitos da Produção.

Figura 01- Organização do conhecimento para definição do melhor sistema de gestão da manutenção.



Fonte: Adaptado de Fuentes, (2006)

A manutenção é uma atividade que, pela sua crescente importância e aumento da complexidade dos equipamentos, necessita do apoio e da cooperação mútua dos demais

setores, os quais precisam ter um perfeito entrosamento com o setor responsável por ela, a fim de terem um bom desempenho em suas funções (MORROW, 1982). Existem muitas formas de definir a manutenção, mas, para que haja uma uniformização dos conceitos. Neste trabalho serão utilizadas as definições estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994).

Segundo a ABNT, a manutenção é 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”.

De acordo com Wyrebski (1997), a conservação de instrumentos e ferramentas é uma prática observada, historicamente, desde os primórdios da civilização, mas, efetivamente, foi somente quando da invenção das primeiras máquinas têxteis, a vapor, no século XVI, que a função manutenção emerge. Naquela época, aquele que projetava as máquinas, treinava as pessoas para operarem e consertarem, intervindo apenas em casos mais complexos. Até então, o operador era o mantenedor - mecânico. Somente no último século, quando as máquinas passam a serem movidas, também, por motores elétricos, é que surge a figura do mantenedor eletricitista.

Conforme Xenos (1998), os dados registrados formam um importante repositório para análises ou podem servir de fonte para futuro aprendizado dos recursos humanos da manutenção.

As informações que formam o conhecimento e a experiência das equipes de manutenção sobre os equipamentos são oriundas, principalmente, dos registros de falha gerados através de sistemas de tratamento de falhas dos equipamentos. Os dados sobre falhas e sobre as melhorias introduzidas nos equipamentos existentes se tornam um valioso “aprendizado” para as equipes de manutenção (XENOS, 1998).

Dessa forma, com a necessidade de se manter em bom funcionamento em todo e qualquer equipamento, ferramenta ou dispositivo para uso no trabalho, em épocas de paz, ou em combates militares nos tempos de guerra, houve a conseqüente evolução das formas de manutenção.

### *2.1.2 Tipos de manutenção e sua importância*

Toda e qualquer empresa que fabrique algum produto, ou preste determinado tipo de serviço, e que utilize máquinas, equipamentos ou dispositivos depende de meios que permitam a produção ou prestação do serviço. Isso porque sempre surgem problemas, como

desgaste, quebra, fadiga e muitos outros incidentes observados durante os processos (NEPOMUCENO, 1989). Em razão disso, toda e qualquer máquina, equipamento ou instalação utilizados nesses processos necessita de algum tipo de manutenção.

Kardec e Nascif (1999) relatam algumas práticas básicas que definem os tipos principais de manutenção que são:

- Manutenção Corretiva não-Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção.

Nas palavras de Ariza (1982), a manutenção corretiva é também chamada manutenção de emergência por significar uma ocorrência de manutenção imprevisível ou inesperada que causa a indisponibilidade total ou parcial do equipamento, ou seja, devem ser tomadas as providências essenciais para que a máquina ou dispositivo volte a funcionar. Esta estratégia de manutenção é a mais antiga e mais elementar dentro de uma organização de manutenção, sendo indispensável a qualquer estrutura que deseje manter a operacionalidade de máquinas e equipamentos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) estabelece manutenção corretiva como sendo “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane1, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”.

A manutenção corretiva limita-se à espera da ocorrência de uma falha para, só então, ser posta em prática (SCHOEPS, 1975). É a manutenção que tem por objetivo restaurar um item, ou seja, é a correção ou reparo de um mau funcionamento devolvendo àquele, o mais próximo possível, seu estado inicial; inclui a detecção da falha ou disfunção, a correção e posterior verificação.

### *2.1.3 Manutenção corretiva não planejada*

Ao atuar em um equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado, estamos fazendo manutenção corretiva. Assim, a manutenção corretiva não é necessariamente, a manutenção de emergência. Convém observar que existem duas condições específicas que levam à manutenção corretiva (KARDEC e NASCIF, 1999):

- Desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais;

- Ocorrência da falha.

A manutenção corretiva caracteriza-se pela atuação em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Não há tempo para preparação do serviço. Infelizmente, ainda é mais praticada do que deveria (KARDEC e NASCIF, 1999). Concordando com a definição anterior, Mirshawka (1991) define a manutenção corretiva como uma atitude de reação aos eventos mais ou menos aleatórios e que se aplica após a avaria. O autor ressalta ainda que ao aplicar somente a manutenção corretiva, os custos aumentam de forma brutal à medida que os equipamentos ou aparelhos envelhecem.

#### *2.1.4 Manutenção corretiva planejada*

A manutenção corretiva planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra. Um trabalho planejado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planejado. E será sempre de melhor qualidade (KARDEC e NASCIF, 1999).

A adoção de uma política de manutenção corretiva planejada pode advir de vários fatores (KARDEC e NASCIF, 1999):

- Possibilidade de compartilhar a necessidade da intervenção com os interesses da produção;
- Aspectos relacionados com a segurança. A falha não provoca qualquer situação de risco para o pessoal ou para a instalação;
- Melhor planejamento de serviços;
- Garantia de existência de sobressalentes, equipamentos e ferramental;
- Existência de recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços e em quantidade suficiente, que podem, inclusive, ser buscados externamente à organização.

#### *2.1.5 Manutenção preventiva*

É uma atividade técnica de manutenção que tem como objetivo principal a prevenção da ocorrência de uma falha ou uma parada do equipamento por quebra. Para se definir o momento da troca de um componente com base na política de preventiva pode-se

utilizar o histórico do equipamento, a experiência da equipe ou orientações do fabricante que vão assegurar inclusive o direito a garantia do equipamento (ANTUNES, 2001).

Kardec e Nascif (1999) tratam a manutenção preventiva como uma atuação realizada que visa reduzir ou evitar, tanto a falha quanto a queda de desempenho, obedecendo a um plano estratégico previamente elaborado, e baseado em intervalos de tempo definidos. Ratificando a definição anterior, Mirshawka (1991) define manutenção preventiva como sendo a ação efetuada segundo critérios predeterminados, com a intenção de se reduzir a probabilidade de falha de um bem.

Nela a intervenção é feita em intervalos fixos, baseada em uma expectativa de vida mínima dos componentes. Estes intervalos são frequentemente determinados pela estatística e pela teoria da probabilidade.

A manutenção preventiva será mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança das pessoas e no sistema operacional (KARDEC e NASCIF, 1999).

De acordo com Black (1991), a manutenção preventiva é uma tarefa que projeta e aumenta a confiabilidade do equipamento. Sua programação deve ser designada ao engenheiro de produção, mantendo um alto nível de flexibilidade em blocos de tempo ou nos finais de semana, para não interferir na produtividade da empresa. O autor comenta alguns inconvenientes que podem surgir caso não haja uma manutenção preventiva eficiente, tais como:

- Perder tempo da produção devido a quebras de equipamento;
- Redução da vida útil do equipamento;
- Acidentes relacionados com segurança devido ao mau funcionamento do equipamento;
- Variação da qualidade do produto.

Conforme Black (1991), um programa cuidadosamente projetado e propriamente integrado requer uma atitude administrativa positiva, que irá estabelecer um programa de sucesso com benefícios a longo prazo, tais como:

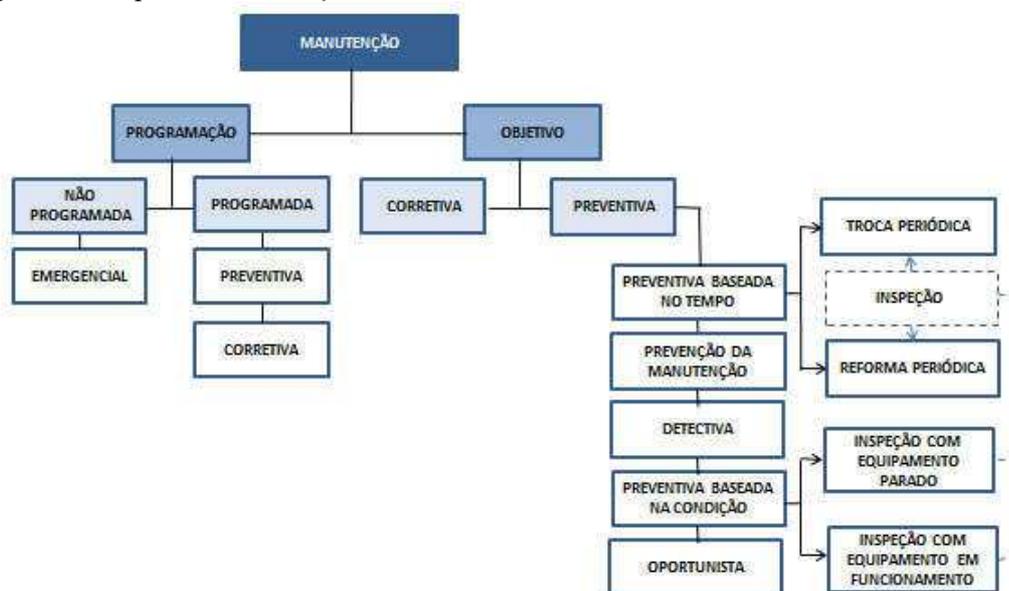
- O operador terá maior conhecimento de seu equipamento, sua operação e funcionamento, tendo maior responsabilidade pelo mesmo;

- Os processos estarão controlados por registros de máquinas e ferramentas da Manutenção Preventiva, melhorando sua qualidade;
- A qualidade, flexibilidade, segurança, confiabilidade e capacidade de produção são melhoradas;
- Equipamento confiável permite a redução do estoque.

Em contrapartida ao longo da vida útil do equipamento não pode ser descartada a ocorrência de falha entre duas intervenções preventivas, o que implica em uma ação corretiva (KARDEC e NASCIF, 1999).

Tradicionalmente a manutenção tem sido classificada como planejada e não planejada, ou ainda conforme seus objetivos, entretanto, ambas se estruturam a partir de duas formas básicas de atuação: a manutenção corretiva e a manutenção preventiva. Estas duas classificações podem ser observadas na figura 02.

Figura 02 – Tipos de manutenção



Fonte: Xenos(2004) e Siqueira(2005).

Quando ocorre a paralisação de um equipamento sem uma decisão gerencial, encontramos a manutenção não planejada, ou seja, as atividades de manutenção foram fracassadas. Um trabalho planejado é efetuado de forma organizada com previsão e controle das atividades, sendo executado com uma qualidade superior, rapidez, segurança e um custo menor que um trabalho não planejado (KARDEC, 2009; VIANA, 2009).

Segundo Siqueira (2005), a manutenção preventiva é sempre planejada, enquanto a corretiva pode ser planejada e não planejada, que é chamada de manutenção emergencial.

#### *2.1.6 Manutenção preditiva.*

A manutenção preditiva propõe ações de inspeção em tempos definidos, que indica as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que informam os seus desgastes ou processo de degradação. Diferentemente da preventiva que se baseia no tempo de vida estimado do componente, a preditiva baseia-se na análise de suas condições, permitindo a operação ininterrupta do equipamento durante o maior tempo possível, antes de uma intervenção corretiva planejada. (CAMARA et al, 2001).

No cenário da gestão da manutenção, a ação preditiva aparece como uma forma mais apurada de programar intervenções nos equipamentos. Consiste no acompanhamento da performance da máquina através da avaliação de alguns indicadores para a definição do momento correto da intervenção de manutenção.

Osada (1992) conceitua manutenção preditiva como sendo “uma filosofia que evita a tendência à super manutenção (por exemplo, a manutenção e os reparos excessivos) a que estão propensos os enfoques convencionais de manutenção preditiva. Também é uma filosofia de promoção de atividades econômicas de MP com base principalmente em uma pesquisa de engenharia sobre os ciclos de manutenção otimizados.”

Ainda Osada (1992) definiu oito metas para a manutenção preditiva:

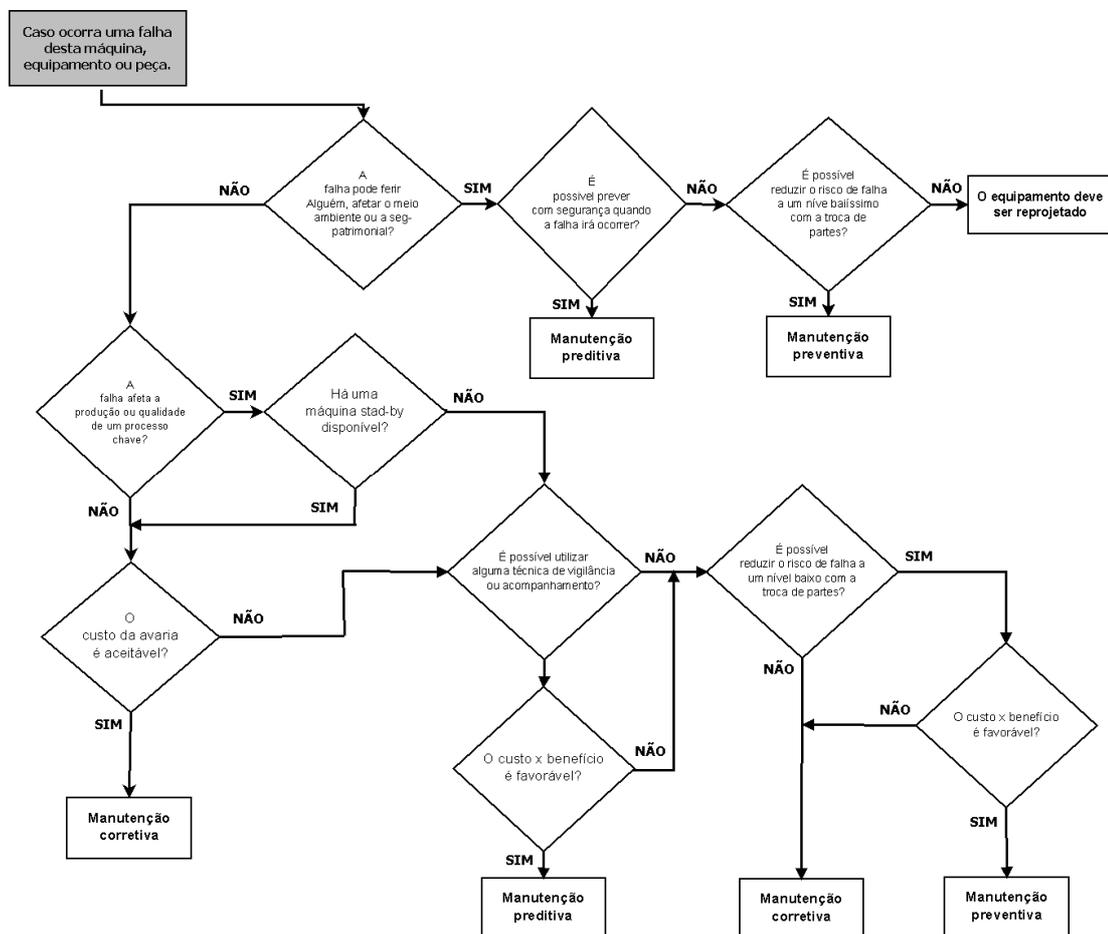
- Determinar o melhor período para manutenção;
- Reduzir o volume do trabalho de manutenção preventiva;
- Evitar avarias abruptas e reduzir o trabalho de manutenção não planejado;
- Aumentar a vida útil das máquinas, peças e componentes;
- Melhorar a taxa de operação eficaz do equipamento;
- Reduzir os custos de manutenção;
- Melhorar a qualidade do produto;
- Melhorar o nível de precisão da manutenção do equipamento.

Segundo Almeida (2000), a manutenção preditiva é um programa de manutenção preventiva acionado por condições. Ao invés de se fundar em estatística de vida média na planta industrial, por exemplo, tempo médio para falhar, para programar atividades de manutenção, a manutenção preditiva usa monitoramento direto das condições mecânicas, rendimento do sistema, e outros indicadores para determinar o tempo médio para falha real ou

perda de rendimento para cada máquina e sistema na planta industrial. Na melhor das hipóteses, os métodos tradicionais acionados por tempo garantem uma guia para intervalos normais de vida da máquina.

Os gestores de manutenção utilizam-se de algoritmos para a definição de qual tipo de manutenção será usado. A figura 3 mostra um dos possíveis fluxogramas para definição do tipo de manutenção.

Figura 03 – Sistemática para avaliação da melhor técnica de manutenção



Fonte: Adaptado de NEWMANN (2008)

Na metodologia demonstrada pela figura 03, são considerados em ordem de importância: a segurança do trabalhador, o quanto a máquina afeta o meio ambiente, a questão de segurança patrimonial, o quanto uma falha no equipamento impacta em custo, qualidade e o tempo de reparo e a questão custo x benefício.

A ideia central é que, a partir do momento em que ocorra a avaria, todas as questões citadas sejam analisadas de forma lógica, para depois fazer uso de uma das três abordagens de manutenção: manutenção corretiva, preditiva ou preventiva.

### *2.1.7 Manutenção detectiva*

A manutenção detectiva acompanha a evolução dos computadores e crescente automação dos processos de fabricação, ela utiliza de uma infinidade de componentes de controle que podem ser empregados como dispositivos de detecção nas máquinas e equipamentos. É efetuada em sistemas de proteção ou comando que procuram detectar falhas ocultas ou não perceptíveis às pessoas de operação e manutenção.

Esse conceito surgiu com as inovações produtivas realizadas pelos japoneses. Sua ideia está baseada no princípio de que os erros humanos são inevitáveis até certo grau, e que antes da falha, dispositivos alertem uma operação incorreta. Esses dispositivos incorporados ao sistema são chamados Poka-yoke, que podem ser sensores, interruptores, gabaritos, contadores digitais, listas de verificação, etc (SLACK et al, 2002).

Segundo Kardec e Nascif (1999), a manutenção detectiva é a atuação feita com sistemas de proteção para detectar falhas ocultas ou não perceptíveis. Sistemas projetados para atuar automaticamente na iminência de desvios que possam comprometer as máquinas ou a produção.

De acordo com Xavier (2003), essa definição é a atuação efetuada em sistemas de proteção ou comando, buscando detectarem falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital. Se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha o gerador não entra. À medida que aumenta a utilização de sistemas automatizados nas operações, o mais importante e mais utilizado será, garantindo a confiabilidade dos sistemas (XAVIER, 2003).

Por muito tempo, os planos e procedimentos de manutenção foram definidos com base no pressuposto, que a maioria dos equipamentos podem operar, por um determinado período de tempo, com probabilidade de falha constante (período de vida útil). No período inicial de operação, conhecido como “mortalidade infantil”, a probabilidade de falha é alta até atingir a de vida útil, devido a um processo de “amaciamento”. Mais tarde, em consequência do natural “envelhecimento”, a probabilidade de falha aumenta, novamente.

As curvas de variação da taxa da falha para equipamentos eletrônicos e mecânicos, denominada de ‘curva da banheira’, são apresentadas por Monchy (1989), como demonstrado nas figuras 04 e 05, respectivamente.

No gráfico, curva da banheira demonstra o comportamento do funcionamento dos equipamentos conforme seu funcionamento e eficiência. No gráfico mostra o comportamento das falhas em três etapas em que a primeira etapa chama-se de modalidade infantil durante esta etapa em que os defeitos e falhas são mais constantes devido as falhas de instalação, falhas no projeto, falhas de fabricação, falhas de projeto bem como de componentes inadequados, causando um alto índice de defeitos e falhas. Na segunda etapa, as falhas ocorrem poucas e aleatórias; nesta fase a taxa de falhas se estabiliza. E não ultima e terceira etapa as falhas ocorrem pelo desgaste do sistema bem como dos componentes, aumentando a taxa de falhas.

Figura 04 - Curva da banheira – equipamentos eletrônicos

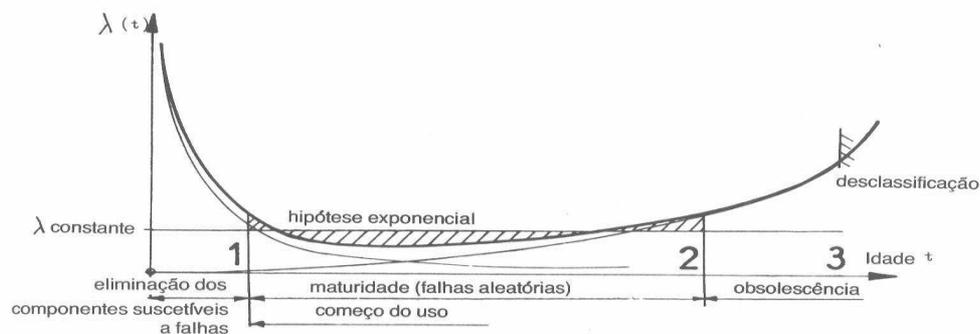
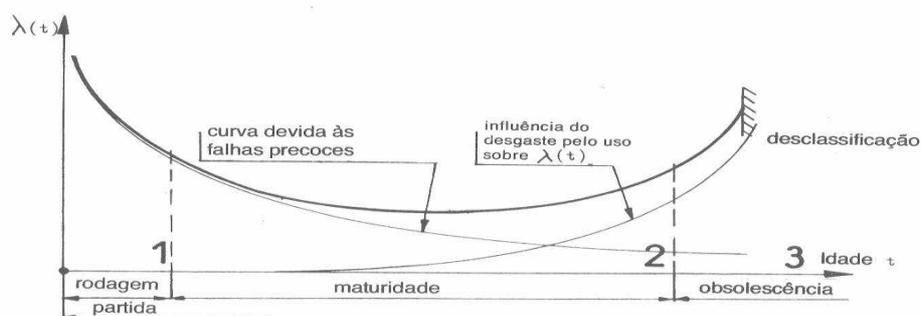


Figura 05 - Curva da banheira – equipamentos mecânicos



Fonte: Monchy (1989, p. 81).

### 2.1.8 Engenharia de manutenção

É o conjunto de atividades que permite que a confiabilidade seja aumentada e a disponibilidade garantida, ou seja, é deixar de ficar consertando — convivendo com problemas crônicos, mas melhorar padrões e sistemáticas, desenvolvendo a manutenibilidade,

dar feedback ao projeto e interferir tecnicamente nas compras. Quem só faz a manutenção corretiva continua “apagando incêndio”, e alcançando péssimos resultados. Desta forma, a organização que utilizar a manutenção corretiva, mas incorporando a preventiva e a preditiva, rapidamente estará executando a engenharia de manutenção (XAVIER, 2003, p. 5).

Kardec e Nascif (1999) definem engenharia de manutenção como um processo de mudança cultural, onde é preciso deixar de ficar consertando continuamente, tentar alterar situações de mau desempenho e melhorar padrões e sistemática. Nesta técnica desenvolvem-se métodos de manutenção baseados em técnicas usadas em empresas de Primeiro Mundo, visando aumentar a competitividade. Contrariando Kardec e Nascif (1999), Black (1991) defende que copiar técnicas de outras empresas não é uma boa estratégia. Este menciona que a empresa deve fazer pesquisas e desenvolver tecnologia de manufatura, considerando desde o projeto até a seleção do equipamento a ser comprado.

## 2.2 *Objetivos da manutenção*

De acordo com MONCHY (1987, p.3), o termo manutenção tem sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era manter nas unidades de combate o efetivo e o material num nível constante de aceitação.

SLACK *et al.* (2002) classificam os seguintes objetivos da manutenção:

- 1) **Redução de Custos:** através da manutenção preventiva podem-se reduzir defeitos, impactando em menos ações corretivas, as quais têm valor de custo mais elevado que as ações de prevenção;
- 2) **Maior qualidade de produtos:** equipamentos em estado perfeito de funcionamento garantem a qualidade dos produtos finais;
- 3) **Maior segurança:** setor produtivo limpo e em boas condições de operação propicia maior segurança, confiança e motivação aos trabalhadores;
- 4) **Melhor ambiente de trabalho:** ambiente de trabalho limpo, seguro e organizado através de atividades da Manutenção Autônoma, melhoram o nível de trabalho dos funcionários;
- 5) **Desenvolvimento profissional:** o programa de manutenção produtiva total desenvolve novas habilidades e também crescimento profissional aos trabalhadores pelo seu envolvimento direto nas decisões de aumento de produtividade da empresa;
- 6) **Maior vida útil dos equipamentos:** o programa objetiva o aumento da vida útil dos equipamentos, através de ações de prevenção e melhorias específicas nos equipamentos;

7) ***Maior confiabilidade dos equipamentos:*** equipamentos bem cuidados têm intervalos de tempo maiores de uma falha para outra, o que resulta em maior disponibilidade e velocidade de produção;

8) ***Instalações da produção com maior valorização:*** instalações bem mantidas têm maior valor de mercado;

9) ***Maior poder de investimento:*** a redução de custos obtida através da TPM tem relação direta com o aumento de investimentos, o que beneficia os acionistas, os funcionários e a comunidade ao entorno da empresa;

10) ***Preservação do meio ambiente:*** com o bom regulamento das máquinas, advindo da TPM, há economia de recursos naturais e diminuição dos impactos ambientais.

### *2.3. Ferramentas da manutenção*

Várias ferramentas gerenciais são colocadas à disposição do homem de manutenção, tais como: CCQ (Círculo de Controle de Qualidade), TPM (Manutenção Produtiva Total), GQT (Gestão de Qualidade Total), PDCA (Método de Controle de Processos), MASP (Método de Análise e Solução de Problemas), FMEA (Análise de Modo de Falha), RCFA (Análise de Causa Raiz de Falha), MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade), sendo importante saber que são simplesmente ferramentas e sua simples utilização não é sinônimo de resultados. Por outro lado, o uso adequado destas ferramentas pode levar a excelentes resultados, que podem contribuir para a qualidade na manutenção.

Conforme Pinto & Xavier (2001), o uso de instrumentos gerenciais que o homem de manutenção tem a sua disposição, como por exemplo, as ferramentas de qualidade, por serem somente ferramentas, por si só não garantem qualidade, porém a aplicação correta destas ferramentas pode levar a excelentes resultados.

A garantia da qualidade na manutenção será garantida com a participação e comprometimento das pessoas, mas não pode depender de determinadas pessoas, é preciso que haja procedimentos escritos e que as pessoas sejam treinadas neles.

Pinto & Xavier (2001:149) comentam que os princípios básicos da qualidade que se aplicam à atividade de manutenção, são os mesmos da gestão pela qualidade total, que são:

- Satisfação total dos clientes: a razão de ser da atividade de manutenção é a operação;
- Gerencia participativa: os gestores devem promover o trabalho em equipe;

- Desenvolvimento humano: o aprendizado contínuo é fundamental;
- Constância de propósito: mudança cultural, eliminando conceitos ultrapassados;
- Desenvolvimento contínuo: de onde se está e onde se quer chegar;
- Gerenciamento dos processos: planejar, acompanhar a execução, verificar e corrigir;
- Delegação: dar o poder de decisão para quem está perto de onde ocorre a ação;
- Disseminação das informações: rápida, clara e objetiva;
- Gerenciamento da rotina: garantir que o nível de qualidade será sempre mantido;
- Não aceitação de erros: fazer certo da primeira vez e sempre.

Portanto, o gerenciamento da manutenção deve deixar de ser extremamente técnico, dando maior importância à motivação de seus colaboradores.

As pessoas costumam alegar não ter tempo para mudar, para melhorar a qualidade, mas sempre têm tempo para fazer reparos e retrabalhos dos erros cometidos.

Não se pode deixar passar a adoção de novos paradigmas, a gestão da qualidade total e, sim, abrir os olhos para a competitividade, para não passar o negócio e o emprego.

### **2.3.1 Metodologia de Análise e Solução de Problemas – MASP**

O MASP é uma excelente ferramenta para praticar a análise de falhas. É conhecido pelos japoneses como QC Story (CAMPOS, 1994).

A metodologia deste processo de análise é baseada no método criado por Edwards Deming (1990), conhecido como ciclo PDCA. O ciclo PDCA – Plan (Planejar); Do (Executar); Check (Checar); Action (Agir Corretivamente).

Segundo Werkema (1995), o MASP, também denominado como ciclo PDCA de melhorias, consiste em uma sequência de procedimentos racionais, baseada em fatos e dados, que visa levantar a causa fundamental de um problema para combatê-lo e eliminá-lo.

O MASP é uma ferramenta aplicada de forma sistemática contra uma situação insatisfatória ou para atingimento de um objetivo de melhoria estabelecido. Estas situações são identificadas, eliminadas ou melhoradas, através de etapas pré-determinadas, com base no ciclo PDCA (ARIOLI, 1998).

Os problemas podem ser definidos como uma anomalia indesejável nos processos produtivos. Isso é extremamente prejudicial para qualquer ambiente produtivo, pois estas perdas somadas a outras oneram em grandes custos para uma empresa. Desta forma o MASP

surge com um objetivo principal: eliminar a possibilidade de reincidência de uma determinada anomalia, agindo sempre de acordo com a filosofia da melhoria contínua (CAMPOS, 2004).

Arioli (1998) afirma que o MASP funciona como uma ferramenta eficiente para gerar as melhorias, envolvendo um grupo de pessoas para tomar decisões, visando à qualidade dos produtos e serviços. Já para Sampara (2009), o objetivo do MASP é elevar a probabilidade de solucionar um problema, onde a solução é um processo que segue uma sequência lógica e racional.

Segundo Ferreira et al (2010), este método, para ser implantado, deve seguir várias etapas, são elas: identificação do problema, observação, análise, planejamento da ação, ação, verificação, padronização e conclusão. Ao seguir por todas as fases do ciclo PDCA, através das ferramentas da qualidade, o sistema de produção atinge um nível de qualidade superior, onde o surgimento de novos problemas será encarado como oportunidades de melhorias (TUBINO, 2009).

Cada etapa, para ser executada, necessita de uma ou mais ferramentas da qualidade e de um grupo de pessoas inseridos em um projeto de trabalho com um objetivo de atingir uma meta. Neste contexto, Corrêa (2004) afirma que o fundamental é ter pessoas capacitadas e envolvidas, pois as ferramentas da qualidade apenas apoiam e auxiliam na tomada das decisões.

### *2.3.2. Método gerencial de controle de processos (PDCA)*

De acordo com Werkema (1995:17), PDCA é um método gerencial de tomada de decisão para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma Organização. O controle de processos é exercido por meio do ciclo representado na figura 06, que corresponde a *Plan* (Planejamento), *Do* (Fazer), *Check* (Verificar) e *Action* (Atuação).

Figura 06 – Ciclo PDCA



Fonte: <http://www.portal-administracao.com/2014/08/ciclo-pdca-conceito-e-aplicacao.html>.

Ainda Werkema (1995:17) fala que segundo Ishikawa, K. (1989) e Campos (1994), o Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) é composto das seguintes etapas:

- **Planejamento (P):** consiste em estabelecer as metas e o método para alcançar as metas propostas;
- **Execução (D):** executa as tarefas exatamente como foi previsto na etapa de planejamento e coleta dados que serão utilizados na próxima etapa de verificação do processo. Na etapa de execução são essenciais a educação e o treinamento no trabalho;
- **Verificação (C):** a partir dos dados coletados na execução, compara o resultado alcançado com a meta planejada;
- **Atuação Corretiva (A):** consiste em atuar no processo em função dos resultados obtidos. Existem duas formas de atuação possíveis, podendo adotar como padrão o plano proposto, caso a meta tenha sido alcançada, ou agir sobre as causas do não atingimento da meta, caso o plano não tenha sido efetivo.

O ciclo PDCA é um método de gestão, representando o caminho a ser seguido para que as metas estabelecidas possam ser atingidas. Na utilização do método poderá ser

preciso empregar várias ferramentas para a coleta, como o processamento e a disposição das informações necessárias à condução das etapas do PDCA. Estas ferramentas são denominadas ferramentas da qualidade. Entre as ferramentas da qualidade as técnicas estatísticas são de especial importância, conforme afirma Werkema (1995), algumas destas técnicas são:

- Sete Ferramentas da Qualidade;
- Amostragem;
- Análise de Variância;
- Análise de Regressão;
- Planejamento de Experimentos;
- Otimização de Processos;
- Análise Multivariada;
- Confiabilidade.

Portanto, quanto mais informações (fatos e dados, conhecimentos) forem agregadas ao método, maiores serão as chances de alcance da meta e maior será a necessidade da utilização de ferramentas apropriadas para coletar, processar e dispor estas informações durante o giro do PDCA.

### *2.3.3. Failure Mode and Effects Analysis – FMEA*

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma NBR 5462 (1994), adota a sigla FMEA originária do inglês (Failure Mode and Effects Analysis). Ainda, segundo a norma, o FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto (NBR 5462, 1994).

De acordo com Pereira (2009), o objetivo do FMEA é de antecipar os potenciais de falha dos equipamentos e recomendar ações corretivas para eliminar ou amenizar seus efeitos. Já para Viana (2009) tem o objetivo de prevenir falhas indesejadas em processos e produtos, possibilitando prevenir estes inconvenientes. Será possível determinar os modos de falhas e suas consequências, indicando sua criticidade.

Zambrano (2007) e Cenelec (2006) afirmam que o FMEA é um grupo de atividades sistêmicas destinadas a:

- Reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto / processo e seus efeitos.

- Identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a chance da ocorrência da falha potencial.

- Documentar o processo.

Posteriormente, deve-se analisar se as ações recomendadas diminuíram a probabilidade de ocorrência da falha. Desta forma, a constante aplicação do FMEA resultará na melhoria contínua da organização (ZAMBRANO, 2007).

Kardec (2009) afirma que o FMEA parte da causa para chegar ao efeito, identificando e priorizando as falhas potenciais dos equipamentos. Devem-se formar grupos multidisciplinares, quanto mais pessoas envolvidas, mais preciso será o resultado. Desta forma, o autor estabelece uma sequência lógica de trabalho:

- Isolar e descrever o modo da falha potencial;
- Descrever o efeito potencial da falha;
- Determinar a frequência, a gravidade e a detectabilidade da falha;
- Determinar o número da prioridade do Risco;
- Desenvolver planos de ação para eliminar ou corrigir o problema potencial.

Para realizar uma análise crítica com aspectos quantitativos, foi criada o FMECA - Análise do modo efeito e criticidade das falhas (KARDEC, 2009). O FMEA é qualitativo e usado em projetos, e o FMECA é composto do FMEA mais a análise crítica. A análise crítica é um método quantitativo que classifica os modos e efeitos dos pontos críticos (TAVARES, 2005).

Para Cenelec (2006), as razões para adoção da Análise de Falhas, seja por Efeitos do Modo de Falha (FMEA) ou Efeitos do Modo de Falha e Análise de Criticidade (FMECA) podem incluir:

- Para identificar as falhas que têm efeitos indesejados sobre o funcionamento do sistema;
- Para satisfazer as exigências contratuais de um cliente, conforme o caso;
- Para permitir a melhoria da confiabilidade e a segurança do sistema;
- Para permitir a melhoria da capacidade de manutenção do sistema.

### 2.3.4 Root Cause Failure Analysis – RCFA

A análise da causa raiz da falha – RCFA. É um método sistemático que tem o objetivo de buscar a causa raiz do problema e propor ações apropriadas para evitar sua recorrência. É originário dos “5 porquês” associado ao TPM /TQM. É relativamente simples, e cada etapa deve responder a esta pergunta: Por quê? É recomendado repetir este processo até que a pergunta não faça mais sentido (KARDEC, 2009).

Márquez *et al.* (2009) cita que através da aplicação desta metodologia criará uma estratégia para a intervenção imediata nos pontos fracos de maior impacto. O RCFA é realizada uma análise dos fatos que giram em torno do problema (falha ou evento) discutido e, conseqüentemente, sobre a melhor alternativa de resolução.

### 2.3.5 Fault Tree Analysis – FTA

A análise da árvore de falhas (FTA), do original em inglês Fault Tree Analysis, é uma ferramenta consolidada para a obtenção de confiabilidade nas atividades de projeto, segurança de sistemas grandes e complexos e para a melhoria do controle de qualidade. Ela acompanha um defeito do equipamento até o nível de seus componentes, ou a previsão de falhas eminentes através do uso de diagrama lógicos e gráficos. O método inicia com uma falha, efeito ou evento, desta forma, estrutura-se uma árvore lógica para se obter as combinações de falhas que podem resultar em falhas, em todo o sistema, subsistema, módulo e componente (TAKAHASHI, 2000; LONG *et al.*, 2000; HUANQIU *et al.*, 1998; IRESON, 1996).

Esta árvore de falhas possibilita analisar as falhas de sistemas complexos de maneira simplificada, identificando as maneiras que um equipamento pode falhar e seus efeitos. A elaboração do diagrama tem uma das duas finalidades: Determinar os efeitos finais de uma falha ou determinar as possíveis causas das falhas (NEPOMUCENO, 1999).

## 2.4 Ferramentas para aumento da confiabilidade

Segundo Kardec e Nascif (1999), a manutenção precisa da junção de três palavras: confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Os autores as definem como:

- **Confiabilidade:** a possibilidade de um item desempenhar bem suas funções requeridas, por um intervalo de tempo estabelecido;

- **Disponibilidade:** o tempo em que o equipamento está disponível para operar em perfeitas condições de produzir;

- **Manutenibilidade:** a característica que um equipamento tem de permitir sua manutenção com maior ou menor facilidade.

De acordo com Slack *et al* (2002), raramente as falhas são resultados de aleatoriedade. A origem das falhas é primeiramente devido a algum tipo de erro humano, como por exemplo, um projeto ruim, uma manutenção inadequada, um erro na gestão de um programa de fornecimento, uma operação inadequada, instruções de uso imprecisas, entre outros. Isso significa que até certo ponto as falhas podem ser controladas, e que as organizações podem aprender com elas e conseqüentemente modificar seus comportamentos.

A falha pode ser definida como a interrupção da função requerida de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho definido (KARDEC e NASCIF, 1999).

- **Período de falha precoce:** é o período no qual a taxa de falha decresce rapidamente em comparação com os períodos subsequentes, sendo seu início estabelecido em um instante preciso, ou seja, quando a entidade deixa a fábrica ou é entregue;

- **Período de taxa de falha constante:** é o período durante o qual as taxas ocorrem a uma razão aproximadamente constante. Esse período é também conhecido por vida útil da entidade, e uma falha ocorrida aqui é usualmente catastrófica;

- **Período de falha por desgaste:** é o período no qual a taxa de falha cresce rapidamente em comparação com os períodos precedentes.

Na tentativa de evitar que falhas potenciais aconteçam foram desenvolvidas ferramentas para aumentar a confiabilidade. Neste contexto surgiram os métodos os FMEA e FTA (HELMAN e ANDEREY, 1995).

### 3 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO APLICADOS EM EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA

Este capítulo trata o sistema de manutenção aplicado em equipamentos de geração de energia hidrelétrica. Para este assunto foram consideradas as usinas hidrelétricas de ITAIPU, FURNAS e ELETRONORTE pesquisada por meio de levantamentos em documentos técnicos de classificação e interpretação dos fatos coletados.

Itaipu foi construída na década de 70, num trabalho conjunto entre o Brasil e o Paraguai, no sentido de melhor aproveitar os recursos hídricos do rio Paraná. Segundo dados de Itaipu (2001), a usina hidrelétrica de ITAIPU é um empreendimento binacional localizado em Foz do Iguaçu-PR, no Rio Paraná, sendo por parte do Brasil representada pela ELETROBRÁS e, por parte do Paraguai, pela ANDE - *Administración Nacional de Electricidad*.

Em 05 de maio de 1984, entrou em operação comercial a primeira das 18 unidades geradoras previstas para a primeira etapa de montagem, com potência nominal unitária de 700 MW (nove geradores na frequência de 50 Hz e nove na frequência de 60 Hz). Após sete anos, ocorreu o início da operação comercial da décima oitava unidade geradora.

No ano de 2000, a usina produziu cerca de 93.428 GWh, suprimindo 24% das necessidades de energia elétrica do Brasil e 95% dos requisitos do Paraguai (ITAIPU BINACIONAL, 2001, p.4). A amplitude das aquisições e dos aparelhamentos e a representatividade de Itaipu no mercado de produção de energia elétrica permitem deduzir que a função de manutenção tem assumido um papel estratégico para a excelência do desempenho organizacional.

No início de 2007, a segunda etapa de montagem foi concluída, com a instalação das duas unidades geradoras adicionais, totalizando 14.000 MW de potência instalada. A participação no fornecimento de energia elétrica para o Brasil e o Paraguai faz com que a Central de Hidrelétrica de Itaipu, a maior usina hidrelétrica do mundo em termos de potência instalada, detenha o recorde mundial de geração obtido no ano de 2001, ao produzir aproximadamente 89.000 GWh. Em 2006, confirmando sua importância estratégica, a empresa produziu aproximadamente 85.000 GWh, suprimindo 20% do total da energia elétrica produzida no Brasil (equivalente a 30% das necessidades de consumo das regiões sul-sudeste e centro-oeste) e cerca de 95% da energia elétrica do Paraguai (ONS, 2007).

Outro exemplo é a Hidrelétrica de Furnas Centrais Elétricas S.A. Foi criada em 28 de fevereiro de 1957, através do Decreto Federal 41.066, para operar no Rio Grande a

primeira usina hidrelétrica de grande porte do Brasil, a Usina Hidrelétrica de Furnas com capacidade instalada de 1.216 MW. Também subsidiária da ELETROBRÁS, com sede no Rio de Janeiro, está presente no Distrito Federal e nos seguintes estados brasileiros: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Paraná e Rondônia (FURNAS, 2007).

Totalizando uma potência instalada de 9.910 MW FURNAS conta com 11 empreendimentos hidrelétricos em operação e com um sistema de transmissão com 19.277,5 km de linhas e 46 subestações, representando aproximadamente 10% da capacidade de geração de energia elétrica do Brasil.

Em 1969, FURNAS era responsável por 25% do total de energia elétrica produzida no Brasil. Inicialmente, denominada Central Elétrica de Furnas, após construir a Usina de Hidrelétrica de Furnas, a Usina Hidrelétrica Luiz Carlos Barreto de Carvalho (Estreito), Usina de Hidrelétrica de Funil e assumir a conclusão da usina termelétrica de Santa Cruz a empresa recebe o nome que mantém até os dias de hoje, Furnas Centrais Elétricas S.A.

FURNAS também foi responsável pela construção do sistema de transmissão em corrente alternada e contínua de Itaipu, bem como da construção da Usina Nuclear de Angra dos Reis (atualmente com operação sob responsabilidade da Eletronuclear) e do sistema de transmissão associado à usina nuclear. Em 1992, ao completar 30 anos de operação do primeiro quilowatt-hora a empresa já contava em seu parque gerador com cinco usinas hidrelétricas e exercia atividades em países do exterior, em serviços técnicos e consultoria, como: Uruguai, Argentina, Paraguai, Estados Unidos, México, Espanha, Suíça, Alemanha, Paquistão, Angola, Moçambique e Namíbia.

A ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A., uma sociedade anônima de economia mista, subsidiária da ELETROBRÁS com sede em Brasília no Distrito Federal, foi criada em 20 de junho de 1973. Tem como finalidade principal a realização de estudos, projetos, construção e operação de usinas geradoras e de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além da comercialização da energia gerada pela empresa. Atua na região amazônica, nos seguintes estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins.

A sistemática de manutenção adotada nas três hidrelétricas é denominada TPM - Manutenção Produtiva Total. É essencialmente baseada no conceito de manutenção preventiva, ou seja, toda a manutenção é realizada com o propósito de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha, em um determinado equipamento.

A TPM deve ser encarada como uma filosofia de gestão empresarial focada na disponibilidade total do equipamento para a produção. Tal filosofia deve ser adotada por todos os seguimentos da empresa, desde a alta gerência até o operador do equipamento. A Manutenção Produtiva Total surgiu no Japão no período pós Segunda Guerra Mundial. As empresas Japonesas, até então famosas pela fabricação de produtos de baixa qualidade e arrasadas pela destruição causada pela guerra, buscaram, na excelência da qualidade, uma alternativa para reverter o quadro na qual se encontravam. Com isso, os primeiros registros de implementação de TPM pertencem à empresa Nippon Denso, pertencente ao grupo Toyota. No Brasil, essa filosofia começou a ser praticada em 1986.

### *3.1 Manutenção Produtiva Total (TPM)*

A manutenção produtiva total (*Total Productive Maintenance*) teve sua origem no Japão, no início dos anos 60, e tinha como objetivo principal melhorar a confiabilidade dos equipamentos e aumentar a qualidade dos processos, viabilizando assim o sistema Just in Time (NETTO, 2008).

De acordo com J.I.P.M. (2002) apud MORAES (2004), a respeito do TPM:

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

De acordo com MORAES (2004), desde seu nascimento a TPM segue uma evolução, dividida em quatro gerações:

No início do TPM as ações para maximização da eficiência global dos equipamentos focavam apenas as perdas por falhas e em geral eram tomadas pelos departamentos relacionados diretamente ao equipamento. Esse período pode ser denominado a primeira geração do TPM. A segunda geração do TPM se inicia na década de 80, período em que o objetivo de maximização da eficiência passa a ser buscado por meio da eliminação das seis principais perdas nos equipamentos divididas em: perda por quebra ou falha, perda por preparação e ajuste,

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

É importante citar aqui a **Manutenção Produtiva Total (TPM)** não é um tipo de manutenção, mas um sistema de gerenciamento completo, envolvendo todos os tipos de manutenção. Foi desenvolvido no Japão e tem uma visão holística, isto é, o operador de uma máquina é responsável mais do que por sua simples operação.

Figura 07 - Evolução dos tipos de manutenção.

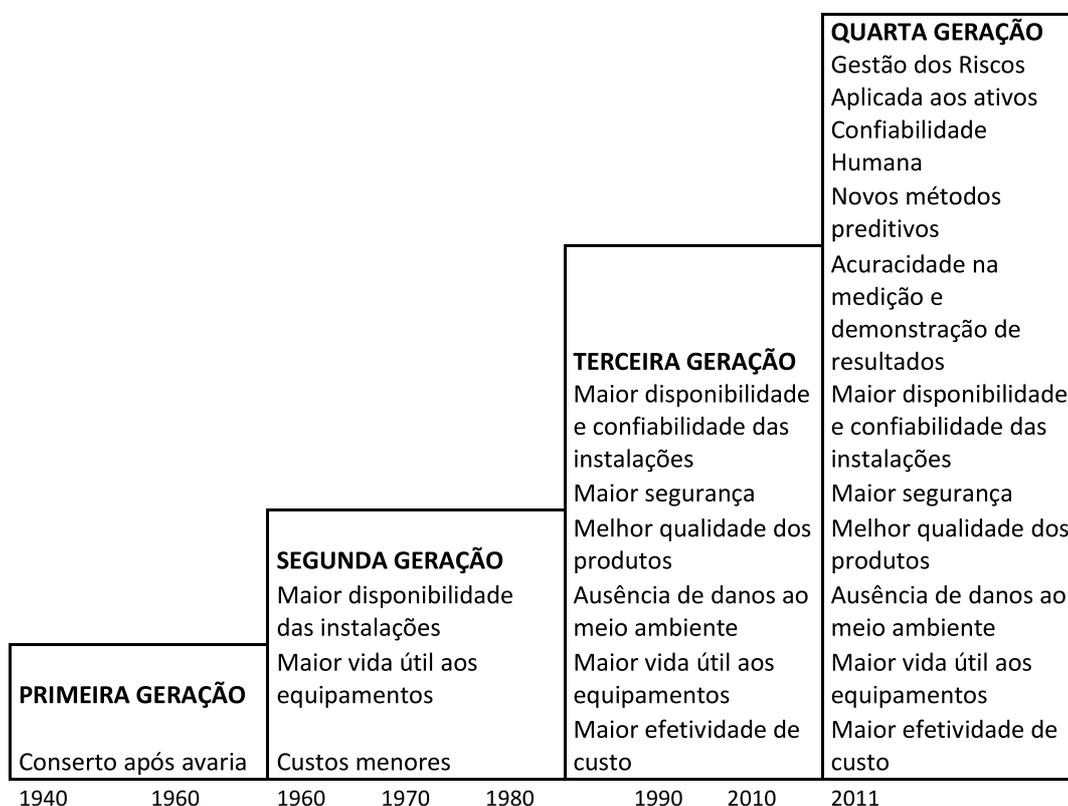
PERIODOS	ATÉ DÉCADA DE 1930	ATÉ DÉCADA DE 1950	ATÉ DÉCADA DE 1960	ATÉ DÉCADA DE 1980
ESTÁGIOS CONCEITOS	MANUTENÇÃO CORRETIVA	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)
REPARO CORRETIVO	X	X	X	X
GESTÃO MECANICA DA MANUTENÇÃO		X	X	X
MANUTENÇÃO PREVENTIVA		X	X	X
VISÃO SISTEMÁTICA			X	X
MANUTENÇÃO CORRETIVA COM INCOPORAÇÃO DE MELHORIAS			X	X
PREVENÇÃO DE MANUTENÇÃO				X
MANUTENÇÃO PREDITIVA				X
ABORDAGEM PARTICPATIVA				X
MANUTENÇÃO AUTÔNOMA				X

Fonte: Adaptado de Moro (2007).

A geração atual é, ainda, o berço das maiores contribuições relacionadas às metodologias de gestão da manutenção, abrangendo desde o surgimento das primeiras

técnicas de monitorização da condição (manutenção preditiva – MPd), como aprimoramento da MP no princípio desta fase; a utilização de ferramentas de auxílio à decisão e a análise de risco; o surgimento do método de análise dos modos de falha e seus efeitos (*Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*) e de sistemas especialistas; a maior atenção na fase de projeto a aspectos de confiabilidade e manutenibilidade, até a criação de grupos de trabalho multidisciplinares, com o envolvimento de todos os níveis hierárquicos da companhia, para o estabelecimento de metodologias mais eficientes no gerenciamento de ativos, tais como a TPM e a MCC (MOUBRAY, 1997).

Figura 08 – Geração da manutenção.



Fonte: Adaptado Mortelari et al(2011)

A figuração mostra a evolução das três gerações da manutenção e seus períodos e as áreas com maiores transformações: expectativas em relação à manutenção, percepção das falhas do equipamento e técnicas de manutenção (MOUBRAY, 1997).

Dessa forma, o TPM exige compromisso voltado para o resultado. Antes de uma política de manutenção, é uma filosofia de trabalho, com forte dependência de envolvimento dos mais diferentes níveis da organização. MORAES (2004) cita três características importantes do TPM:

- Reconhecimento da manutenção como atividade geradora de lucros para a organização;
- Integração e otimização das políticas de manutenção existentes e utilizadas na organização, melhorando a eficiência global dos equipamentos;
- Promoção e incentivo à cultura do envolvimento dos operadores com a manutenção (manutenção espontânea), adquirindo novas capacidades e se dedicando aos projetos de aperfeiçoamento de diagnóstico e do equipamento.

### *3.1.1 Objetivos da TPM*

O objetivo global da TPM é a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais (máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos etc.) e em termos humanos (aprimoramento das capacitações pessoais envolvendo conhecimento, habilidades e atitudes). A meta ser alcançada é o rendimento operacional global.

### *3.1.2 As melhorias devem ser conseguidas por meio dos seguintes passos*

- a) Capacitar os operadores para conduzir a manutenção de forma voluntária.
- b) Capacitar os mantenedores a serem polivalentes.
- c) Capacitar os engenheiros a projetarem equipamentos que dispensem manutenção, isto é; o “ideal” da máquina descartável.
- d) incentivar estudos e sugestões para modificação dos equipamentos existentes a fim de melhorar seu rendimento.

### *3.1.3 Aplicar o programa dos oito S*

1-*Seiri*= organização; implica eliminar o supérfluo.

2-*Seiton*= arrumação; implica identificar e colocar tudo em ordem.

3-*Seiso* = limpeza; implica limpar sempre e não sujar.

4-*Seiketsu*= padronização; implica manter a arrumação, limpeza e ordem em tudo.

5-*Shitsuki*= disciplina; implica a autodisciplina para fazer tudo espontaneamente.

6-*Shido*= treinar; implica a busca constante de capacitação pessoal.

7-*Seison*= eliminar as perdas.

8-*Shikaro yaro*= realizar com determinação e união.

### *3.1.4 Eliminar as seis grandes perdas*

1. Perdas por quebra.
2. Perdas por demora na troca de ferramentas e regulagem.
3. Perdas por operação em vazio (espera).
4. Perdas por redução da velocidade em relação ao padrão normal.
5. Perdas por defeitos de produção.
6. Perdas por queda de rendimento.

Aplicar as cinco medidas para obtenção da “quebra zero”:

1. Estruturação das condições básicas.
2. Obediência às condições de uso.
3. Regeneração do envelhecimento.
4. Sanar as falhas do projeto.
5. Incrementar a capacitação técnica.

A ideia da “quebra zero” baseia-se no conceito de que a quebra é a falha visível. A falha visível é causada por uma coleção de falhas invisíveis como um iceberg. Conforme ilustrado na figura 09.

Figura 09- Falhas invisíveis, *iceberg*.



Fonte: Moro (2007).

Logo, se os operadores e mantenedores estiveram conscientes de que devem evitar as falhas invisíveis, a quebra deixará de ocorrer. As falhas invisíveis normalmente deixam de ser detectadas por motivos físicos ou psicológicos.

### *3.1.5 Motivos físicos*

As falhas não são visíveis por estarem em local de difícil acesso ou encobertas por detritos e sujeiras.

### *3.1.6 Motivos psicológicos*

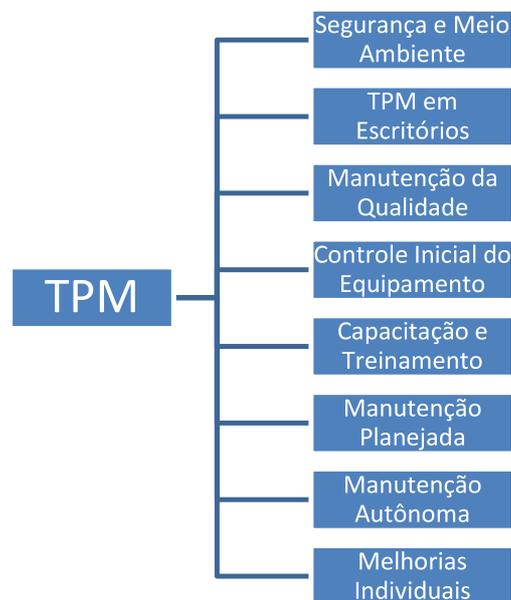
As falhas deixam de ser detectadas devido à falta de interesse ou de capacitação dos operadores ou mantenedores.

### 3.1.7 Os Oito Pilares da TPM

Apesar de cada empresa possuir suas peculiaridades, a metodologia da TPM fornece alguns princípios, denominados pilares, que deveriam ser considerados para sua implementação.

MORAES (2004, p. 40) aponta esses 8 pilares: “Melhoria Focada ou Específica”, “Manutenção Autônoma”, “Manutenção Planejada”, “Treinamento e educação”, “Gestão antecipada”, “Manutenção da Qualidade”, “Segurança, saúde e meio ambiente”, “Melhoria dos processos”.

Figura 10- Pilares TPM



Fonte: Adaptada Moro (2007).

- **Melhoria focada ou específica:** atuação nas perdas crônicas relacionadas aos equipamentos (foco corretivo);

- **Manutenção autônoma:** relacionada, principalmente, às atividades que envolvem os operadores e seus equipamentos, despertando neles a vontade de cuidar e manter seus instrumentos de trabalho em boas condições de uso. Baseia-se também no espírito de trabalho em equipe para melhoria contínua das rotinas de manutenção e produção;

- **Manutenção planejada:** foco preventivo, com rotinas de inspeção baseadas no tempo ou na condição do equipamento, visando aumento de confiabilidade e disponibilidade e redução dos custos;

- **Treinamento e educação:** refere-se à aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais para desenvolvimento das equipes, principalmente nos quesitos liderança, flexibilidade e autonomia;

- **Gestão antecipada:** todos os históricos anteriores de equipamentos e seus similares são analisados quando do projeto de um novo equipamento, a fim de que se construam equipamentos mais adequados aos índices de confiabilidade desejados;

- **Manutenção da qualidade:** refere-se à interação existente entre qualidade dos produtos e capacidade de atendimento à demanda e confiabilidade dos equipamentos e da manutenção;

- **Segurança, saúde e meio ambiente:** como sugere o próprio nome, tem foco na melhoria contínua das condições citadas, reduzindo os riscos acerca de falhas;

- **Melhoria dos processos administrativos:** baseia-se em organizar e eliminar desperdícios nas rotinas administrativas, evitando que as mesmas interfiram na eficiência dentro do chão-de-fábrica.

Esses oito pilares definem e norteiam a filosofia do TPM, cujo foco é a “Falha Zero”. Para tanto, a metodologia também sugere objetivos específicos a serem alcançados.

Souza (2013) cita 4 desses objetivos principais como sendo:

- Eliminação das Grandes Perdas;
- Manutenção Autônoma;
- Manutenção Planejada;
- Educação e Treinamento.

Em relação à Eliminação das Grandes Perdas, o J.I.P.M, originalmente, classificou as seis perdas de equipamentos em (NETTO, 2008):

**1) Perda por parada devido à quebra/falha:** mais significativa segundo o J.I.P.M., sendo originada da não manutenção ou intervenção incorreta no equipamento. Deve ser eliminada;

**2) Perda por mudança de linha e regulagens:** causa a parada de produção, deve ser minimizada ao máximo;

**3) Perda por operação em vazio e pequenas paradas:** motivada por pequenas inatividades de produção (o equipamento pára porque houve um pequeno problema durante sua utilização);

**4) Perda por queda de velocidade:** quando há uma diminuição da velocidade de produção, por queda no bom funcionamento e/ou confiabilidade do equipamento;

**5) Perda por defeitos gerados no processo de produção:** perda gerada por repetições de processos defeituosos e/ou retrabalho;

**6) Perda no início da operação e por queda de rendimento:** perda gasta para estabilização do processo, demandando tempo e estudo.

Independente da abordagem de perdas, as organizações que adotam o TPM devem procurar concentrar seus esforços em eliminar as principais causas relacionadas a elas, de maneira a atingir a eficiência global do equipamento. Assim, é simples entender o foco da metodologia em capacitar os operadores para que conduzam a manutenção de forma espontânea e trabalhem proativamente para a melhoria das condições equipamentos, aliando a isso, a capacitação da equipe de manutenção para que seja polivalente, atuando na busca permanente de economias, seja através de reprojeto, seja através da eliminação dos obstáculos à produção.

A ideia central da TPM está no pilar *Manutenção Autônoma* que, através dos passos contidos nesse pilar, desperta no operador a relação de cuidado que este deve ter com seu equipamento de trabalho. Sua importância é demonstrada na figura 11, numa analogia feita por MONCHY (1987) entre a manutenção da saúde dos equipamentos e a manutenção da saúde das pessoas.

A importância de se avaliar a aplicabilidade de um método capaz de agregar valor à sistemática de manutenção, adotada em Itaipu, motivou a realização desta pesquisa. Nesses termos, busca-se de algum modo auxiliar técnicos e especialistas a enfrentarem os desafios impostos pela necessidade crescente de melhoria do desempenho operacional dos equipamentos e dos processos de manutenção, a custos adequados.

Com a realização deste estudo, espera-se contribuir com as empresas do setor elétrico, que possuem uma sistemática de manutenção implantada e consolidada, como Itaipu, orientadas para a manutenção preventiva dos equipamentos e sistemas, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e a priorização de estratégias funcionais para a área de manutenção.

Figura 11- Analogia entre a saúde humana e a saúde da máquina

SAÚDE HUMANA		ANALOGIA		Saúde da Máquina	
Conhecimento do Homem	Nascimento	Entrada em Operação		Conhecimento Tecnológico	
Conhecimento das Doenças Carnê de Saúde	Longevidade	Durabilidade		Conhecimento dos Modos de Falha Histórico	
Diagnóstico, exame, visita médica. Conhecimento de Tratamentos	Boa Saúde	Confiabilidade		Dossiê da máquina Diagnósticos, perícia, inspeção.	
Tratamento Curativo				Conhecimentos das ações curativas	
Operação	Morte	Sucata		Retirada do estado de pane, reparo. Renovação modernização, troca.	
MEDICINA				MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	

Fonte: Adaptado MONCHY (1987).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É notável a importância estratégica da Central Hidrelétrica de Itaipu na produção de energia elétrica para o Sistema Integrado Brasileiro e Paraguaio. Essa importância é confirmada pela participação percentual nos mercados de produção de energia. No ano 2000, por exemplo, em cada um dos sistemas elétricos nacionais que a central atende, sua participação foi de 24% da energia produzida no Brasil, sendo 30% consumida na região Sul-Sudeste e Centro-Oeste, e 91% no Paraguai. A Itaipu Binacional, portanto, tem expressiva participação na produção de energia elétrica brasileira, tendo sua importância estratégica confirmada ao se avaliar ainda o percentual de suprimento para o sistema interligado nacional.

Deve-se destacar que, em face das dificuldades apresentadas para o atendimento do mercado de energia deverão ser alocados recursos para investimento no aumento da capacidade de produção hidrelétrica no país.

Também não podemos esquecer das hidrelétricas de Furnas e Eletronorte pela sua importância em contribuir com energia elétrica para vários estados brasileiros.

O objetivo deste trabalho foi pesquisar e armazenar as ferramentas e os métodos utilizados na manutenção de máquinas e equipamentos de empresas na área de geração de energia hidrelétrica - a Usina Hidrelétrica de Itaipu, Furnas e Eletronorte. Na realidade, o método de pesquisa foi organizar um portfólio com as principais ferramentas utilizadas na manutenção de máquinas e equipamentos, onde o leitor tenha um material selecionado em que possa se orientar para realizar um trabalho norteado nessa seleção de materiais.

Para orientar essa pesquisa foram consultadas obras de autores que já fizeram trabalhos relacionados a essa temática. A questão de pesquisa foi: como aplicar a manutenção TPM na Usina Hidrelétrica de Itaipu e foi respondida introduzindo nesta, um programa de implementação de práticas de TPM, iniciando pela manutenção autônoma em que um programa de doze pontos foi estruturado e adotado como guia de implantação dessa manutenção.

A principal conclusão que se pode extrair do estudo foi que a TPM, e em particular a manutenção autônoma, pode aumentar a eficiência da manutenção como fator estratégico e conseqüentemente pode aumentar a capacidade de competição da manufatura de uma empresa industrial, pois na filosofia de trabalho do TPM, observa-se que é o conjunto de atividades onde se mantém o compromisso voltado ao resultado.

Sua excelência está em atingir a máxima eficiência do sistema de produção, maximizar o ciclo total de vida útil dos equipamentos aproveitando todos os recursos existentes buscando perda zero. Exige a participação de todos os elementos da cadeia operativa, desde o operador do equipamento, passando pelos elementos da manutenção e pelas chefias intermediárias até aos níveis superiores da gestão da empresa. A cultura imposta pelo TPM faz com que seus atores abram suas mentes para a inovação utilizando métodos de diversas complexidades, como 5S, os oito pilares, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Cinco Por Quês dentre muitos outros difundidos na busca pela melhor eficiência das empresas.

Como continuidade de pesquisa, aponta-se a necessidade de observar se houve redução de defeitos nos produtos fabricados. É de se esperar que a redução de quebras de máquinas e a eliminação de problemas crônicos originados de erros de projeto, de instalação ou de operação também tenham produzido reflexos em outros aspectos da produção, tal como a qualidade dos produtos acabados. Outra oportunidade de pesquisa está em acompanhar os futuros desenvolvimentos da TPM e implantações em outras áreas, de modo a gerar mais estudos de caso locais, como este, e um estudo de caso global, relatando a implantação da TPM por toda a empresa.

Podemos concluir que a TPM (manutenção produtiva total) assume hoje, um papel importantíssimo na indústria, sendo amplamente utilizada como um poderoso instrumento para a redução dos custos e aumento da produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**, Itajubá: 2000. 5p. Disponível em: <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2017.
- ANTUNES JUNIOR, J.A.V. **Manutenção Produtiva Total**: Uma análise crítica a partir de sua inserção no Sistema de Produção Toyota, 2001. Disponível em: Acesso em 02 de Maio de 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462: **confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- ARIOLI, E.E. **Análise e solução de problemas: o método da qualidade total com dinâmica de grupo**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.
- ARIZA, C. F. **Manutenção preventiva** - objetivos, desenvolvimento e aplicação. *Manutenção & Serviços*, Ano 1, n.5, jun/jul. 1982. p. 4-15.
- BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**; Trad. Gustavo Kanninberg. Porto Alegre: Artes Médicas, 1991.
- CAMARA, J. M; ARAÚJO, I. M; SANTOS, C. K. S. **Manutenção elétrica industrial: apostila virtual**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Engenharia Elétrica. 2001. Disponível em: Acesso em 13 de abril. 2017.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. 1994.
- CAMPOS, Vicente F. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: Ed. INDG Tecnologia e Serviços, 2004.
- CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA Carlos A. **Administração de Produção e Operações**, São Paulo, Atlas, 2004.
- CENELEC. **Analysis techniques for system reliability** – Procedure for failuremode and effects analysis (FMEA) European Committee for Electrotechnical Standardization, 2006.
- DEMING, W.E. **Qualidade: a revolução na administração**. 1. ed. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.
- FERREIRA, Laura Maria Leite. SANTOS, Marítiza Wanzeler. SILVA, Monica Gomes. MOREIRA, Bruna Brandão . **Utilização do MASP, através do ciclo PDCA, para o tratamento do problema de altas taxas de mortalidade de aves no setor avícola**, Anais. XXX ENEGEP, 2010.

FUENTES, F. F. E. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FURNAS. 1957-1967: como tudo começou. Revista Furnas. Edição Especial 50 anos de Furnas. n.337, Rio de Janeiro, Fev./ 2007. Disponível em: . Acesso em 12/05/2017

GIACOMET, Luiz Francisco. **Um Método para Determinação Qualitativa de Sobressalentes para Hidrogeradores**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC.

GIL, Carlos A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HELMAN, H.; ANDEREY, P. R .P. **Análise de falhas**: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

HUANQIU, W., JINZHONG, G. AND XU, F. (1998), “Dynamic analysis of coherent fault trees”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 4 No. 2, pp. 122-30.

IRESON, W. Grant, ed., **Handbook of Reliability Engineering and Management**, Second Edition, New York: McGraw-Hill Professional, 1996.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle da qualidade total**: A maneira Japonesa. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1989.

ITAIPU BINACIONAL. **Principais características técnicas**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2001.

J. I. P. M. Japanese Institute of Plant Maintenance. **TPM frequently asked questions**. 2002. Disponível em <[www.jipm.or.jp/en/home](http://www.jipm.or.jp/en/home)> Acesso em 15 maio 2017.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro:Qualitymark, 1999.

KARDEC, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LEVITT, J. **The Handbook of maintenance management**. N.Y: Industrial Press Inc., 1997.

LONG, W.; SATO, Y.; HORIZOME, M. **Quantification of sequential failure logic for fault tree analysis**. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 67, n. 3, p. 269-274, 2000.

MÁRQUEZ, A. C. et al. The **Maintenance Management Framework**: a Practical View to Maintenance Management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 15, n. 2, p. 167-178, 2009.

MIRSHAWKA, V. **Manutenção Preditiva - caminho para zero defeitos**. São Paulo: Makron Books Mc Graw-hill, 1991.

- MONCHY, François. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.
- MONCHY, F. **A Função Manutenção – Formação da Manutenção Industrial**. São Paulo: Editora Durban, 1989.
- MORAES, Paulo Henrique de Almeida. **Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Taubaté: UNITAU, 2004.
- MOREIRA, Bruna Brandão. **Utilização do MASP**, através do ciclo PDCA, para o tratamento do problema de altas taxas de mortalidade de aves no setor avícola, Anais. XXX ENEGEP, 2010.
- MORO, Norberto. **Introdução à gestão da manutenção**. Florianópolis, 2007.
- MORROW, L. C. **Manual de mantenimiento industrial**. México: Cia. Editorial Continental, Tomo 1, 1982.
- MORTELARI, D.; Siqueira, K.; Pizzati, N.; **O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Activos**,<sup>a</sup> Edição, RG Editores, 2011.
- MOUBRAY, J., “*RCM II – Reliability Centered Maintenance*”, 2ª edição, New York: Industrial Press Inc, (1997).
- NEWMANN, Clóvis. Projeto de Fábrica e Lay out. Notas de aula, 2008.
- NEPOMUCENO L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989
- NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. Vol. 1. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1999.
- NETTO, W. A. C. **A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias**. 2008. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO**. NT 173/2007 Novo modelo de previsão de vazões com informação de precipitação para o trecho incremental de Itaipu.
- OSADA, T. - **Housekeeping**, 5S's: seire, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke. São Paulo: IMAN, 1992.
- PALMER, D. **Maintenance planning and scheduling handbook**. N.Y.: McGraw-Hill, 1999.

PEREIRA, M.J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. Ltda., 2009.

PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N. **Manutenção Função Estratégica**, Rio de Janeiro, Qualitymarck Ed., 2001.

QUEIROZ, H. L. **Manutenção em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Florianópolis, 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina;

SAMPARA, E.J.M; ADAMI, R. **Análise de insumos e aplicação de sistemática de solução de problemas para geração de melhorias**; Anais do ENEGEP XXIX - Encontro Nacional de Engenharia de Produção; 2009; Bahia; BRASIL; Português.

SCHOEPS, W. Manutenção. In: \_\_. Manual de administração da produção, Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, v.2, 1975. p. 327-358.

SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SIQUEIRA, I. P., “**Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação**”, Qualitymark, Rio de Janeiro, (2005).

SOUZA, V. C. **Organização e Gerência da Manutenção**. São Paulo: Editora All Print, 2013.

TAKAHASHI, Y ; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. 2.ed. São Paulo: Instituto IMAN, 2000. 322p.

TAVARES, Lourival Augusto. **Excelência na Manutenção – Estratégias, Otimização e Gerenciamento**. Salvador: Casa da Qualidade Editora Ltda., 1996, p.36. TAVARES, Lourival. **Administração Moderna de Manutenção**. Novo Pólo Editora – New York, 1998.

TAVARES, Lourival Augusto; CALIXTO, Marco; POYDO, Paulo Roberto. **Manutenção centrada no negócio**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 2005.

TUBINO, DALVINO FERRARI. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 2. ed. São Paulo, Atlas, 2009.

VIANA, Herbert Ricardo Gracia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Qualitymark. Rio de Janeiro, 2009.

WERKEMA, M.C.C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. Vol. 1. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção produtiva total – um modelo adaptado**. 1997.

Dissertação (M.sc) - UFSC, Florianópolis, 1997. Disponível em <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy/>. Acesso em: 10 maio de 2017.

XAVIER, Julio Nascif. *Manutenção Preditiva Caminho para a excelência*. 2003.

XENOS, H. G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998. 302 p.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.

ZAMBRANO TF, MARTINS MF. **Utilização do Método FMEA para Avaliação do Risco Ambiental**. *GESTÃO & PRODUÇÃO*, 14(2): 295-309. (2007).