

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**A análise de falhas contribuindo para o processo
de melhoria contínua**

André Luiz da Conceição

**Pindamonhangaba - SP
2015**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**A análise de falhas contribuindo para o processo
de melhoria contínua**

André Luiz da Conceição

Monografia apresentada à Faculdade
de Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de
Tecnologia em metalurgia.

Área de Concentração: análises de falhas
Orientador (a): Prof. Me. Amir Rivaroli Júnior

**Pindamonhangaba – SP
2015**

C744a Concelção, André Luiz da.
A análise de falhas contribuindo para o processo de melhoria
contínua / André Luiz da Concelção / FATEC Pindamonhangaba,
2015.
45f.; il., 30 cm.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Júnior
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba. 2015

1. Manutenção. 2. Análise de falha. 3. Melhoria contínua.
I. Concelção, André Luiz da. II. Rivaroli Júnior, Amir. III. Título.

CDD 621.3



Fatec Pindamonhangaba

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

TÍTULO DO TRABALHO

“A ANÁLISE DE FALHAS CONTRIBUINDO PARA O
PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA”.

ANDRÉ LUIZ DA CONCEIÇÃO

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de Tecnologia
em Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora

Orientador – Prof. Msc. Amir Rivaroli Júnior

Membro Interno – Prof. Msc. Marcelo Bergamini de Carvalho

Membro Externo – Tecnólogo Estefano Aquino dos Santos

Pindamonhangaba, 08, de Dezembro, 2015.

DEDICATÓRIA

A todos os meus colegas e aos professores e orientadores.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus Que me deu forças para enfrentar mais essa jornada da minha vida, ao meu orientador Amir Rivaroli Júnior que me apontou o caminho correto para a conclusão desta monografia e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Aos meus familiares, que me incentivaram durante toda a jornada até a conclusão desta faculdade, e aos colegas que me apoiaram nesses anos de estudo.

“Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações (...). Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos.”

Albert Einstein

CONCEIÇÃO, A.L. **A análise de falhas contribuindo para o processo de melhoria contínua.** 2015. 45p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2015.

RESUMO

Existem vários métodos a serem utilizados dentro de uma empresa com a intenção de alcançar uma melhora no processo ou nas mais diversas situações, como por exemplo, indicadores de produtividade, disponibilidade e ou a melhoria de um equipamento que apresenta uma falha de confiabilidade. Este trabalho trata da utilização de uma dessas técnicas, a “análise de falhas”, ele será apresentado na forma de uma revisão das principais metodologias utilizadas para análise de falhas e sua importância como uma ferramenta de melhoria contínua. Para aplicá-la, é necessário saber trabalhar com dados obtidos a partir da observação de fenômenos, como por exemplo, a execução de um trabalho ou a manutenção utilizada. A análise de falhas é um método bastante utilizado pelos profissionais da área de manutenção e é aplicada com o intuito de encontrar a causa raiz de um problema e definir ações a serem tomadas.

Palavras-chave: manutenção, análise de falha, melhoria contínua.

CONCEIÇÃO, A.L. **The failure analysis contributing to the continuous improvement process.** 2015. 45p. Graduate work (Course metallurgical processes). Pindamonhangaba technology college. Pindamonhangaba. 2015.

ABSTRACT

There are several methods to be used within a company with the intention of achieving an improvement in the process or in different situations, such as productivity indicators, availability and or improvement of equipment that presents a reliability failure. This paper deals with the use of these techniques, the "failure analysis", it will be presented in the form of a review of the main methodologies used for failure analysis and its importance as an improvement tool continues. To apply it, you must know how to work with data obtained from the observation of phenomena, such as the execution of a work or maintenance use. The failure analysis is a method widely used by maintenance professionals and is applied in order to find the root cause of a problem and define actions to be taken.

Keywords: maintenance, failure analysis, continuous improvement.

Lista de abreviações

MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade

RCM - Reliability Centered Maintenance

PDCA - Ciclo de Deming

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos efeitos e modos de falhas)

DMAIC - Ciclo de melhoria

BOAC - British Overseas Airways Corporation

Lista de figuras

Figura 1: Exemplo de um Gráfico de Pareto.	23
Figura 2: Diagrama de causa e efeito.	24
Figura 3: Processo de solução pratica de problemas da Toyota.	27
Figura 4: Ciclo PDCA.	28
Figura 5: Ciclo de melhoria DMAIC.....	32
Figura 6: Representação dos rebites no casco.	35
Figura 7: Posicionamento dos rebites no casco do Titanic.....	35
Figura 8: Construção do Titanic	36
Figura 9: Foto do navio da série Liberty.	37
Figura 10: Fratura frágil em navios Liberty ainda no porto.	38
Figura 11: Foto do avião “de havillande comet”	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Manutenção	15
2.2 Conceitos e história da manutenção	15
2.3 Tipos de manutenção	16
2.3.1 Manutenção corretiva	16
2.3.2 Manutenção preditiva	17
2.3.3 Manutenção preventiva.....	17
2.3.4 Manutenção detectiva	18
2.4 Manutenção centrada em confiabilidade (MCC).....	18
2.5 Conceitos de melhoria contínua	19
2.5.1 Análises de falhas	20
2.5.2 Metodologias para análise de falhas.....	20
2.5.3 Método de análise de Pareto.....	22
2.5.4 Diagrama de causa e efeito.....	24
2.5.5 Método dos 5 porquês.....	25
2.5.6 Ciclo de Deming (PDCA).....	27
2.5.7 Análise dos efeitos e modos de falha (FMEA).....	29
2.4.8 Seis Sigma	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Casos históricos	33
3.2 Naufrágio do Titanic.....	33
3.3 Navios Liberty	37
3.4 Aviões Comet	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
5 CONCLUSÃO.....	42
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	43

1 INTRODUÇÃO

A crescente competitividade e a incansável necessidade de cada vez se conseguir resultados melhores e diferenciados, vem exigindo das empresas uma melhor colocação e um melhor desempenho em nível global para que consigam atender todas as necessidades do mercado. Em consequência, as grandes companhias tiveram que adequar sua qualidade em nível dos novos e exigentes padrões mundiais (BAZI; TROJAN, 2014).

A busca por melhores indicadores de produtividade, disponibilidade e confiabilidade nas organizações têm aumentado a cada ano por conta das exigências do mercado, tornando os diversos processos de trabalho aliados neste sentido, quando nos envolvemos com os ativos relacionados aos processos produtivos, precisamos utilizá-los da melhor maneira possível, procurando nos indicadores já mencionados, um sinal de qual caminho estamos percorrendo, para que possamos nos munir de informações, contribuindo para obter as melhores práticas de trabalho, temos na metodologia de “Análise de Falhas” um aliado extremamente importante, pois com ele estaremos em um constante processo de melhoria na busca pela identificação da causa raiz do problema, determinando uma ação de bloqueio e a solução dos problemas que interferem nos indicadores que medem o desempenho das áreas de processo (JUNIOR, 2015).

Os gastos gerados pela quebra de um equipamento seja ela por uma falha de projeto, por uma manutenção deficiente ou uma operação indevida, reflete diretamente no preço do produto final, fazendo com que a concorrência no mercado seja um pouco mais competitiva, segundo Alves (2010) muito se fala em melhoria de processos para redução de custos e as técnicas de melhoria contínua são muito utilizadas para redução desses custos.

A metodologia de análises de falhas é um grande aliado quando se trata da melhoria de projetos e eliminação de falhas que se tornam constantes em algum determinado equipamento, ou até mesmo na criação de planos de manutenção visando à diminuição das ocorrências de falhas, segundo Bazi e Trojan (2014) quando não se encontra a causa raiz da falha no equipamento em estudo, não é possível introduzir melhorias.

Obter uma revisão bibliográfica sobre as principais metodologias de melhoria contínua e análise de falhas ajudará a melhorar e aprimorar o entendimento do processo de análises de falhas, e seu conceito no papel de melhoria contínua, para nos auxiliar na redução de custos com manutenção de forma a esclarecer o uso desta metodologia e sua contribuição para o processo de melhoria e redução de custos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Manutenção

A manutenção pode ser considerada como o conjunto de cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de máquinas, equipamentos, ferramentas e instalações, esses cuidados englobam a conservação, a adequação, a restauração, a substituição e a prevenção. Segundo Kardec e Carvalho (2002), a premissa da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos seus equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

2.2 Conceitos e história da manutenção

Segundo Moubray (1997) a história da manutenção pode ser dividida, de forma geral, em três períodos distintos:

Primeiro período – anterior a 2.a Guerra Mundial, conhecido como manutenção da primeira geração onde a variedade dos equipamentos e a busca pela prevenção das falhas não estava em foco, os equipamentos eram superdimensionados e os projetos eram simples e de fácil manutenção e reparo, sendo, portanto, mais confiáveis, a limpeza e a lubrificação eram suficientes, não havendo necessidade de fazê-los de forma sistemática.

Segundo período – denominado manutenção da 2.a geração, iniciou-se na década de 1950 no período pós-guerra, onde a crescente demanda por produtos impulsionou a mecanização das indústrias, com máquinas numerosas e complexas, então surgiu o conceito de manutenção preventiva, surgiu também à consideração de que as falhas nos equipamentos podiam e deviam ser previstas, os custos de manutenção elevaram-se sendo necessário maior controle.

Terceiro período – iniciado em meados da década de 1970, foi denominado manutenção da 3.a geração, neste período buscaram-se novas praticas de aumentar a vida útil dos equipamentos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade

e confiabilidade, sem proporcionar nenhum dano ao ambiente, ter maior segurança, maior qualidade e custos dentro do controle.

Segundo Kardec e Nascif (2009) existe uma quarta geração, esta geração é marcada pela mudança de comportamento, no que se diz respeito à junção de todos os setores da indústria na busca por um bem comum, os setores de operação, manutenção, qualidade e engenharia, trabalhando na busca pela eliminação das falhas antes mesmo que elas aconteçam, a utilização da manutenção preditiva passa a ser mais frequente, os projetos visam a máxima disponibilidade e confiabilidade, a qualificação das equipes passa a ser prioridade, há uma maior valorização da segurança e saúde das pessoas, a preservação ambiental é uma regra de sobrevivência, a qualidade dos produtos é fundamental, o aumento da moral e autoestima da equipe promove uma melhoria significativa nos resultados, a necessidade de redução de custos para se manter competitiva no mercado é indispensável. A parceria com os fornecedores passam a ser analisadas com enfoque nos resultados obtidos.

2.3 Tipos de manutenção

A manutenção nas empresas é entendida como uma combinação de diversas atividades, essas atividades podem ser definidas através de duas abordagens: atividades pró-ativas e atividades reativas, as atividades pró-ativas são aquelas executadas antes das falhas ocorrerem, desenvolvendo ações que visam antecipar o conhecimento da sua ocorrência para não permitir o estado de falha do equipamento, já as atividades reativas atuam após a ocorrência da falha do equipamento, desenvolvendo ações para reestabelecer a disponibilidade do equipamento (MOUBRAY, 1997).

2.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva pode ser classificada como não planejada ou

planejada, a corretiva não planejada é realizada logo em seguida da ocorrência de uma falha acarretando perda da função do equipamento, já a corretiva planejada se faz em função de um acompanhamento preditivo, detectivo ou até pela decisão gerencial de se operar até a falha (PALLEROSI, 2007).

Pelo ponto de vista do sistema produtivo em geral, a manutenção corretiva poder ser considerada a classe de manutenção de custo mais elevado, devido a sua ocorrência imprevisível e por causar a parada do processo gerando custos para produção. Esta atividade apenas não é descartada de uso, por existirem falhas aleatórias nos equipamentos e, portanto, ser uma atividade importante na rotina da manutenção (BELMONTE E SCANDELARI, 2006).

2.3.2 Manutenção preditiva

Essa modalidade de manutenção é reconhecida pela previsibilidade da deterioração do equipamento, através do monitoramento de tempo em tempos pré-determinados, prevenindo falhas por meio do monitoramento dos parâmetros principais de funcionamento do equipamento, através da manutenção preditiva podemos avaliar e executar a manutenção no momento adequado, antes que o equipamento apresente falha, e tem a finalidade de evitar a falha funcional ou evitar as consequências desta (MOUBRAY, 1997).

2.3.3 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é considerada como o ponto de apoio das atividades de manutenção, envolvendo tarefas sistemáticas tais como: as inspeções, substituição de peças e reformas, utilizando dados arquivados ou históricos disponíveis nas empresas, procura-se determinar o tempo provável em que ocorrerá a falha de um determinado equipamento ou componente. A prática da manutenção preventiva pode ainda, reduzir a probabilidade de falhas pelo fato de a manutenção ser programada

com antecedência. Qualquer equipamento solicitado para realizar uma determinada função estará sujeito a uma variedade de esforços, estes esforços gerarão fadiga e isto causará a deterioração deste equipamento, reduzindo sua vida útil, essa redução chegará ao ponto no qual o equipamento poderá não ter mais o desempenho desejado, em outras palavras, ele pode vir a falhar (MOUBRAY, 1997).

2.3.4 Manutenção detectiva

O termo manutenção detectiva vem da palavra “detectar” e teve início a partir da década de 90. O objetivo da prática da manutenção detectiva é aumentar a confiabilidade dos equipamentos, é caracterizada pela intervenção em sistemas de proteção para detectar falhas ocultas e não perceptíveis pelos funcionários da operação (SOUZA, 2008).

Um exemplo citado por Ferreira (2009) é a aplicação da manutenção detectiva, de maneira a aumentar a confiabilidade do processo:

“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. Por isso, este circuito é testado/acionado de tempos em tempos, para verificar sua funcionalidade”.

Portanto, a manutenção detectiva é muito importante quando o nível de automação dentro das indústrias aumenta ou o processo é crítico e não suporta falhas.

2.4 Manutenção centrada em confiabilidade (MCC)

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês Reliability Centered Maintenance (RCM), tem sua abordagem datada do final da década de 60, é princípio direcionada para a indústria aeronáutica, com o objetivo de orientar os esforços da manutenção, para componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental, tendo como objetivo garantir o desempenho, a segurança e preservação

do ambiente a um melhor custo-benefício (MOUBRAY, 1997).

A metodologia MCC procura responder sete questões apresentadas de forma sequencial sobre o sistema ou processo em análise (MOUBRAY, 1997).

1. Quais funções devem ser preservadas?
2. Quais as falhas funcionais?
3. Quais os modos de falha?
4. Quais os efeitos da falha?
5. Quais as consequências da falha?
6. Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
7. Quais as alternativas restantes?

Com isso Siqueira (2009) propõe uma questão adicional com objetivo de aperfeiçoar o cálculo de frequência das atividades:

8. Qual a frequência ideal para as tarefas?

Segundo Rausand (1998), a prática da MCC busca a redução de custos de manutenção por meio da priorização das funções mais importantes do sistema ou equipamento, sugerindo atividades de manutenção estritamente necessárias para a continuidade destas funções e evitando ou removendo ações desnecessárias.

Os resultados esperados com a implantação da MCC podem ser resumidos em: redução das atividades de manutenção, otimização do planejamento da manutenção, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, redução dos custos com manutenção, materiais e operação e redução dos riscos (MOUBRAY, 1997).

2.5 Conceitos de melhoria contínua

A melhoria contínua pode ser definida como a busca constante pelo melhor desempenho produtivo, pessoal ou até mesmo a busca por eliminação de falhas de um sistema seja ele de gestão ou um sistema mecânico no caso a melhoria de um projeto ou até a eliminação de falhas constantes em um equipamento. Segundo César (2008)

a melhoria contínua pode ser entendida como o processo de realizar melhorias, mesmo pequenas, com objetivo de eliminar todo o desperdício seja ele de tempo ou de manutenção que adiciona custo sem agregar valor.

A prática da melhoria contínua voltada para manutenção mecânica pode ser vista e analisada da seguinte forma segundo Araújo (2011).

A melhoria da qualidade da manutenção implica decisões baseadas em fatos reais que só é possível, mediante a utilização de ferramentas que permitam quantificar e qualificar a informação gerada. A lógica nesta temática é que o produto final corresponde à soma total de diversos pequenos pontos passivos de melhoria, distribuídos pelo ciclo do processo ou equipamento analisado. O objetivo principal é atingir níveis mais altos na qualidade do produto ou serviço, exigindo assim um contínuo acompanhamento, controle e melhoria dos respectivos processos.

2.5.1 Análises de falhas

O principal objetivo da análise de falhas é evitar a ocorrência de novas falhas através de planos de contingência ou melhorias no projeto ainda em sua fase de cálculos ou depois de implantado encontrando a causa raiz da mesma. A análise deve determinar as causas raízes da falha e essa informação deve ser utilizada para permitir a introdução de ações corretivas que impeçam a repetição do problema. Segundo Takayama (2008).

A análise de falhas pode ser aplicada quando o processo já está em operação, depois de ocorrer uma falha, identificando suas causas e realizando o bloqueio, ou antes, que uma falha ocorra, detectando as possíveis causas e realizando o bloqueio; pode ser aplicada também quando o processo ainda estiver na fase de projeto, no qual é possível detectar as falhas ainda no papel e já criar soluções para que elas não ocorram quando o projeto for implementado.

2.5.2 Metodologias para análise de falhas

Segundo Araujo (2011) a solução de um problema é melhorar o resultado deficiente

para um nível aceitável entre a capacidade operacional/produziva do equipamento e o desempenho esperado que nunca deve ultrapassar a capacidade do equipamento, para isso as causas do problema são investigadas em cinco diferentes fases de investigação onde a relação de causa e efeito é analisada com detalhe, são elas a fase de seleção do problema, fase de análise, fase de correção, fase de medição e a fase de prevenção.

- Fase de seleção do problema

A primeira fase consiste em selecionar o problema ou uma oportunidade de melhoria. Para poder iniciar o ciclo, uma equipe multidisciplinar deve fazer uma lista dos problemas em potencial, depois deve colher dados que medirão a gravidade de cada problema, o passo mais importante para resolver um problema é reconhecer que você enfrenta um deles, o princípio de Pareto vai ajudar a priorizar o problema.

- Fase de análise

O próximo passo é fazer uma análise detalhada para obter o máximo de informações possíveis sobre o problema, neste passo é muito importante estar presente o máximo de pessoas envolvidas no processo em questão para se obter as informações, neste passo ferramentas como diagrama de causa e efeito serão muito valiosas.

- Fase de correção

Uma vez que a causa real, isto é, causa raiz da falha tenha sido encontrada, a equipe estará pronta para desenvolver um plano ou novo projeto que evitará a repetição do problema. Nessa fase pode ser utilizada a ferramenta 5 porquês.

- Fase de medição

O resultado do plano de ação corretiva deve ser medido, de modo a termos certeza de que a solução realmente resolveu o problema, se a solução não resolveu o problema ou o nível de correção for insatisfatório, a equipe deverá recomeçar, se o plano for bem sucedido, a equipe deverá preparar um relatório resumido, descrevendo o problema, os métodos de correção e os ganhos de qualidade/custo/produzividade, deverá também suspender qualquer ação temporária.

- Fase de prevenção

Após o problema ter sido resolvido, os membros da equipe, entrarão na fase de prevenção do ciclo de oportunidade, durante essa fase, deverão utilizar o conhecimento adquirido com o problema para transferi-lo para outras áreas ou equipamentos que apresentam falhas parecidas, objetivo dessa fase é alterar os sistemas de forma que o problema possa ser eliminado definitivamente das atividades futuras. Nesta fase poderemos usar o ciclo PDCA.

2.5.3 Método de análise de Pareto

Segundo Araujo (2011) o diagrama de Pareto é um recurso gráfico utilizado para estabelecer uma ordenação nas causas de problemas que devem ser sanadas. O método de Análise de Pareto baseia se fortemente em fatos e dados, podendo-se identificar os principais problemas e separar claramente que prioridades devem ser consideradas, ou seja, prioriza a ação que trará o melhor resultado.

O diagrama de Pareto é um gráfico formado por barras verticais, onde as informações são evidentes e visualizadas de forma clara. As informações demonstradas através do diagrama de Pareto permitem determinar e estabelecer metas numéricas possíveis de serem atingidas (WERKEMA, 1995).

O princípio de Pareto mostra que a maior parte das perdas referentes a problemas de qualidade vêm da origem de poucos, mas importantes problemas. As etapas para a construção de um gráfico de Pareto contemplam os seguintes passos (CARPINETTI, 2010):

1. Selecionar os problemas ou causas que se deseja comparar, frequência de ocorrência de diferentes tipos de defeitos resultantes de um processo, ou causas para ocorrência de um problema. Esta seleção é feita através de dados coletados ou através de discussão em grupo.
2. Selecionar a unidade de comparação, por exemplo, numero de ocorrências, custo;
3. Definir o período de tempo sobre o qual os dados serão coletados, sete horas, três dias

ou duas semanas;

4. Coletar os dados no local, defeito A ocorreu 15 vezes, defeito B, 60 vezes, defeito C, 49 vezes;

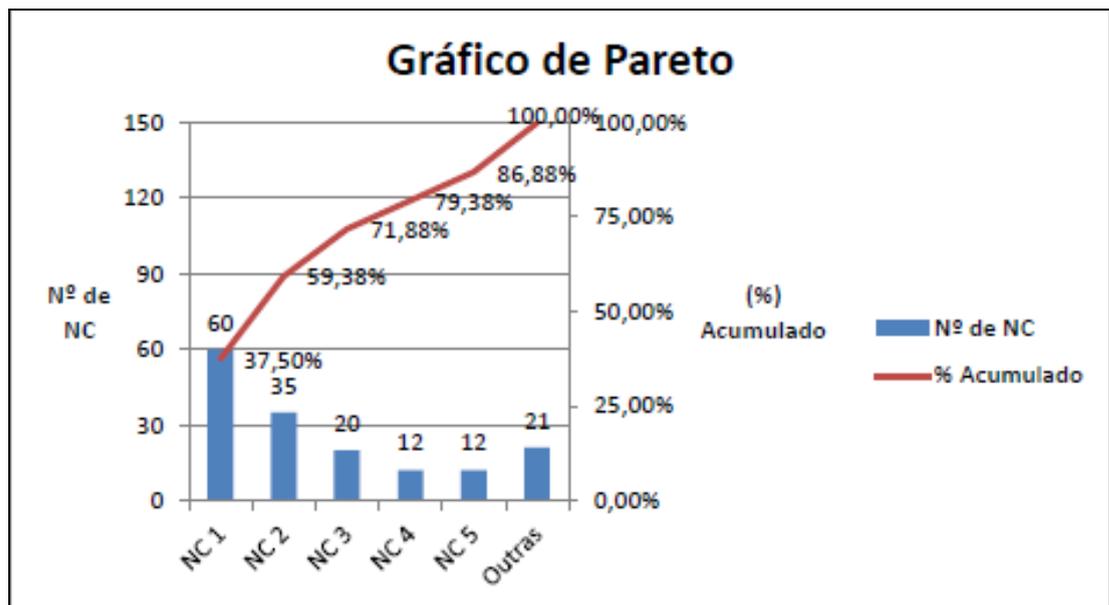
5. Listar na ordem decrescente as categorias da esquerda para a direita no eixo horizontal na ordem de frequência de ocorrência, custo;

6. Na parte superior de cada categoria, desenhar um retângulo cuja altura represente a frequência ou custo para aquela categoria;

7. Do topo do retângulo mais alto, uma linha deve ser adicionada para representar a frequência cumulativa das categorias.

Um exemplo de gráfico de Pareto pode ser visualizado na figura 01, que demonstra o número de não conformidades encontradas em um determinado processo, e também o percentual acumulado destas não conformidades.

Figura 1: Exemplo de um Gráfico de Pareto.



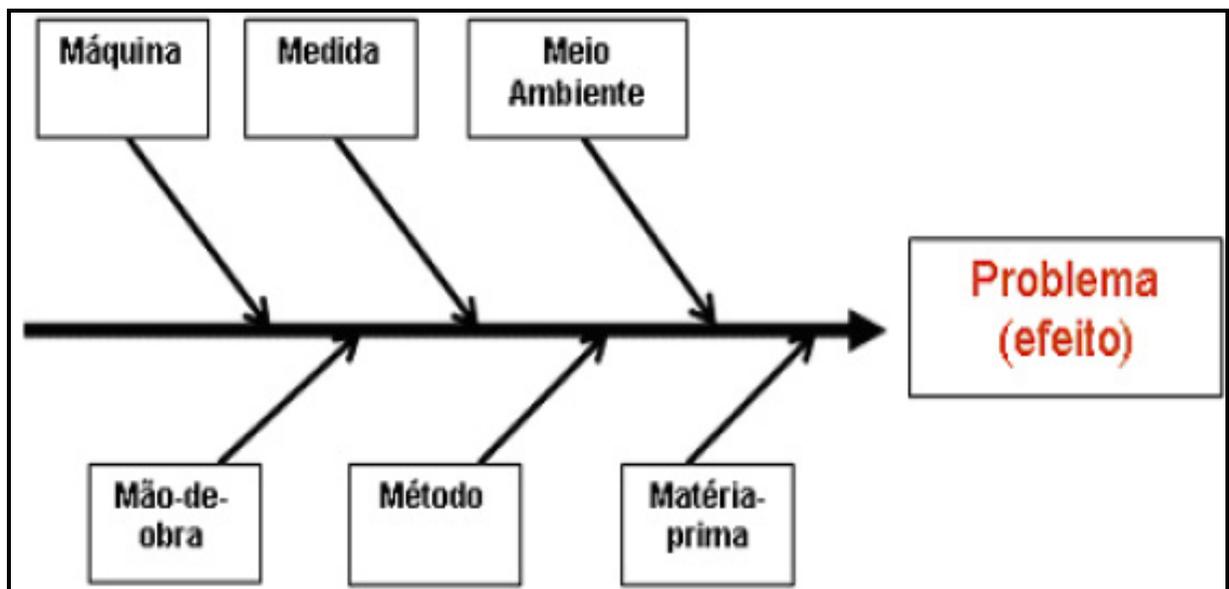
Fonte: Junior, et al, 2006.

2.5.4 Diagrama de causa e efeito

Segundo Daychouw (2007), podemos agrupar em quatro diferentes tipos os problemas a serem analisados no diagrama de causa e efeito, são chamados de 4M's, que são método, matéria, mão-de-obra e máquinas. Contudo, Miguel (2001), acrescenta ainda mais 2M's que são considerados relevantes para esse processo, esses são medida e meio ambiente, sendo então 6M's.

De acordo com Meira (2003), para se construir um diagrama como este, é preciso primeiramente definir o problema e evidenciar-lo na “espinha de peixe”; em seguida, identificar as grandes causas prováveis do efeito ou problema e associá-las a cada uma das espinhas; faz-se então as ramificações das mesmas, ou seja, as subdivide em causas primárias e secundárias. Na Figura 2, é apresentado um modelo de diagrama de espinha de peixe.

Figura 2: Diagrama de causa e efeito.



Fonte: Chiavenato, 2004.

As causas encontradas pela equipe durante a análise do diagrama de causa e efeito têm grande valor como fonte de informações para a melhoria contínua, através da análise das falhas

pode-se descobrir por que o processo ainda apresenta erros, e com a investigação de cada defeito, e a busca por suas causas mais básicas, podemos aprimorar o processo para que ele não produza mais falhas. Aderir à meta de zero defeito é assumir o aprimoramento contínuo em todos os aspectos da empresa, desde o projeto dos produtos até o desempenho operacional do processo (CORRÊA, 2009).

2.5.5 Método dos 5 porquês

O método dos “5 porquês” busca identificar a causa raiz de um problema mediante a realização consecutiva de “por quê?” e de acordo com Ohno (1997), esses questionamentos levarão à causa do problema e à solução do problema. Apesar de ser uma técnica simples apresenta resultados significativos.

O método dos 5 porquês consiste em questionar por 5 vezes o porquê um problema está ocorrendo, sempre fazendo referencia a resposta anterior, e assim será determinada a causa raiz deste problema (WERKEMA, 1995).

Ohno (1997) apresenta um exemplo dessa técnica considerando que a maquina parou de funcionar.

- Por que a maquina parou?
 - ▶ Porque houve sobrecarga e o fusível queimou.
- Por que houve uma sobrecarga?
 - ▶ Porque o mancal não estava suficientemente lubrificado.
- Por que o mancal não estava suficientemente lubrificado?
 - ▶ Porque a bomba de lubrificação não estava bombeando suficientemente.
- Por que a bomba não estava bombeando suficientemente?

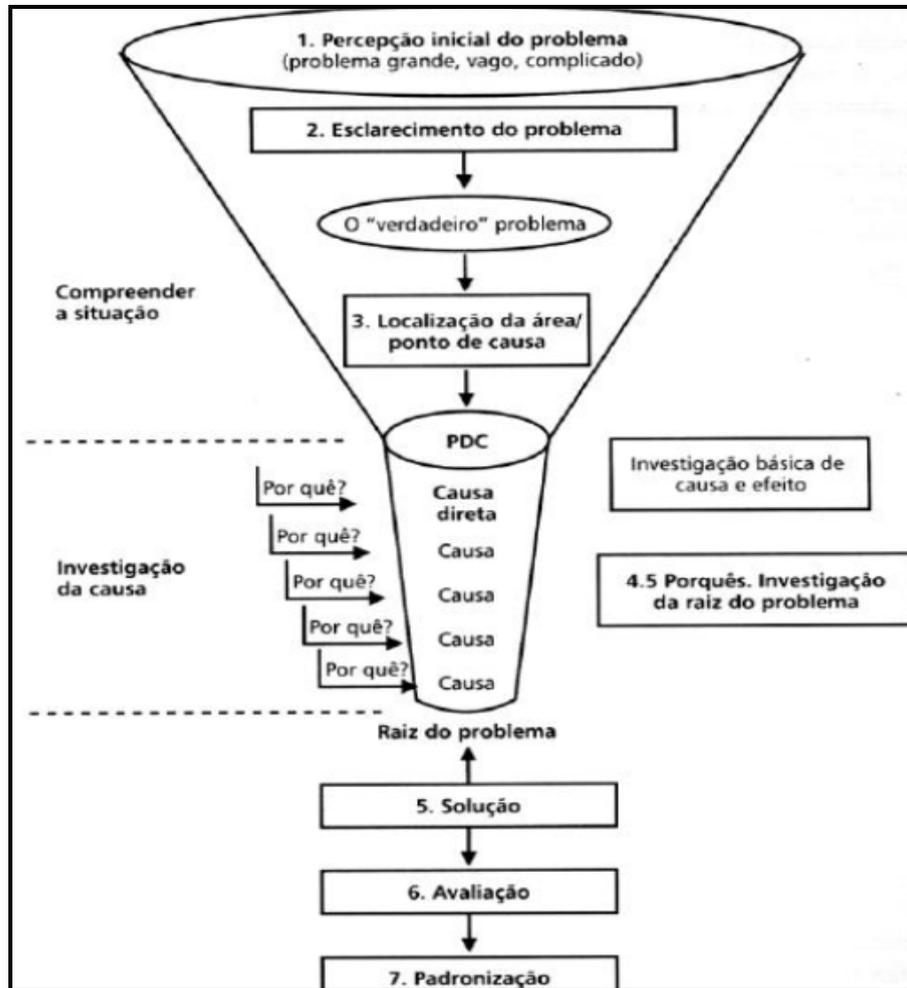
- ▶ Porque o eixo da bomba estava gasto e vibrando.

- Por que o eixo estava gasto e vibrando?

- ▶ Porque não havia tela e entrava limalha.

Entretanto, segundo Liker (1997) essa técnica é usada como parte de um processo chamado “Solução prática de problemas” que consiste em sete passos, nesse processo, primeiro é preciso esclarecer e compreender o problema. Os sete passos são ilustrados na figura 3 a seguir.

Figura 3: Processo de solução prática de problemas da Toyota.

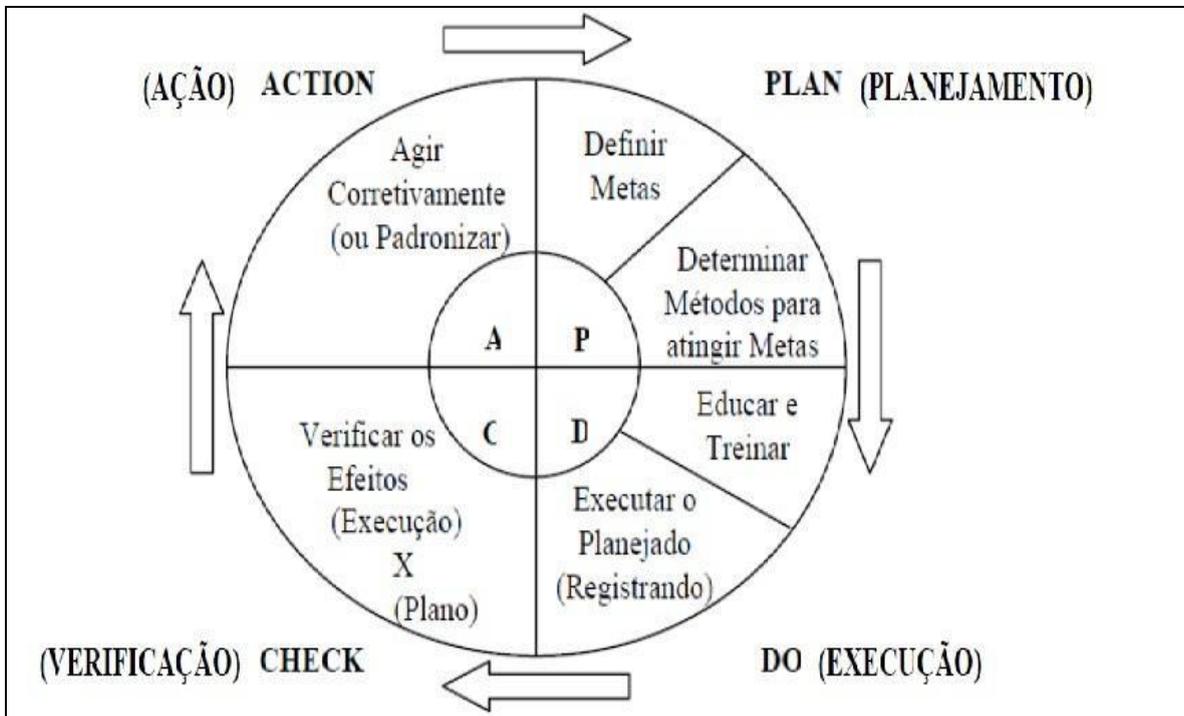


Fonte: LIKER, 1997.

2.5.6 Ciclo de Deming (PDCA)

O ciclo PDCA é uma ferramenta muito utilizada em melhoria contínua, ou seja, quando é identificado o problema ou uma oportunidade de melhoria, as etapas são realizadas através de um processo contínuo, que podem ser visualizadas na figura 04.

Figura 4: Ciclo PDCA.



Fonte: Campos, 1992.

- Etapa 1 - P = (Plan- planejar): nesta etapa são apontadas as metas, os problemas, as oportunidades de melhoria e os caminhos para soluçona-los;
- Etapa 2 - D = (Do/executar): nesta etapa devem ser executados os planos/caminhos para solução dos problemas, e seus resultados e dificuldades devem ser anotados;
- Etapa 3 - C = (Check/checagem): baseado nos resultados experimentais da segunda etapa deve-se avaliar se as metas foram atingidas, e o planejamento definido na primeira etapa deve ser reavaliado;
- Etapa 4 – A = (Act/ação): nesta fase, o planejamento que foi reavaliado é implantado, passando a fazer parte normal dos processos; sendo o ciclo reiniciado tomando-se como base o que foi realizado (CORRÊA, 2005).

Esta ferramenta é utilizada para a busca da melhoria contínua, procurando formas mais abrangentes e aceitáveis para a melhoria, a parte mais importante é quando acontece a

conclusão de sua aplicação, uma vez que o ciclo recomeça novamente (SOKOVIC, et al, 2010).

2.5.7 Análise dos efeitos e modos de falha (FMEA)

A metodologia designada FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas), como é conhecida nas indústrias, é uma ferramenta que procura, em sua aplicação, evitar por meio da análise das falhas em potenciais e sugestões de ações de melhoria, que ocorram falhas oriundas do projeto, do produto ou do planejamento e execução do processo, e tem por objetivo aumentar a confiabilidade dos produtos, ou seja, reduzir a taxa de falhas dos produtos. (TOLEDO, 2002)

Segundo Toledo (2002) a ferramenta FMEA pode ser descrita como uma metodologia sistemática que deve ser aplicada por grupos multidisciplinares, para aumentar o grau de percepção, de análise e de solução das falhas e defeitos, com a interação dos conhecimentos das pessoas envolvidas. Os objetivos do grupo, na aplicação do FMEA são:

- Reconhecer e avaliar as falhas potenciais de um produto ou processo e seus efeitos;
- Identificar as causas dessas falhas;
- Identificar ações, principalmente de prevenção, que possam eliminar ou reduzir a chance de uma falha potencial ocorrer;
- Avaliar os riscos envolvidos com a falha, considerando sua gravidade, chance de ocorrer e possibilidade de ser identificada antes do produto ser encaminhado ao mercado;
- Documentar o processo, para trabalhos futuros e registrar e compartilhar as lições aprendidas pelo grupo na aplicação específica de FMEA.

2.4.8 Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar o desempenho e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria contínua da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes e consumidores, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio (WERKEMA, 2004).

Para Rotondaro (2002) a metodologia Seis Sigma incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos, conseguindo a excelência na competitividade, ainda o Seis Sigma visa reduzir a variabilidade e aumentar a capacidade dos processos, a implementação está vinculada ao uso de métodos estatísticos que buscam facilitar a interpretação de relações de causa e efeito que impactam diretamente nos processos críticos para o negócio.

Segundo Carvalho (2005), o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas, organizadas em um método de solução de problemas, denominado DMAIC e que passa por cinco fases: Definir (Define - D), Medir (Measure - M), Análise (Analyze -A), Melhoria (Improve - I) e Controle (Control - C).

- Definir - Esta fase possui como foco a identificação dos problemas e situações a serem melhoradas nos processos da organização, seja ele, fabricante ou prestação de serviços. As melhorias identificadas através da análise dos processos organizacionais devem ter como foco principal o atendimento das necessidades dos clientes da organização (STAMATIS, 2004).

- Medir – Nesta fase, são discutidos os procedimentos para coleta de informações dos processos a serem melhorados, através destes procedimentos que as informações sobre o desempenho atual dos processos são identificadas. Estas informações são valiosas para o desenvolvimento do plano de coleta, permitindo com isto, preparar a estrutura de avaliação de desempenho dos processos, que tem a função de acompanhar e medir o andamento dos processos, permitindo que melhorias possam ser implementadas em conformidade com os resultados obtidos (STAMATIS, 2004).

- Analisar - O objetivo desta fase é consolidar o plano de coleta de informações da fase

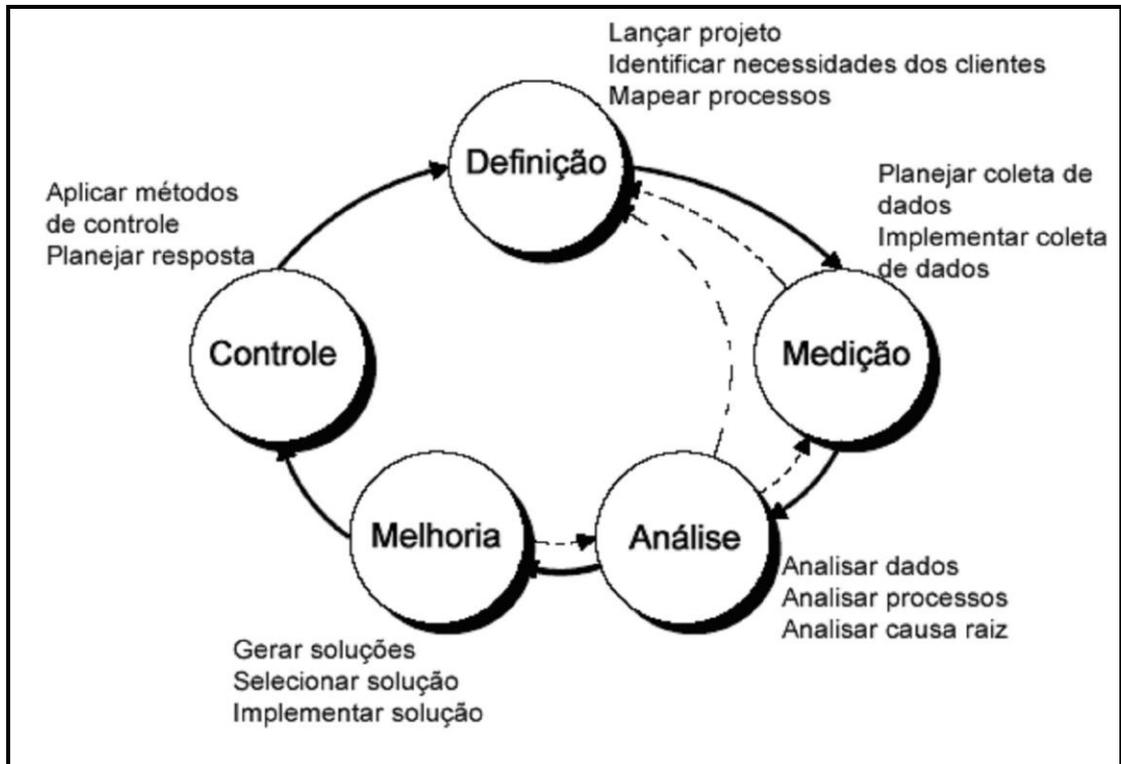
“Medir” e das oportunidades de melhorias identificadas na fase “Definir”. Esta análise em conjunto das melhorias detectadas e das medições dos processos atuais, permite que a equipe de trabalho tire conclusões sobre as melhorias a priorizar, identifique as origens dos problemas e principalmente, quais são os reais benefícios das melhorias identificadas (STAMATIS, 2004).

- Melhorar - O objetivo desta fase é encontrar caminhos, realizar projetos pilotos de ajustes em processos e implanta-los, os dados obtidos de informações da satisfação dos clientes em conjunto com dados de desempenho de processos, auxilia a equipe de trabalho a propor mudanças, em alguns casos ajustes. O custo benefício de uma mudança é analisado, para se concluir, se o impacto da mudança é realmente benéfico tanto em redução de custos como em benefícios para os clientes da organização (STAMATIS, 2004).

- Controlar - O objetivo desta fase é controlar os processos existentes, aplicar medições com o intuito de monitorar o andamento dos processos e antecipar ações corretivas e de prevenção de desvios. Tudo isso acompanhado por um plano de controle onde ficam registrados os responsáveis, os sistemas avaliados, os parâmetros de desempenho e medidas corretivas aplicadas (STAMATIS, 2004).

A figura 5 a seguir, nos mostra todas as fases do ciclo DMAIC e associado a cada uma das fases é indicado as principais atividades envolvidas nesta etapa.

Figura 5: Ciclo de melhoria DMAIC.



Fonte: ECKES, 2001.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa do trabalho foi realizado o estudo de alguns casos históricos de tragédias que aconteceram no passado por falta de informação e ferramentas existentes nos dias atuais, que poderiam prever as falhas que levaram os equipamentos a um fim trágico. O trabalho está diretamente ligado a esses casos, pois eles foram grandes influenciadores nos estudos atuais, como análises de falhas e melhoria.

3.1 Casos históricos

Na história existem diversos casos de desastres que ocorreram pela falta de conhecimento sobre assuntos como, fragilização, fadiga, etc. Alguns desses desastres têm causado danos materiais e humanos durante os anos, como poderemos ver a seguir. Mas os estudos desses casos causaram um grande avanço nos dias atuais, como os estudos de análise de falhas e conceito de melhoria contínua, além de servir como fonte de dados sobre possíveis falhas que podem ocorrer em novos projetos.

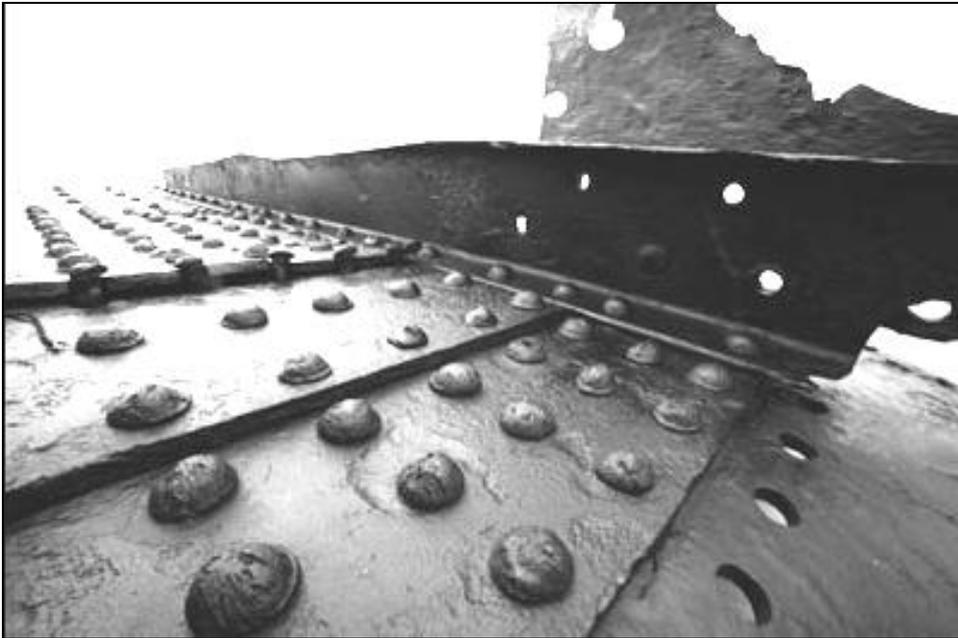
3.2 Naufrágio do Titanic

Segundo Ferreira (2013) um dos casos mais importantes de falhas foi o naufrágio do navio Titanic em 14 de abril de 1912, com mais de 1500 vítimas, muitas teorias foram levantadas para explicar o naufrágio da maior embarcação já criada pelas mãos do homem.

Segundo Ferreira (2013) em meados de 2000, dois metalúrgicos focaram a atenção sobre a composição dos rebites do Titanic. Eles combinaram a análise metalúrgica com uma varredura metódica através dos registros da Harland and Wolff, em Belfast, estaleiro

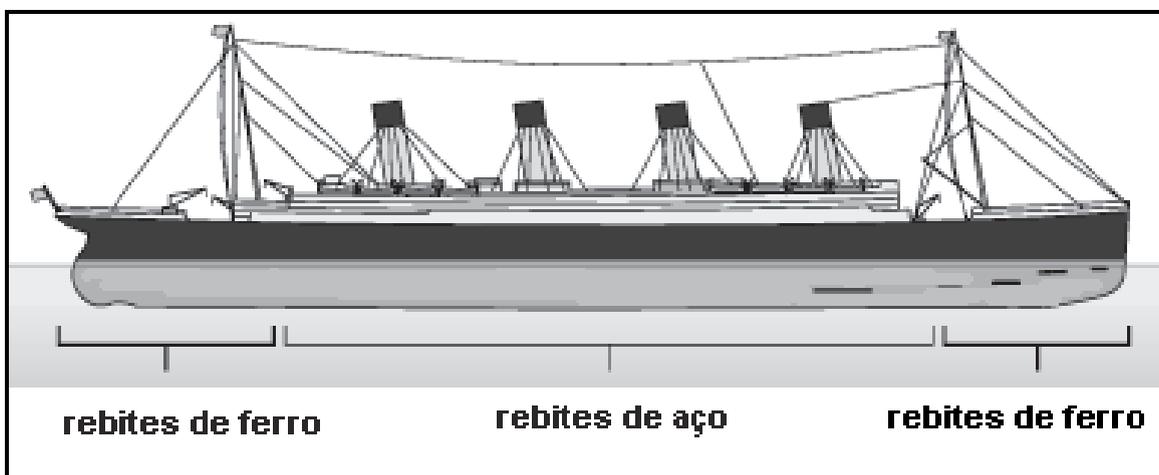
onde o Titanic foi construído. Combinando análise física e histórica, eles descobriram que os rebites que fixavam as chapas de aço leve do casco do Titanic, não eram de composição uniforme ou de qualidade, e não tinham sido inseridos de maneira que ficassem igualmente espaçados uns dos outros. Foi descoberto também que os rebites da parte da frente e os da parte traseira, correspondentes a dois quintos do comprimento total do casco, eram de qualidade inferior quando comparados aos usados na parte do meio do casco, e, além disso, tinham sido inseridos manualmente, a razão para isto é que, no momento da construção do Titanic, as prensas hidráulicas usadas para inserir os rebites no meio do casco, e que correspondiam a três quintos do navio, não podiam operar em lugares onde a curvatura do casco era muito acentuada, isto é, nas pontas da embarcação. Além disso, pode ter ocorrido simplesmente uma redução de custos. Os rebites de qualidade inferior eram mais baratos, mas tinham uma maior concentração de impurezas, conhecidas como "escória". Esta maior concentração de escória significava que os rebites estariam particularmente vulneráveis às tensões de cisalhamento, justamente o tipo de impacto que foram submetidos naquela noite de Abril de 1912. Testes de laboratório demonstraram que nas cabeças destes rebites podem ter surgido pressões extremas, que teriam permitido que as placas de aço se soltassem no casco, expondo suas câmaras internas ao ataque das águas. As figuras 6 e 7 demonstram a posição dos rebites nos cascos do Titanic.

Figura 6: Representação dos rebites no casco.



Fonte: <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/09/caso-037-fragilizacao-frio-titanic-1912.html>

Figura 7: Posicionamento dos rebites no casco do Titanic.

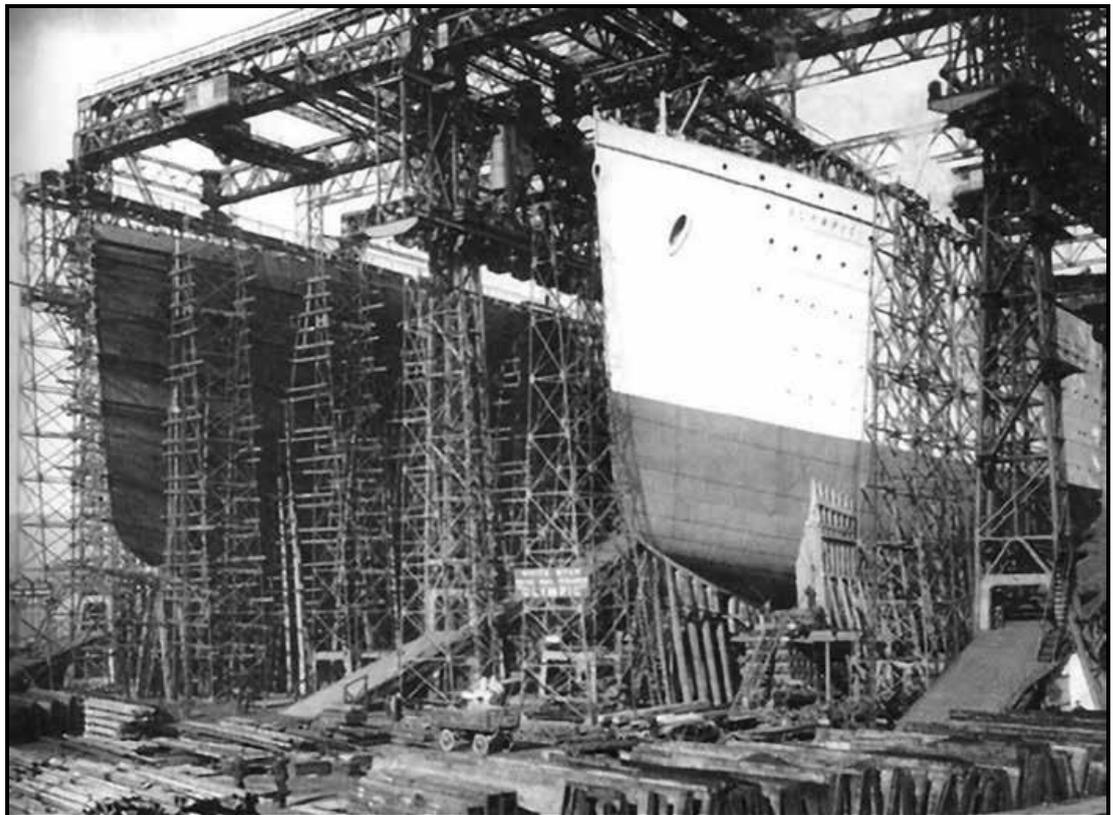


Fonte: <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/09/caso-037-fragilizacao-frio-titanic-1912.html>.

Testes da composição química do aço utilizado na construção do Titanic mostraram um alto teor de enxofre, oxigênio e fósforo. Altos teores desses elementos fragilizam o aço. A análise também mostrou baixos teores de manganês. Teores maiores de manganês tornariam o aço mais dúctil e menos propenso à fragilização. Ensaio de impacto realizados mostraram que o material do Titanic era 10 vezes mais frágil do que os aços de fabricação moderna, quando testados à temperatura estimada da água quando o navio se chocou com o iceberg. O acidente com o Titanic fez com que os estudos para o desenvolvimento de dispositivos como sonares e ultrassons se intensificassem, o evento também provocou um avanço nos estudos das áreas de análise e prevenção de falhas (FERREIRA, 2013).

A figura 8 mostra a construção do navio que tinha suas placas rebitadas.

Figura 8: Construção do Titanic



Fonte: McCARTY e FOECKE, 2008.

3.3 Navios Liberty

Os Navios da serie Liberty foram construídos durante a segunda guerra mundial e suas estruturas eram soldadas para economizar tempo na montagem devido a grande demanda de suprimentos que atravessavam o Oceano Atlântico do EUA para Inglaterra principalmente, com a finalidade de abastecer as tropas aliadas durante a época de guerra. Os efeitos da temperatura, dos concentradores de tensão e de tensões residuais não eram bem compreendidos. Por esse motivo (desconhecimento metalúrgico da solda e dos materiais) os navios da série Liberty tornaram-se um exemplo clássico de acidentes provocados por fratura frágil até os dias de hoje. Muitos deles acabavam afundando antes de cumprir a travessia do Atlântico, alguns fraturavam em alto mar e outros atracados no porto onde foi observado que o material perdia ductilidade necessária para resistir à baixa temperatura (FERREIRA, 2013). A figura 9 e 10 a seguir mostra a foto do navio da serie liberty e fratura dos navios ainda no porto.

Figura 9: Foto do navio da série Liberty.



Fonte: <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/11/caso-050-fratura-fragil-dos-navios.html>.

Figura 10: Fratura frágil em navios Liberty ainda no porto.



Fonte: <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/11/caso-050-fratura-fragil-dos-navios.html>.

3.4 Aviões Comet

Segundo Ferreira (2014) o avião “de Havillande Comet” de origem inglesa, ou simplesmente Comet, foi o primeiro avião comercial propulsionado por motores a jato fabricado no mundo. Com quatro reatores na raiz de suas asas, o Comet começou a operar em 1952 pela companhia aérea inglesa British Overseas Airways Corporation (BOAC). Foi um grande sucesso, pois voava com o dobro da velocidade dos seus concorrentes da época, porém, com um enorme consumo de combustível, suas rotas eram curtas. Entretanto, em 2 de maio de 1953, exatamente um ano após o início dos voos regulares com os Comet, a aeronave da BOAC de prefixo G-ALYV, decolou de Calcutá, Índia e explodiu, sem aviso, sobre o mar. Após breve investigação, os Comets continuaram a voar e de fato o fizeram, sem maiores complicações por oito meses, até as 10h30 da manhã do dia 10 de janeiro de 1954, inesperadamente, o Comet G-ALYP, que havia decolado de Roma se desintegrou enquanto sobrevoava o mar, perto da Ilha de Elba, matando seus trinta e cinco ocupantes. O acidente ocorreu devido ao desgaste na fuselagem que iniciou uma trinca no canto de uma das janelas, trincas de dimensões pequenas que geraram elevadas concentrações de tensão o que desencadeou a tragédia, desde então tanto as portas como as janelas dos aviões são feitos em formatos arredondados em seus cantos. Os voos foram suspensos por algum tempo, mas assim que foram retomados, outra aeronave se despedaçou em pleno ar,

novamente matando todos os ocupantes. Os navios de salvamento da Marinha Real Britânica foram enviados ao local do primeiro acidente para resgatar as peças do avião que estavam submersas, já que o segundo acidente aconteceu sobre águas profundas. Os destroços foram, então, enviados a Farnborough, Inglaterra onde o Comet acidentado foi cuidadosamente remontado, utilizando-se peças novas no lugar das que não foram resgatadas do avião acidentado. Outro Comet foi colocado em um tanque com água, para simular a mesma situação de diferença de pressão atmosférica e desgaste de material, descobriu-se finalmente que os projetistas não tinham preparado a estrutura para ser usada com essa diferença de pressão, logo os aviões eram verdadeiras “bombas” voadoras, bastou uma rachadura no teto do primeiro Comet acidentado para que ele se desintegrasse em pleno voo.

Ainda segundo Abrahão et al (2008) acredita-se que as falhas ocorridas nos aviões da Comet também custaram ao Reino Unido a perda de liderança no segmento da indústria comercial de aeronaves para os EUA o que é mantida até hoje. A figura 11 a seguir, nos mostra o avião “de havillande comet”.

Figura 11: Foto do avião “de havillande comet”



Fonte: ABRAHÃO et al, 2008.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Avaliando os casos históricos comentados, podemos chegar aos seguintes comentários:

- No caso do Titanic foi uma sucessão de falhas que levaram ao acontecimento, como a falha na escolha dos materiais adequados para a construção do navio. As placas de aço foram inadequadas para serem utilizadas naquelas temperaturas e os rebites eram de qualidade inferior. Houve também a falta de planejamento e melhor estudo para realização do tamanho do projeto. O legado pra época foi um melhor estudo de material para se trabalhar em baixas temperaturas.

- No caso dos navios da série Liberty foram realizados uma grande quantidade de navios em pouco espaço de tempo, principalmente devido ao grande esforço de guerra, com isso foram desenvolvidos técnicas de soldagem para época, e não havia o conhecimento de estudo de fraturas dúctil e frágil. Os navios tipo Liberty, da época da 2ª Guerra, que literalmente quebraram ao meio. Eles eram fabricados de aço com baixa concentração de carbono, que se tornou frágil em contato com as águas frias do mar. O legado pra época foi o desenvolvimento do ensaio de “Charpy” para verificar o comportamento do aço em diferentes temperaturas, definindo-se a energia necessária para rompimento em baixas temperaturas.

- No caso dos aviões da serie Comet, não foi levado em conta no projeto a fadiga por causa da pressurização e despressurização da aeronave (desconhecimento do mecanismo de fadiga dos materiais levando ao erro de projeto da aeronave). Os erros de projeto cometidos no Comet tiveram pelo menos uma consequência positiva. Depois deles (final da década de 1950), todos os jatos comerciais já saíram das pranchetas com janelas arredondadas, para eliminar pontos de tensão que pudessem causar a fadiga e o rompimento brusco da fuselagem. O legado pra época foi o estudo da fadiga dos materiais em situações cíclicas de atuação.

A falta de conhecimento técnico de materiais e das ferramentas adequadas, foram o pivô destas tragédias, o conhecimento dessas técnicas poderiam ter evitado estes acontecimentos, pois seriam levantados todos os pontos críticos de projetos, execução, condições climáticas e materiais, ainda na fase de criação, com a ajuda das ferramentas de análise e melhoria que foram estudadas durante o trabalho, as chances de ter evitado as falhas

seria bem maior, e criando planos de contingência e manutenção para se prever acontecimentos que não poderiam ser percebidas pelos operadores, as perdas seriam bem menores. Um ponto forte nesses acontecimentos foi que eles incentivaram ao estudo das técnicas citadas durante o trabalho, criando assim um processo constante pela busca da perfeição.

5 CONCLUSÃO

O estudo das ferramentas de qualidade nos mostra que a análise de falhas tem grande contribuição na melhoria contínua, portanto não deve ser deixada de lado quando se quer conhecer a causa raiz de um problema seja ele o qual for. Quando se tem o intuito de melhoria contínua, toda e qualquer ferramenta de análises de dados é de grande importância e contribuição para se chegar às causas que levam um sistema a não atingir seus resultados esperados e então encontrar formas de corrigir este problema, além de introduzir a prática da melhoria contínua de forma espontânea.

As técnicas para análise de falhas são de grande valor, pois nos guiam até a causa raiz do problema, e se conhecendo essa causa podemos criar planos de correção que eliminarão esses problemas de forma a melhorar continuamente projetos e ambientes de produção. O uso correto e sem queimar etapas das ferramentas estudadas podem proporcionar ganhos reais na produção de uma indústria.

Fatos históricos também comprovam que o conhecimento da causa raiz de uma determinada falha de equipamento pode ser usado para se melhorar futuros projetos e até incentivar o estudo de novas tecnologias que facilitarão o entendimento da falha e até a eliminação da mesma, além de se iniciar um processo contínuo para se implantar melhorias e consequentemente reduzir custos que são gerados direta e indiretamente com a falha de um componente ou equipamento.

Com a análise do trabalho podemos concluir que o conhecimento e entendimento das técnicas de análise de falhas e melhoria contínua são de grande importância para redução de custos nas empresas, além de nos apontar caminhos a serem seguidos na realização de novos projetos para que não sejam cometidas as mesmas falhas do passado.

Para se entender melhor a os benefícios das ferramentas de melhoria contínua para redução de custo, seria interessante estudar as ferramentas isoladamente e obter dados que demonstrem essa redução.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABRAHÃO R. R. R.; BITTENCOURT C.; TSURUTA K. M.; RADE R. S. L. **Fadiga de materiais - Uma revisão bibliográfica**. 2008. Universidade federal de Uberlândia. Uberlândia - MG.

ALVES, T.P.C. **Melhoria contínua: Importância e aplicação no processo produtivo de uma indústria metalúrgica**. 2010. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo- SP.

ARAÚJO, R. **ANÁLISE DE FALHA APLICADA A REDUTORES DE VELOCIDADE COM PERDA DE LUBRIFICANTE POR VAZAMENTO**. 2011. Dissertação (MBA)- ICAP – Instituto Superior de Tecnologia. São João Del Rei - MG.

BAZI, F.L.; TROJAN, F. **Análise de falhas: uma visão holística da melhoria contínua através da manutenção produtiva total (TPM) em um estudo de caso**. Revista ADMPG Gestão Estratégica, Ponta Grossa, v. 7, n. 2, p.51-61, 2014. Disponível em: <http://www.admpg.com.br/brevista2014_2artigos6%20%20-%20artigo_6.Pdf> Acesso em; 12/04/2015.

BELMONTE, D. L.; SCANDELARI, L. **Gestão do conhecimento: aplicabilidade prática na gestão da manutenção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.pg.cefetpr.br/ppgep/Ebook/ARTIGOS2005/E-book%202006_artigo%2054.pdf>. Acesso em: 22/09/2015.

CAMPOS, V. F. **Controle da Qualidade Total (no estilo Japonês)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 2010.

CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CESAR, F.I.G. **Implantação de programas de melhoria contínua: um estudo em fornecedores de autopeças**. 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade Metodista de Piracicaba. Piracicaba- SP.

CHIAVENATO, I. **Administração nos novos tempos**. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

CORRÊA, H. L. **Just In Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A.. **Administração de Produção e de Operações: Manufatura e Serviços: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2005.

DAYCHOUW, M. **40 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.

ECKES, G. **The Six Sigma Revolution**. 4 ed. Elsevier, 2001.

FERREIRA, C. C.. **Caso 037: Fragilização à Frio? – Titanic (1912)**. 2013. Disponível em: <<http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/09/caso-037-fragilizacao-frio-titanic-1912.html>> Acessado em; 28/10/2015.

FERREIRA, C. C.. **Caso 050: Fratura Frágil dos Navios Classe Liberty (1941/1945)**. 2013. Disponível em: < <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2013/11/caso-050-fratura-fragil-dos-navios.html> > Acessado em; 28/10/2015.

FERREIRA, C. C.. **Caso 060: Aviões Comet – Falhas por Fadiga (1952/1954)**. 2014. Disponível em: < <http://inspecaoequipto.blogspot.com.br/2014/02/caso-060-avioes-comet-falhas-por-fadiga.html> > Acessado em; 28/10/2015.

FERREIRA, L. L.. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

JUNIOR, I. M; CIERCO, A. A.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; LEUSIN, S. **Gestão da Qualidade**. 8 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

JUNIOR, J.W.B. **A FALHA NÃO É UMA OPÇÃO**. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/192/192.pdf>> Acesso em; 12/04/2015.

KARDEC, A.; CARVALHO, C. **Gestão estratégica e terceirização**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark. Petrobras, 2009.

LIKER, J.K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

McCARTY, J.H., FOECKE, **What Really Sank TheTitanic**, T.Citadel Press Book, NY, 2008.

MOUBRAY, J., **Reliability-centered maintenance**. 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALLEROSI, C., **Confiabilidade, A quarta dimensão da qualidade**. Vol. Manutenibilidade e Disponibilidade. ReliaSoft Brasil, 2007.

RAUSAND, M. **Reliability Centered Maintenance**. Reliability Engineering and System Safety, Vol. 60, 1998.

ROTONDARO, R.G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para melhoria dos processos, produtos e serviços**. São Paulo; Atlas, 2002.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SOKOVIC, M.; PAVLETIC, D.; PIPAN, K. K. **Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS**. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2010. Disponível em <http://www.doaj.org/doi/fulltext&passMe=http://www.journalamme.org/papers_vol43_1/43155.pdf> Acesso em; 01/09/2015.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

STAMATIS, H. D. **Six Sigma Fundamentals: A complete guide to the system, methods and tools**. New York, Productivity Press, 2004.

TAKAYAMA, M.A.S. **Análise de Falhas aplicada ao Planejamento Estratégico da Manutenção**. 2008. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso)- Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora- MG.

TOLEDO, J.C. **Metodologias para Análise e Melhoria da Qualidade**. Apostila, GEPEQ/DEP/UFSCar. São Carlos, 2002.

WERKEMA, M.C.C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Werkema, 2004.

WERKEMA. M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.