

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Edson Teixeira de Araújo

**INTEGRAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA COM A
AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DA QUALIDADE: UMA
APLICAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW**

**Taubaté - SP
2011**

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

A659i Araújo, Edson Teixeira de
Integração da ferramenta FMEA com a avaliação dos custos da
qualidade: uma aplicação no processo de soldagem GMAW / Edson
Teixeira de Araújo. - 2011.
124f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica, 2011.

Orientação: Prof. Dr. Álvaro Azevedo Campos, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Análise de falhas. 2. Ferramenta FMEA. 3. Soldagem GMAW.
4. Custos da qualidade. I. Título.

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Edson Teixeira de Araújo

**INTEGRAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA COM A
AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DA QUALIDADE: UMA
APLICAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção

Orientador: Prof. Álvaro Azevedo Cardoso, Ph.D.

**Taubaté - SP
2011**

EDSON TEIXEIRA DE ARAÚJO
INTEGRAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA COM A AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DA
QUALIDADE: UMA APLICAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia Mecânica
do Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica
Orientador: Prof. Álvaro Azevedo Cardoso,
Ph.D.

Data: 11 de Novembro de 2011

Resultado:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Álvaro Azevedo Cardoso – Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura_____

Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves – Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura_____

Prof. Dr. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto – Universidade Paulista - UNIP

Assinatura_____

***Dedico este trabalho à minha esposa
Noélia, pelo incentivo, apoio, e
compreensão nos meus momentos de
ausência.***

AGRADECIMENTOS

À UNITAU

Ao meu orientador, Prof. Dr. Álvaro Azevedo, pelo apoio e paciência;

Aos Professores Carlos Alberto Chaves e Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto, pelos valiosos comentários para a melhoria deste trabalho;

Aos meus colegas de classe pelo companheirismo;

A todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho

**“A única moeda verdadeiramente boa e
pela qual convém trocar todas as
restantes é a sabedoria”**

Platão. 428-347 a. C.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma abordagem da ferramenta FMEA, *Failure modes and effect analysis*, em uma integração com os custos relativos à qualidade, aplicada ao processo de soldagem GMAW, *gas metal arc welding*. O objetivo principal é evidenciar a importância da utilização desta ferramenta para se prever e prevenir falhas de processo antes que as mesmas ocorram, e minorar os custos da qualidade envolvidos. A proatividade da ferramenta FMEA proporciona, através das ações recomendadas de melhoria, a possibilidade de se mensurar com antecipação os custos relativos à prevenção, avaliação e falhas de qualidade. O método empregado para esta abordagem foi de uma pesquisa-ação, sendo estabelecida uma equipe multidisciplinar para implantação e execução da FMEA e avaliação dos custos da qualidade. Os resultados obtidos na fase anterior à aplicação da FMEA informavam que os custos das falhas apresentavam uma participação de 89,84% dos custos da qualidade; com a utilização da ferramenta, estes foram reduzidos para 3,82% devido ao investimento de melhoria. Objetivando-se equilibrar os custos associados, foi projetada uma estimativa futura de 50% de custo de falhas. Na análise comparativa dos custos da qualidade, foi verificado que os custos de falhas relativos à fase anterior ao FMEA reduziram 86% em relação à projeção futura, e os custos da qualidade reduziram de 74%, evidenciando-se deste modo o benefício da utilização da ferramenta FMEA para a redução de custos operacionais.

Palavras-chave: Análise de falhas; Ferramenta FMEA; Custos da qualidade; Soldagem GMAW; Ferramentas de análise e solução de problemas.

ABSTRACT

This paper presents an approach of the FMEA tool, “Failure modes and effect analysis”, in integration with the costs of quality, applied to the GMAW welding process, “gas metal arc welding”. The main objective is to highlight the importance of using this tool to predict and prevent process failures before they occur, and reduce the costs of quality involved. The proactivity of FMEA tool, provides through the recommended actions for improvement, the possibility to measure in advance the costs of prevention, assessment and quality failures. The method employed for this approach was an action research, which established a multidisciplinary team for deployment and implementation of FMEA and evaluation of quality costs. The results obtained in the previous phase to the implementation of FMEA reported that the cost of failure had a 89.84% share of the costs of quality; using the tool, these were reduced to 3.82% due to improved investment. In order to balance the costs, was projected a 50% estimated future cost of failures. In comparative cost analysis we founded that the quality failure costs related to the phase prior to FMEA reduced 86% compared to the projected future, and quality costs were reduced of 74%, demonstrating thereby the benefit of using the FMEA tool to reduce operating costs

Keywords: Failure analysis; FMEA Tool; Quality costs; GMAW Welding; Tools of analyzing and solving problems.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. NATUREZA DO PROBLEMA.....	17
1.2. OBJETIVO	17
1.3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	17
1.4. CONTRIBUIÇÃO.....	18
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1. ANÁLISE DE FALHAS	20
2.1.1. Conceituação de falhas:	20
2.1.2. Conceituação do modo de falha ocasionado por pessoas:	20
2.1.3. Percepção das falhas	24
2.1.4. Classificação e terminologias aplicadas em análise de falhas	25
2.1.5. Classificação dos defeitos	29
2.1.6. Classificação das falhas	30
2.1.7. Falhas de sistemas.....	33
2.1.8. Classificação dos panes	34
2.2. A FERRAMENTA FMEA	36
2.2.1. Contexto histórico	37
2.2.1.1. O exército americano.....	37
2.2.1.2. A NASA	37
2.2.1.3. A Indústria automobilística.....	37
2.2.2. Fluxo de desenvolvimento da FMEA	37
2.2.3. A Importância da ferramenta FMEA	38
2.2.4. Classificação da FMEA.....	39
2.2.4.1. Tipos de FMEA.....	39
2.2.4.2. Padrões de FMEA	40
2.2.5. O Formulário da FMEA.....	41
2.2.6. A Estratégia da FMEA	45
2.3. CUSTOS DA QUALIDADE.....	50
2.3.1. Conceituação da Qualidade	50
2.3.2. Definições de custos.....	53
2.3.3. Contexto histórico dos custos da qualidade	55

2.3.4.	Classificação dos custos da qualidade	55
2.3.5.	A importância de se avaliar os custos da qualidade	60
2.4.	PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW	69
2.4.1.	A Evolução dos processos de soldagem	69
2.4.2.	O Processo de soldagem GMAW	70
2.4.3.	Características principais dos equipamentos de soldagem	70
2.4.4.	Principais defeitos da soldagem GMAW	73
2.4.5.	Inspeção de soldagem.....	78
2.4.5.1.	Qualificações do inspetor de soldagem	78
2.4.5.2.	Sequência das operações de inspeção de soldagem.....	79
2.4.6.	Controle de qualidade na soldagem	81
2.4.6.1.	Ensaio não destrutivo.....	81
2.5.	FERRAMENTAS DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	85
2.5.1.	Definição, identificação e delimitação de problemas	85
2.5.2.	Método dos 5 porquês	87
2.5.3.	Brainstorming.....	88
2.5.4.	Folha de verificação.....	90
2.5.5.	Plano de ação 5W2H.....	90
2.5.6.	Mapa do processo	90
3.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	93
3.1.	O MÉTODO DA PESQUISA-AÇÃO	93
4.	DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES.....	97
4.1.	ELABORAÇÃO DA FMEA DO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW	98
4.2.	MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	104
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	105
5.1.	LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DA QUALIDADE.....	105
5.1.1.	Custos da qualidade antes da implantação da FMEA	105
5.1.2.	Custos da qualidade na fase de implantação da FMEA	108
5.1.3.	Previsão futura dos custos da qualidade	111
5.1.4.	Análise comparativa dos custos da qualidade.....	113
6.	CONCLUSÃO.....	115
	REFERÊNCIAS.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre o desempenho do trabalhador e a pressão	22
Figura 2 - Diferentes visões sobre falhas	24
Figura 3 - Análise em função das características das falhas.....	25
Figura 4 - Distribuição temporal das falhas	26
Figura 5 - Classificação das falhas.....	27
Figura 6 - Gráfico de áreas	47
Figura 7 - Gráfico de áreas	48
Figura 8 - Custos da qualidade	57
Figura 9 - Tipos de custos	59
Figura 10 - Cenário do custo total de uma organização	63
Figura 11 – Trilogia da qualidade proposta por Juran	67
Figura 12 - Custos diretos e indiretos.....	68
Figura 13 - Evolução dos processos de soldagem.....	69
Figura 14 - Arco elétrico	70
Figura 15 - Equipamento básico para soldagem semi-automática GMAW	72
Figura 16 - Equipamento básico para soldagem automática GMAW	73
Figura 17 - Falta de fusão	74
Figura 18 - Falta de penetração	75
Figura 19 - Porosidade.....	75
Figura 20 - Mordedura.....	76
Figura 21 - Trinca longitudinal	77
Figura 22 - Convexidade excessiva	77
Figura 23 - Identificação radiográfica	82
Figura 24 - Identificação de fissura por ensaio eletromagnético	83
Figura 25 - Diagrama simplificado do detector Sperry	83
Figura 26 - Detecção de defeitos por onda ultra-sônica.....	84
Figura 27 - Custo dos desperdícios.....	86
Figura 28 - Fases do brainstorming.....	89
Figura 29 - Mapa de processo.....	91
Figura 30 - Gráfico de áreas (Severidade x Ocorrência).....	101
Figura 31 - Análise comparativa dos custos parciais da qualidade.....	113
Figura 32 - Análise comparativa dos custos totais da qualidade.....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modo de Falha humano	21
Quadro 2 - Critérios de falha	24
Quadro 3 - Formulário da FMEA	41
Quadro 4 - Escala de avaliação da severidade	43
Quadro 5 - Escala de avaliação da ocorrência.....	44
Quadro 6 - Escala de avaliação da detecção	44
Quadro 7 - Formulário de entrada de dados para FMEA	47
Quadro 8 - Matriz de investigação de causas comuns.....	48
Quadro 9 – Abordagens da qualidade.....	51
Quadro 10 – Definição da qualidade pelos gurus da qualidade	52
Quadro 11 - Cenário do custo de uma organização	60
Quadro 12 - Custos da qualidade conforme o tipo de indústria.....	63
Quadro 13 - Distribuição dos custos da qualidade	64
Quadro 14 - Tipos de gastos por categoria de custos da qualidade	65
Quadro 15 - Fluxo do processo de desenvolvimento das atividades	98
Quadro 16 - Formulário de entrada dos dados para FMEA	100
Quadro 17 - Matriz de investigação das causas comuns	101
Quadro 18 - Formulário da FMEA do processo de soldagem	103
Quadro 19 - Formulário 5W2H	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos de prevenção antes da aplicação da FMEA.....	106
Tabela 2 - Custos de avaliação antes da aplicação da FMEA	107
Tabela 3 - Custos das falhas antes da aplicação da FMEA	107
Tabela 4 - Cenário dos custos da qualidade antes da implantação da FMEA	107
Tabela 5 - Custos de prevenção durante a aplicação da FMEA	109
Tabela 6 - Custos de avaliação durante a aplicação da FMEA.....	109
Tabela 7 - Custos de falhas durante a aplicação da FMEA	110
Tabela 8 - Cenário dos custos da qualidade durante a implantação da FMEA.....	110
Tabela 9 - Previsão futura dos custos de prevenção após a aplicação da FMEA...	111
Tabela 10 - Previsão futura dos custos de avaliação após a aplicação da FMEA ..	111
Tabela 11 - Previsão futura dos custos de falhas após a aplicação da FMEA.....	112
Tabela 12 - Previsão futura dos custos totais após a aplicação da FMEA.....	112

LISTA DE SIGLAS

ABC - *Activity Based Costing* (Custeio Baseado em Atividade)

ASQ – *American Society for Quality* (Associação Americana para a Qualidade)

DFMEA - *Design Failure Mode and Effect Analysis* (Análise do Efeito e Modo de Falha em Projeto)

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

GMAW – *Gas Metal Arc Welding* (Soldagem à arco de metal em gás)

MAG – *Metal Active Gas* (Metal e gás ativo)

MIG – *Metal Inert Gas* (Metal e gás inerte)

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (Administração do Espaço e da Aeronáutica Nacional)

PFMEA - *Process Failure Mode and Effect Analysis* (Análise do Efeito e Modo de Falha em Processo)

RPN – *Risk Priority Number* (Número de Prioridade de Risco)

SAE – *Society of Automobile Engineers* (Sociedade de Engenheiros Automotivos)

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho é desenvolvida uma pesquisa ação, realizada em uma fábrica de máquinas industriais, cujo foco é a utilização da ferramenta FMEA, *failure mode and effect analysis*, integrada com a avaliação dos custos diretos da qualidade, com o principal objetivo de demonstrar a importância de utilização da FMEA para a redução dos custos relacionados às falhas do processo, e como parâmetro para se racionalizar os investimentos em qualidade, ou seja, nas componentes de avaliação e prevenção.

O processo de soldagem de componentes mecânicos representa uma etapa de grande valor agregado à fabricação, pois conforme Araújo *et al* (2009), o processo de soldagem é um dos pontos críticos de qualquer indústria de fabricação de máquinas e equipamentos, e esforços que visem à melhoria contínua desse processo devem ser motivados pela gerência da empresa e os envolvidos com a qualidade, e portanto, foi escolhido como ponto inicial de aplicação do estudo abordado, e que poderá também futuramente ser estendido a outros processos da cadeia de valor.

Uma equipe multidisciplinar foi organizada para desenvolver e implementar o trabalho. Esta equipe inicialmente passou por um treinamento para adquirir os conhecimentos necessários para assumir a condição de desenvolvedora da FMEA na organização, e avaliadora dos custos da qualidade associados ao processo em estudo.

Uma vez treinados os responsáveis pela execução dos trabalhos, a responsabilidade e coordenação dos resultados foi encarregado a um líder para a

FMEA. Todas as decisões que sustentaram a pesquisa foram tomadas por consenso da equipe, através de reuniões de *brainstorming*, e as informações necessárias ao estudo foram obtidas através de registros históricos de documentos, levantamento de campo e estimativas baseadas na experiência de membros da equipe.

1.1. NATUREZA DO PROBLEMA

O presente trabalho, considerando-se a aplicação da ferramenta FMEA, e a avaliação dos custos da qualidade, tem como proposta responder a seguinte questão central da pesquisa: A utilização da ferramenta FMEA proporcionaria redução nos custos da qualidade em um processo de soldagem GMAW?

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor uma integração entre a ferramenta FMEA, e a análise dos custos da qualidade, aplicados em um processo de soldagem GMAW, de forma a demonstrar a importância da utilização da ferramenta para a redução dos custos de prevenção e avaliação de falhas.

1.3. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido em uma fábrica de produção de equipamentos mecânicos, onde o processo de soldagem é parte integrante do processo produtivo, e constitui-se um dos gargalos da produção. Sendo um processo de grande valor agregado, este estudo está delimitado ao processo de soldagem *gas metal arc welding* – GMAW.

1.4. CONTRIBUIÇÃO

Na área acadêmica, este estudo almeja contribuir com a aplicação da ferramenta de análise dos modos de falha e efeitos, cujo termo em inglês é *failure mode and effect analysis* (FMEA), em uma associação com a avaliação dos custos da qualidade, de forma a tornar evidente a utilização desta ferramenta para a redução dos custos de prevenção e avaliação de falhas.

Na área de gestão empresarial, este estudo de integração da ferramenta FMEA com a avaliação dos custos da qualidade se mostra promissor, pois, uma vez que a ferramenta tem como principal característica a proatividade para a prevenção de problemas de processo antes que o mesmo ocorra, a integração das abordagens possibilita uma tomada de decisão racional para os investimentos em prevenção e avaliação, para que se atinja uma redução de perdas materiais e econômicas.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está fundamentado em 6 capítulos que contextualizam o estudo realizado, e cuja contribuição pode ser elucidada da seguinte forma:

Capítulo 1: Trata-se deste capítulo em questão, onde o trabalho é introduzido, justificado através da formulação do problema em estudo, e onde seus objetivos e estruturas são definidos.

Capítulo 2: Neste capítulo foi realizada a revisão bibliográfica do trabalho, relativo à análise de falhas, ferramenta FMEA, custos da qualidade, soldagem, e ferramentas de análise e solução de problemas.

Capítulo 3: Neste capítulo é descrito o método de pesquisa utilizado no trabalho, que foi a realização de uma pesquisa-ação.

Capítulo 4: Neste capítulo é realizado a FMEA de processo para a soldagem GMAW, e é proposto um método para análise e solução das causas das falhas encontradas.

Capítulo 5: Neste capítulo são levantados os custos da qualidade, e são apresentadas as análises comparativas dos custos da qualidade antes, durante e após a utilização da FMEA.

Capítulo 6: Neste capítulo apresentam-se as conclusões obtidas com a pesquisa realizada.

Ao fim do trabalho encontram-se todas as referências bibliográficas utilizadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são desenvolvidos os estudos conceituais que fundamentam a realização deste trabalho. Os temas abordados nesta etapa foram: a análise de falhas, a ferramenta FMEA, os custos da qualidade, o processo de soldagem GMAW, e ferramentas de análise e solução de problemas.

2.1. ANÁLISE DE FALHAS

2.1.1. Conceituação de falhas:

Podemos conceituar uma falha quando a capacidade de um item em desempenhar uma função requerida ou esperada é interrompida ou alterada (SIQUEIRA, 2005).

2.1.2. Conceituação do modo de falha ocasionado por pessoas:

A causa inicial de toda falha é devida ao ser humano, e não é resultado de um evento aleatório. As falhas devem ser encaradas na organização como uma oportunidade de melhoria, pois muito se pode aprender a partir das falhas, e uma mudança de comportamento pode ser tomada (Slack *et al*, 2009).

Segundo Siqueira (2005), os modos de falhas ocasionados por pessoas são de difícil caracterização por serem menos compreendidos, mas podem ser classificados como sendo ocasionados por distração, lapso, engano ou violação. A distração é uma falha na atenção, em que uma ação prevista não é executada, ou é substituída por uma ação errada. O lapso ocorre quando há um esquecimento do executante. O engano é resultante de falha do conhecimento, provocada por erro de

execução. A violação é um desvio intencional quanto aos procedimentos e normas preestabelecidas.

Deve-se distinguir claramente o modo de falha e a causa da falha. O modo de falha descreve o que está errado no funcionamento do item, e a causa descreve porque está errada. O Quadro 1 relaciona o modo e causa de falha relacionada às pessoas.

Quadro 1 - Modo de Falha humano

MODO DE FALHA	TIPO DE FALHA	CAUSA DA FALHA
Distração	De atenção	Atividades monótonas Ambiente inadequado Problemas pessoais o impedem de fazer
Lapso	De esquecimento	Limitações pessoais o impedem de fazer Atividades pouco frequentes
Engano	De conhecimento	Não sabem por que fazer Não sabem como fazer Não sabem quando fazer Não sabem o que fazer Pensam que estão fazendo certo Ninguém consegue fazer
Violação	De intenção	Acham sua maneira melhor de fazer Acham que não vai dar certo Não vêem benefício em fazer Pensam que estão fazendo certo Acham outra coisa mais importante São compensados por não fazer São punidos por fazer Vêem consequência negativa em fazer Não há consequência negativa por não fazer São compensados para fazer outra coisa Existem obstáculos além de seu controle

Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005.

As falhas ocasionadas por pessoas, de um modo geral, podem ser classificadas como erros e violações, sendo que os erros podem ser entendidos como enganos de julgamento, e violações são atos que são claramente contrários ao procedimento operacional definido (Slack *et al*, 2009).

Segundo Rodrigues (2006), as causas de erro humano nos processos produtivos podem ter várias origens, destacando-se as motivadas por:

Falta de atenção ou descuido: relativas à fadiga do trabalhador, em relação ao excesso de pressão sobre o mesmo, sendo o desempenho do trabalhador proporcional a esta pressão até certo momento, depois um aumento de pressão não altera o desempenho, e finalmente mais aumento de pressão causa queda no desempenho, sendo este o principal gerador de falta de atenção, descuido e fadiga (Fig.1).

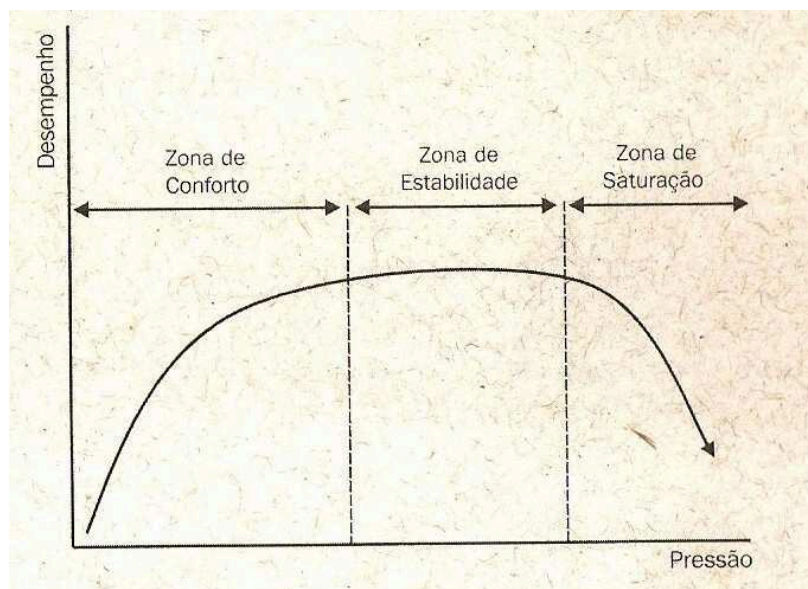


Figura 1 - Relação entre o desempenho do trabalhador e a pressão

Fonte: Rodrigues, 2006.

A negligência, falta de capacitação, falta de comprometimento e erros premeditados: que são diretamente relacionados à política de recursos humanos, e à falta de adaptabilidade dos programas de treinamento e de integração nas organizações.

Os modos de falha ocasionados por equipamentos mecânicos, podem ter como modo de falha: fraturas, desgaste, deformação e incrustação (SIQUEIRA, 2005).

Os modos de falha ocasionados por equipamentos elétricos podem ter como modo de falha: perdas, isolamento e resistência (SIQUEIRA, 2005).

Os modos de falha ocasionados por elementos estruturais podem ter como modo de falha: um dano acidental, deterioração ambiental, e danos por fadiga (SIQUEIRA, 2005).

As falhas são medidas em relação à frequência com que elas ocorrem, a probabilidade de sua ocorrência, e quanto ao período de tempo disponível para a operação do equipamento. Estas medidas dão origem respectivamente aos números de taxas de falha, de confiabilidade e de disponibilidade (Slack *et al*, 2009). A confiabilidade de um processo é a probabilidade do mesmo operar dentro das especificações, em um período e condições definidas, onde não haja falha (RODRIGUES, 2006).

2.1.3. Percepção das falhas

Segundo Siqueira (2005), as falhas podem ser percebidas de formas diferentes para cada usuário de um sistema conforme os desvios de desempenho encontrados. Dependendo do contexto operacional, variações mínimas de desempenho podem ser classificadas conforme Quadro 2, relativa à abordagem de cada profissional que faz a avaliação do sistema (Fig.2).

Quadro 2 - Critérios de falha

PROFISSIONAL	CRITÉRIO DE FALHA
Supervisor de Segurança	Se ameaçar a integridade física das pessoas serão falhas funcionais
Supervisor de Qualidade	Se ultrapassarem os limites aceitáveis serão falhas de qualidade
Gerente de Manutenção	Haverá uma falha quando ocorrer um desvio maior de qualidade
Gerente de Produção	Haverá uma falha quando a produção for paralisada

Fonte: Adaptado do texto de Siqueira, 2005.

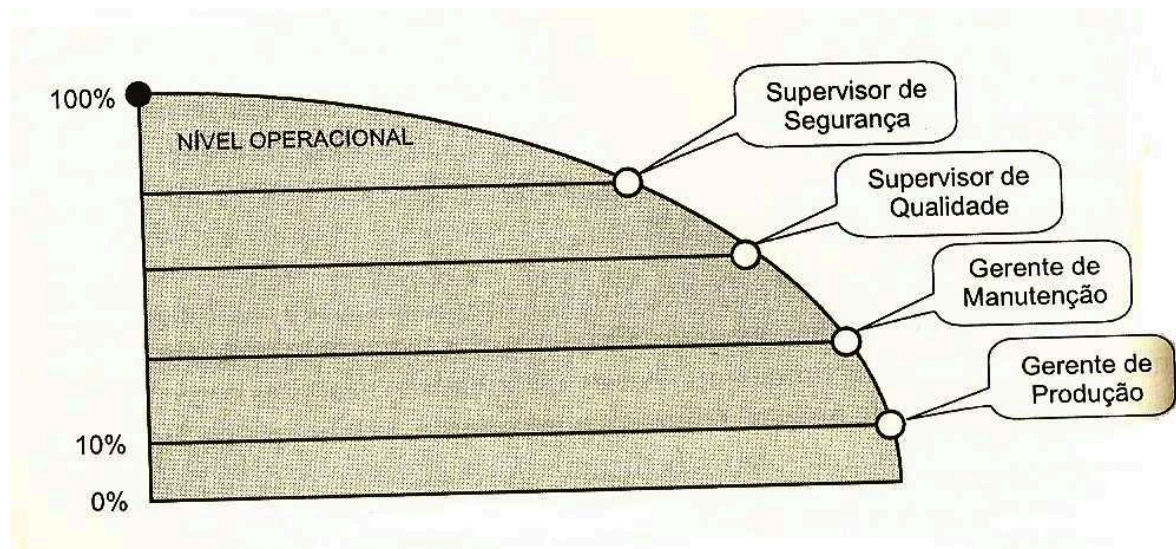


Figura 2 - Diferentes visões sobre falhas

Fonte: Siqueira, 2005.

Segundo Afonso (2006), para o tratamento das diversas falhas deverá haver uma priorização em função dos recursos disponíveis e das características das falhas (Fig.3).

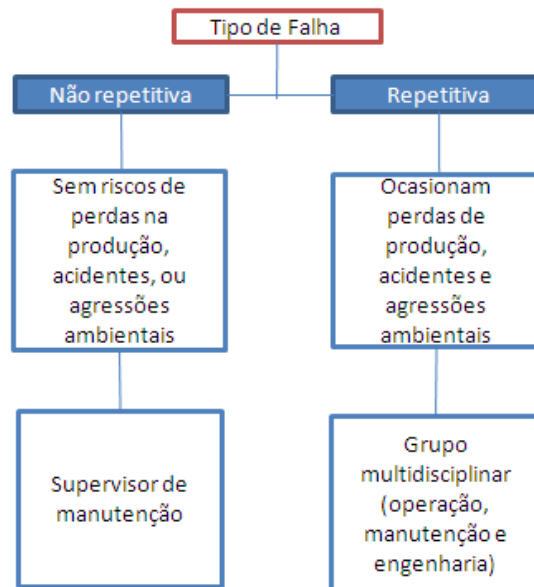


Figura 3 - Análise em função das características das falhas

Fonte: Adaptado de Afonso, 2006

2.1.4. Classificação e terminologias aplicadas em análise de falhas

Conforme Rodrigues (2006), as falhas podem ser classificadas durante o tempo de vida de um processo, em falhas de partida, aleatórias ou causais, e falhas de desgaste (Fig.4).

As falhas prematuras ou de partida: são falhas que ocorrem no período de introdução, ou período inicial do processo, e estão relacionadas à adaptação dos equipamentos, capacitação dos operadores e falta de maturidade na gestão ou operação do processo (RODRIGUES, 2006).

Falhas aleatórias ou casuais: ocorrem no período de maturidade, ou seja, a de operação plena do processo, e estão relacionadas a causas aleatórias que podem ser de natureza técnica, operacional ou humana (RODRIGUES, 2006).

Falhas por desgaste: ocorrem no período de desgaste do processo devido ao tempo de utilização, podendo ser antecipado devido à manutenção não adequada, ou a problemas de gestão (RODRIGUES, 2006).

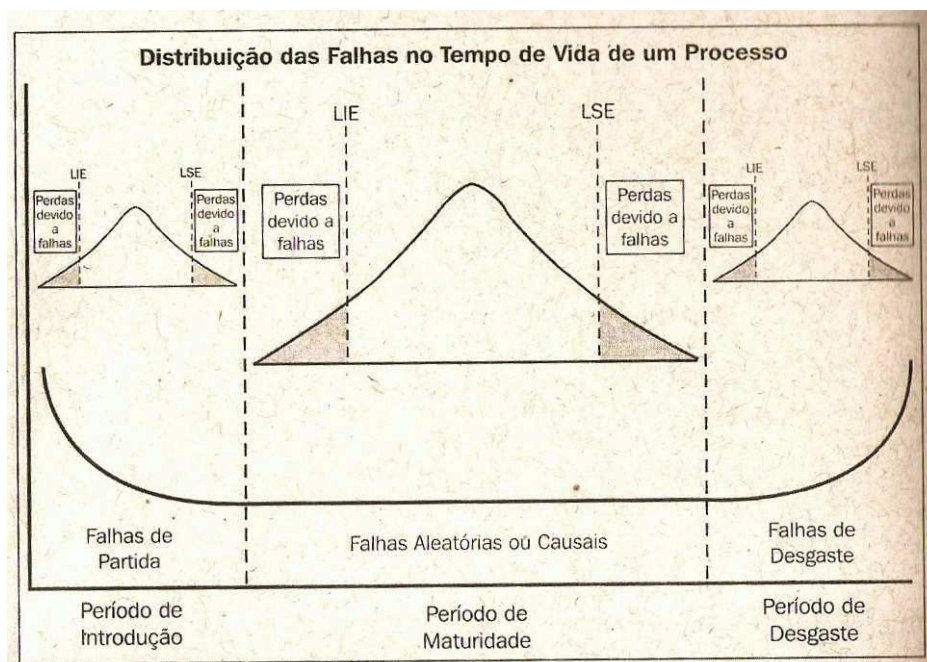


Figura 4 - Distribuição temporal das falhas

Fonte: Rodrigues, 2006

Conforme Siqueira (2005), as falhas podem ser classificadas quanto à extensão, manifestação, criticidade, velocidade, idade e origem. As definições conforme este autor estão citadas nos parágrafos seguintes (Fig.5).

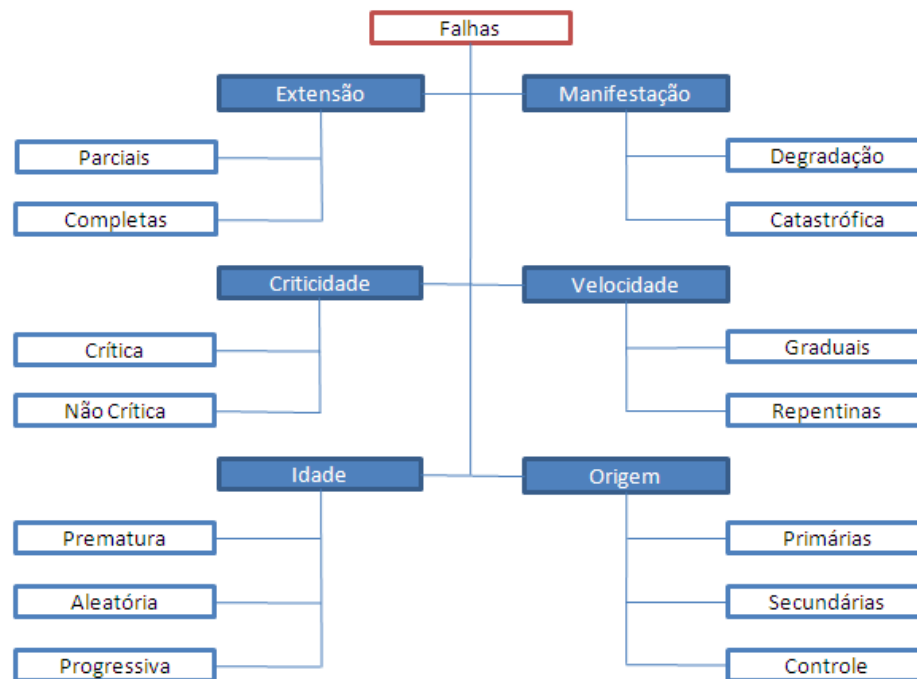


Figura 5 - Classificação das falhas

Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005

Quanto a sua extensão, as falhas podem ser parciais ou completas, sendo a parcial, quando há um desvio da característica funcional do item, sem perda total da sua funcionalidade. A falha completa resulta da perda da funcionalidade total do item.

Quanto à manifestação, as falhas podem ocorrer por degradação, quando ocorre de forma parcial e gradual, e podem ser catastróficas, quando ocorrem de forma repentina.

Quanto a sua criticidade as falhas críticas são aquelas que produzem as condições inseguras e perigosas, e as não críticas não produzem este efeito.

Quanto a sua velocidade, as falhas podem ser graduais, ou seja, aquelas que podem ser previstas por inspeções, e as repentinas, quando não existe esta possibilidade de inspeção.

Quanto à idade, as falhas podem ser prematuras, quando ocorrem na fase inicial da vida útil do componente, são aleatórias quando ocorrem de forma imprevisível e progressiva, quando ocorrem devido a um processo constante de deterioração.

Quanto a sua origem as falhas podem ser primárias quando o equipamento opera dentro de seus limites normais e secundária quando proveniente de fontes externas, como sobrecarga, e de controle, devido à utilização inadequada do componente.

A norma brasileira, ABNT NBR 5462:1994, que define os termos relacionados com a confiabilidade e a manutenibilidade de sistemas, apresenta as terminologias relacionadas aos conceitos de defeito, falha, e pane, conforme descritos abaixo:

Defeito: é qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos. Estes mesmos requisitos podem, ou não ser expressos na forma de uma especificação. O defeito pode, ou não, afetar a capacidade de um item de desempenhar uma função requerida.

Falha: é o término da capacidade de um item em desempenhar a função requerida. Depois da falha, o item tem uma pane. A falha difere da pane por a falha ser um evento e a pane um estado.

Pane: é o estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos. Uma pane é geralmente o resultado de uma falha de um item, mas pode existir sem uma falha anterior.

2.1.5. Classificação dos defeitos

A norma brasileira ABNT NBR 5462:1994, em sua definição de termos, classifica os defeitos em:

Defeito crítico: é o defeito que resultará em condições perigosas e inseguras para pessoas, danos materiais significativos, ou outras consequências inaceitáveis.

Defeito não crítico: trata-se do defeito que não seja crítico, conforme definição anterior.

Defeito maior: defeito que provavelmente resultará em uma falha ou reduzirá substancialmente a utilização do item para o fim a que se destina. Um defeito maior pode ser crítico ou não crítico.

Defeito menor: trata-se do defeito que não seja maior, conforme definição anterior. Um defeito menor também pode ser crítico ou não crítico. Um item defeituoso, é um item que contém um ou mais defeitos, podendo ser um item defeituoso crítico, quando contém um ou mais defeitos críticos, maior, quando contém um ou mais defeitos maiores ou pode ser um defeito menor.

Defeito de projeto: é o defeito de um item devido a um projeto inadequado.

Defeito de fabricação: é o defeito de um item devido a não-conformidade da fabricação com o projeto ou com os processos de fabricação especificados.

2.1.6. Classificação das falhas

Conforme a ABNT NBR 5462:1994, um critério de falha é um conjunto de regras aplicáveis ao julgamento de tipos e gravidade de falhas, para a determinação dos limites de aceitação de um item. Para Blache e Shrivastava (1994), as falhas são eventos que tornam um recurso indisponível para o uso. A mesma norma, em sua definição de termos, classifica as falhas em:

Falha crítica: falha que provavelmente resultará em condições perigosas e inseguras para pessoas, danos materiais significativos ou outras consequências inaceitáveis.

Falha não crítica: é a falha que não seja crítica, conforme exposto na definição anterior.

Falha por uso incorreto: falha devida à aplicação de solicitações além dos limites especificados ou a erros de instalação ou operação.

Falha por manuseio: falha causada por manuseio incorreto ou falta de cuidado com o item.

Falha por fragilidade: Falha devida a uma fragilidade no próprio item, quando submetido a solicitações previstas nas especificações. Uma fragilidade pode ser inerente ou induzida.

Falha de projeto: falha de um item devido a um projeto inadequado.

Falha de fabricação: falha de um item devida a não conformidade da fabricação com o projeto ou com os processos de fabricação especificados.

Falha aleatória: é qualquer falha cuja causa ou mecanismo faça com que seu instante de ocorrência se torne imprevisível, a não ser no sentido probabilístico ou estatístico.

Falha por deterioração: falha que resulta de mecanismos de deterioração inerentes ao item, os quais determinam uma taxa de falha instantânea crescente ao longo do tempo.

Falha repentina: falha que não poderia ser prevista por um exame anterior ou monitoração.

Falha gradual: falha devida a uma mudança gradual com o tempo de dadas características de um item. Uma falha gradual pode ser prevista por um exame anterior ou monitoração e pode, às vezes, ser evitada por ações de manutenção.

Falha catastrófica: falha repentina que resulta na incapacidade completa de um item desempenhar todas as funções requeridas.

Falha relevante: falha que deve ser considerada na interpretação dos resultados operacionais ou de ensaios, ou no cálculo do valor de uma medida de confiabilidade. O critério para consideração deve ser especificado.

Falha não relevante: falha a ser desconsiderada na interpretação dos resultados operacionais ou de ensaios, ou no cálculo do valor de uma medida de confiabilidade. O critério para desconsideração deve ser especificado.

Falha primária: falha de um item que não é causada direta ou indiretamente pela falha ou pane de outro item.

Falha secundária: falha de um item causada direta ou indiretamente pela pane ou falha de outro item.

Causa da falha: circunstâncias relativas ao projeto, fabricação ou uso que conduzem a uma falha.

Falha sistemática: falha relacionada de um modo determinístico a uma certa causa, que somente pode ser eliminada por uma modificação do projeto, do processo de fabricação, dos procedimentos operacionais, da documentação ou de outros fatores relevantes. A falha sistemática pode ser reproduzida, sempre que se queira, simulando-se a causa da falha.

Falha parcial: falha que resulta na incapacidade do item desempenhar algumas, mas não todas as funções requeridas.

Falha por degradação: falha que simultaneamente é gradual e parcial.

Falha completa: falha caracterizada pelo fato do item não conseguir desempenhar nenhuma das funções requeridas.

2.1.7. Falhas de sistemas

Segundo Slack *et al* (2009), as falhas na produção podem ocorrer devido a fontes internas da produção como pessoas e máquinas, falhas relativas ao material ou informações fornecidas à operação, ou causadas por ações dos clientes devido ao mau uso do produto.

A origem de todas as falhas é relacionada a algum tipo de falha humana. A conscientização de que se pode aprender com as falhas levou ao conceito de se encarar a falha como uma oportunidade de melhoria, de modo a se identificar o ocorrido, e implementar procedimentos que eliminem ou reduzam a probabilidade de ocorrerem novamente (SLACK *et al*, 2009).

A organização deve estabelecer políticas e procedimentos que ajudem a produção a se recuperar de falhas, e estes mecanismos para a detecção de falhas devem ser proativos (SLACK *et al*, 2009).

Segundo Campo (2003), as estratégias definidas pelas empresas devem ser algo definido e contínuo, pois a flexibilidade de estratégias é um erro.

As empresas que almejam ser competitivas e conseqüentemente se manterem no mercado devem buscar definir e estruturar estratégias que favoreçam este objetivo (CAMPO, 2003).

A maioria das operações utiliza a amostragem como forma de se avaliar a qualidade de seus produtos. Pode-se utilizar de uma amostra para se avaliar a

qualidade de um lote de produtos, e economizar em tempo de checagem. Ocorre que este procedimento possui alguns problemas inerentes. Neste procedimento pode existir o erro de tomar uma decisão de fazer alguma coisa, e a situação não garantir que aquilo poderia ser feito, ou de outro modo, alguma coisa poderia deixar de ser feita, quando na realidade, uma decisão de fazer devia ser tomada, e a situação garantia que deveria ser feito algo. Slack *et al* (2009) classifica estes erros respectivamente como erros de tipo 1 e erros de tipo 2. Para exemplificar, ele cita como erro de tipo 1, o fato de uma pessoa que decide atravessar uma rua, quando não há uma parada no tráfego. Quanto ao erro de tipo 2, seria se a mesma pessoa não decidisse atravessar a rua mesmo havendo condições adequadas de tráfego. Portanto para se realizar uma checagem correta de amostras deve-se levar em consideração o risco estatístico envolvido, e isto pode ser realizado com o método de controle estatístico de processo.

Na abordagem do controle estatístico do processo, as falhas são medidas conforme a sua frequência, sua probabilidade de ocorrência, e quanto à disponibilidade do equipamento, constituindo-se desta forma os indicadores de taxas de falha, confiabilidade e disponibilidade, respectivamente (SLACK *et al*, 2009).

2.1.8. Classificação dos panes

A norma brasileira ABNT NBR 5462:1994, em sua definição de termos, classifica os panes em:

Pane crítica: é o pane que provavelmente resultará em condições perigosas e inseguras para as pessoas, danos materiais significativos ou outras consequências inaceitáveis.

Pane não crítica: é a pane que não seja crítica, conforme definição anterior.

Pane maior: pane que afeta uma função considerada de maior importância.

Pane menor: pane que não afeta uma função considerada de maior importância.

Pane por uso incorreto: pane devida à aplicação de solicitações além dos limites especificados ou por erros de instalação ou operação.

Pane por manuseio: pane causada por manuseio incorreto ou falta de cuidado.

Pane por fragilidade: Pane devida a uma fragilidade do próprio item, quando submetido a solicitações previstas nas especificações. Uma fragilidade pode ser inerente ou induzida.

Pane de projeto: pane de um item devida a um projeto inadequado.

Pane de fabricação: pane de um item devida a não conformidade da fabricação com o projeto ou com os processos de fabricação especificados.

Pane permanente: Pane que persiste até que uma ação de manutenção corretiva seja realizada.

Pane temporária: pane que persiste por uma duração limitada, após a qual o item recupera sua capacidade de executar a função requerida sem ser

submetido a qualquer ação de manutenção corretiva. Esta pane normalmente se repete.

Pane intermitente: pane temporária, que se repete.

Pane determinada: pane cuja resposta é sempre a mesma para todas as ações (para itens que produzem uma resposta como resultado de uma ação).

Pane indeterminada: pane em que o erro que afeta a resposta depende da ação aplicada (para itens que produzem uma resposta como resultado de uma ação). Um exemplo é a pane evidenciada por dados.

Pane latente: é a pane existente, mas que ainda não foi percebida.

Pane sistemática: é a pane resultante de uma falha sistemática.

Modo de pane: Um dos possíveis estados de um item em pane.

Item em pane: item em estado de pane.

2.2. A FERRAMENTA FMEA

Neste item trata-se da técnica de análise de falhas conhecida como FMEA – *Failure mode and effect analysis* – análise do efeito e modo de falhas, que tem como objetivo identificar as falhas em um produto antes que as mesmas ocorram. Segundo Slack *et al* (2009), este procedimento é construído em torno de algumas perguntas-chave, quais sejam, qual a probabilidade de uma falha ocorrer? Qual seria a consequência da falha? Com qual probabilidade esta falha é detectada antes de afetar o cliente?

2.2.1. Contexto histórico

2.2.1.1. O exército americano

Em 1949 foi criado pelo exército dos Estados Unidos procedimentos para desenvolver uma análise de modo, efeitos, e criticidade de falhas (*procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*), que posteriormente ficou conhecido como FMEA (*Failure mode and effect analysis*), ou seja, análise do modo e efeito de falhas (DAILEY, 2004).

2.2.1.2. A NASA

A técnica conhecida como FMEA surgiu em 1963, durante o projeto da missão Apollo, desenvolvida pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para identificar de forma sistemática, falhas potenciais em sistemas, processos ou produtos, determinar seus efeitos, suas causas, e definir ações para diminuir ou eliminar o risco associado a falhas (PUENTE *et al.*, 2002).

2.2.1.3. A Indústria automobilística

Posteriormente a FMEA foi utilizada pela indústria automobilística como forma de evitar que os problemas chegassem até os consumidores (DAILEY, 2004). A *Ford Motors* passou a utilizar a FMEA a partir de 1977 na fabricação de automóveis, então a ferramenta passou a ser mais abrangente (GILCHRIST, 1993).

2.2.2. Fluxo de desenvolvimento da FMEA

Segundo Helman e Andery (1995), o desenvolvimento da FMEA deve seguir o seguinte fluxo:

- a) Definir a equipe responsável pela execução;
- b) Definir os itens do sistema que serão considerados;
- c) Preparação prévia e coleta de dados;
- d) Análise preliminar dos itens considerados;
- e) Identificação dos modos de falhas e seus efeitos;
- f) Identificação das causas das falhas;
- g) Identificação dos controles atuais de detecção das falhas;
- h) Determinação dos índices de criticalidade;
- i) Análise das recomendações;
- j) Revisão dos procedimentos;
- k) Preenchimento do formulário da FMEA a partir das listas de verificação;
- l) Reflexão sobre o processo.

2.2.3. A Importância da ferramenta FMEA

A FMEA auxilia na busca das causas dos problemas, e também na elaboração do plano de ação para o seu bloqueio (HELMAN; ANDERY, 1995). Trata-se de um método padronizado e analítico para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática (HELMAN; ANDERY, 1995). Com a utilização da

FMEA a confiabilidade do produto ou processo aumenta diminuindo as suas possibilidades de falha (MANUAL DA QS 9000, 1997). Segundo Palady (2004), as falhas não identificadas no projeto podem ser consideradas pelo engenheiro com esta ferramenta.

A FMEA proporciona um melhor conhecimento dos problemas de processos e produtos, colabora promovendo ações de melhoria, e favorece a diminuição de custos por meio da análise de ocorrência de falhas, impulsiona o trabalho em equipe, busca sempre a satisfação dos clientes, melhora a produtividade, aumenta a competitividade e crescimento dos mercados (CIMA; OPAZO, 2010).

Conforme Pollock (2005 *apud* Aguiar e Mello, 2008), a FMEA é utilizada para se realizar uma avaliação de risco do processo, informando quais os impactos no cliente, relativo à falha de determinada função.

2.2.4. Classificação da FMEA

2.2.4.1. Tipos de FMEA

Conforme Stamatis (2003), pode-se ter os seguintes tipos de FMEA:

- a) FMEA de produto, projeto, ou DFMEA (*design failure mode and effect analysis*):

A FMEA de produto refere-se às falhas que podem ocorrer com o produto relativamente às especificações do projeto. O objetivo é evitar falhas no produto devido a uma falha do projeto. A FMEA de produto é também chamada de FMEA de projeto (TOLEDO; AMARAL, 2010).

- b) FMEA de processo ou PFMEA (*process failure mode and effect analysis*):

A FMEA de processo refere-se às falhas que podem ocorrer no planejamento e execução do processo (TOLEDO; AMARAL, 2010).

Conforme Stamatis (2003), ainda existe a FMEA orientada para processos administrativos ou serviços, sendo esta aplicação menos comum.

Neste trabalho é abordado a utilização da FMEA de processo, que segundo Garcia (2000 *apud* Aguiar e Salomon, 2007), permite a melhoria contínua, e serve de registro histórico para futuros estudos relacionados à processos.

2.2.4.2. Padrões de FMEA

Conforme Dailey (2004), atualmente são aceitos os seguintes padrões de FMEA:

- a) O J1739, mantido pela SAE, Sociedade dos engenheiros automotivos;
- b) A FMEA-3 do Grupo de ação da indústria automotiva;
- c) O manual da FMEA da ASQ, Associação americana para qualidade.

2.2.5. O Formulário da FMEA

Segundo Palady (2004), as regiões do formulário da FMEA como mostrado no Quadro 3, possuem as seguintes informações:

Quadro 3 - Formulário da FMEA

FMEA - ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA									
Descrição (Projeto/Processo/Serviço)		Departamento/Membros da equipe			Documentos afetados			Página ____ de ____	
Projeto _____		Projeto _____			ES _____			Original: _____	
Produção _____		Produção _____			PFD _____			Data: _____	
Confiabilidade _____		Confiabilidade _____			PC _____			Aprovações: _____	
Qualidade _____		Qualidade _____			Contrato _____			_____	
Fornecedores _____		Fornecedores _____			Levantamento _____			_____	
Clientes _____		Clientes _____			Plano de inspeção _____			_____	
FUNÇÕES	MODOS DE FALHA	EFEITOS	SEVERIDADE	CAUSAS	OCORRÊNCIA	CONTROLES	DETECÇÃO	AÇÕES RECOMENDADAS	STATUS

Fonte: Palady, 2004.

- a) Cabeçalho: possui informações básicas que são relativas do que se trata a FMEA, quem está envolvido no desenvolvimento, quais os departamentos serão influenciados, quando o documento foi iniciado, as atualizações, e quais são os responsáveis pela aprovação e revisões;
- b) Funções: informa o que esse projeto, processo ou serviço pode fazer para satisfazer o cliente;

- c) Modos de falha: Informa como o projeto, processo ou serviço deixa de desempenhar todas as funções que se esperam dele;
- d) Efeitos: Informa as consequências do modo de falha, refere-se ao ponto de vista do cliente quando o modo de falha potencial ocorre. Um dos erros mais comuns neste aspecto seria não adotar a perspectiva do cliente nesta abordagem;
- e) Severidade: Informa a gravidade das consequências do modo de falha, normalmente medida em uma escala de 1 a 10. O Quadro 4 mostra a escala de avaliação da severidade do modo de falha;
- f) Causas: informa as razões que possibilitam a ocorrência do modo de falha;
- g) Ocorrência: informa a chance da causa de falha estar realmente ocorrendo, normalmente medida em uma escala de 1 a 10. Pode também representar a frequência com que o modo de falha ocorre. Existem basicamente duas abordagens que podem ser consideradas, uma refere-se a avaliação da ocorrência do modo de falha, outra abordagem refere-se a avaliação da ocorrência de cada causa básica do modo de falha. O Quadro 5 mostra a avaliação da ocorrência do modo de falha, que é a abordagem que utilizaremos neste trabalho;

Quadro 4 - Escala de avaliação da severidade

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE	GRAU
Efeito não percebido pelo cliente	1
Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	2
Efeito insignificante, que perturba o cliente, mas não faz com que procure o serviço.	3
Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço.	4
Efeito menor, inconveniente para o cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	5
Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que o cliente procure o serviço.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.	7
Efeito significativo, resultando em falha grave; entretanto, não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.	9
Perigoso, ameaça a vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização.	10

Fonte: Palady, 2004.

Quadro 5 - Escala de avaliação da ocorrência

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA	PERCENTUAL	GRAU
Extremamente remoto e altamente improvável.	Menos de 0,01%	1
Remoto, improvável.	0,011-0,200	2
Pequena chance de ocorrência.	0,210-0,600	3
Pequeno número de ocorrências.	0,610-2,00	4
Espera-se um número ocasional de falhas.	2,001-5,00	5
Ocorrência moderada.	5,001-10,00	6
Ocorrência frequente.	10,001-15,00	7
Ocorrência elevada.	15,001-20,00	8
Ocorrência muito elevada.	20,001-25,00	9
Ocorrência certa.	Mais de 25%	10

Fonte: Palady, 2004.

- h) Controle: as formas de controle informam que tipos de controles foram planejados ou estão em vigor para garantir que todos os modos de falha sejam identificados e eliminados;
- i) Detecção: informa qual é a chance de detectar o modo de falha antes de os produtos serem entregues ao cliente, normalmente medida em uma escala de 1 a 10. O Quadro 6, apresenta a escala de avaliação da detecção do modo de falha;

Quadro 6 - Escala de avaliação da detecção

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO	GRAU
É quase certo que será detectado	1
Probabilidade muito alta de detecção.	2
Alta probabilidade de detecção.	3
Chance moderada de detecção.	4
Chance média de detecção.	5
Alguma probabilidade de detecção.	6
Baixa probabilidade de detecção.	7
Probabilidade muito baixa de detecção	8
Probabilidade remota de detecção	9
Detecção quase impossível	10

Fonte: Palady, 2004.

- j) Ações recomendadas: são informações relativas ao que pode ser feito para prevenir o modo de falha, reduzir a severidade, melhorar a detecção interna e melhorar a detecção pelo cliente;
- k) Situação das recomendações: Informa o que está sendo feito no momento para avaliar a viabilidade das ações recomendadas. Ainda segundo Palady (2004), as ações recomendadas para abordar um problema potencial identificado na FMEA deve possuir uma avaliação adequada dos custos de implementação e benefícios de qualidade e confiabilidade, senão pode haver o risco de se criar novos modos de falha.

2.2.6. A Estratégia da FMEA

Conforme Roos e Rosa (2008), existem basicamente três métodos de priorização da FMEA, o método tradicional, o método gráfico e o método baseado na Teoria de Grey.

O método tradicional consiste na obtenção do RPN do modo ou causa de falha, multiplicando-se as pontuações obtidas para as classificações de severidade, ocorrência e detecção (ROOS; ROSA, 2008).

No método gráfico, utiliza-se um gráfico, onde o eixo vertical corresponde ao índice de ocorrência do modo ou causa da falha, e o eixo horizontal corresponde à severidade de um modo de falha. No gráfico são definidas as três áreas de prioridade de acordo com a política da empresa em relação ao FMEA, em alta,

média e baixa, e são plotadas no gráfico as coordenadas de severidade e ocorrência de cada modo, ou causa de falha (PALADY, 2004).

O método baseado na Teoria de Grey foi proposto na década de 80 por Deng (1989). Neste método, a priorização é feita através de uma mensuração para verificar a relação entre séries qualitativas e quantitativas discretas, onde os componentes das séries devem estar de acordo com algumas características pré-definidas (LEAL; ALMEIDA, 2005; CHANG; WEI, 2001, *apud* ROOS; ROSA, 2008).

A estratégia da FMEA utilizada neste trabalho baseia-se nas novas técnicas apresentadas em um documento técnico da SAE (*Society of Automotive Engineers*), apresentado em congresso internacional em 1994, em Detroit, Michigan. Segundo Palady (2004), este documento, intitulado documento técnico nº 940884 da SAE, aborda os problemas encontrados durante as etapas iniciais de construção da FMEA e termina com as ações recomendadas para melhorias. Quatro técnicas foram introduzidas para se obter maior eficiência e foco da FMEA:

- a) Para a redução de custo e aumento da eficiência da coleta de dados, foi introduzido um formulário de entrada (Quadro 7), onde são atribuídos códigos alfanuméricos. O número da codificação alfanumérica é associado ao modo de falha e à letra aos efeitos potenciais, cujas informações servem de *inputs* para o gráfico de áreas, e para a matriz de investigação de causas comuns (Quadro 8).

Quadro 7 - Formulário de entrada de dados para FMEA

Formulário de Entradas para FMEA					
Modos de Falha	Efeitos	Sev.	Causa	Ocor.	Det.
1 Carta de instruções: instruções não claras	A Recebe classificação errada	9	Carta incompleta	2	4
	B Deve editar dados	5	Código errado Desconhecido		
2 Recebe dados apenas por código do motor	A Não pode gerar relatório	6	Código errado configuração do sistema	1	8
	B Alta estimativa	7	Desconhecido		
3	A Baixa estimativa	1	Perda de dados	0	10
		X		Y	

Fonte: Palady, 2004.

- b) Um gráfico de áreas é construído utilizando-se duas escalas proativas de avaliação, que são a de ocorrência e a de severidade. O gráfico de áreas fornece um resumo dos modos de falha de alta, média e baixa prioridade (Fig. 6 e 7).

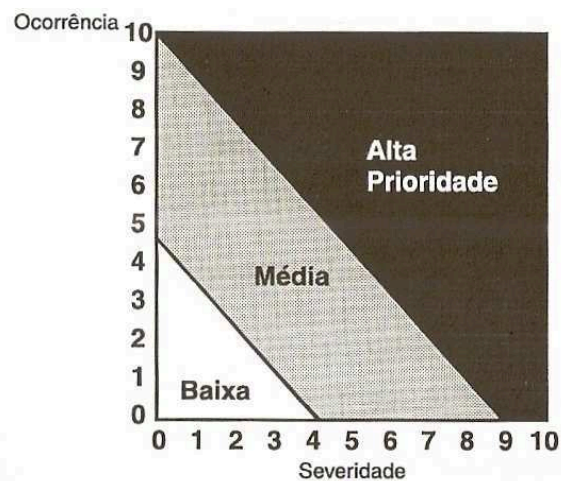


Figura 6 - Gráfico de áreas

Fonte: Palady, 2004.

não se obtém uma redução suficiente na severidade e na ocorrência. Numa estratégia de melhoria devemos sempre considerar uma tentativa de se eliminar o modo de falha, minimizar a severidade da falha, reduzir a sua ocorrência, e por fim melhorar a detecção.

Conforme Roos e Rosa (2008), o método gráfico é vantajoso por requerer poucos grupos de priorização, existindo três áreas de priorização, média, alta e baixa respectivamente. Para maiores detalhamentos de priorização, o método tradicional e o método baseado na Teoria de Grey são mais vantajosos.

2.3. CUSTOS DA QUALIDADE

2.3.1. Conceituação da Qualidade

A qualidade proporciona incrementos de lucro e produtividade para a empresa e melhora a aceitação dos produtos pelos clientes (MATTOS, 1997 *apud* CAMPO, 2003).

Segundo Craig (2004), um Sistema de Gestão da Qualidade com foco preventivo é vital para se eliminar a inspeção, reduzir os custos com a qualidade e atender às exigências do cliente

Segundo Carvalho (2005), qualidade é um termo cotidiano, mas não existe um consenso quanto ao significado do termo qualidade. Garvin (1988), ao invés de adotar um conceito, classificou a qualidade nas seguintes abordagens: transcendental, baseada no produto, baseada no usuário, baseada na produção e baseada no valor. O Quadro 9 sintetiza as abordagens realizadas por Garvin.

Quadro 9 – Abordagens da qualidade

ABORDAGEM	DEFINIÇÃO	FRASE
Transcendental	Qualidade é sinônimo de excelência inata. É absoluta e universalmente reconhecível. Dificuldade: pouca orientação prática.	"A qualidade não é nem pensamento nem matéria, mas uma terceira entidade independente das duas". "Ainda que qualidade não possa ser definida, sabe-se que ela existe" (PIRSIG, 1974)
Baseada no produto	Qualidade é uma variável precisa e mensurável, oriunda dos atributos do produto. Corolário: melhor qualidade só com maior custo. Dificuldade: nem sempre existe uma correspondência nítida entre os atributos do produto e a qualidade.	" Diferenças na qualidade equivalem a diferenças na quantidade de alguns elementos ou atributos desejados" (ABBOT, 1955)
Baseada no usuário	Qualidade é uma variável subjetiva. Produtos de melhor qualidade atendem melhor aos desejos do consumidor. Dificuldade: agregar preferências e distinguir atributos que maximizam a satisfação.	" A qualidade consiste na capacidade de satisfazer desejos..." (DEMING, 1968). "Qualidade é a satisfação das necessidades do consumidor..." "Qualidade é adequação ao uso" (JURAN, 1974)
Baseada na produção	Qualidade é uma variável precisa e mensurável oriunda do grau de conformidade do planejado com o executado. Esta abordagem dá ênfase a ferramentas estatísticas (controle do processo). Ponto fraco: foco na eficiência, não na eficácia.	"Qualidade é a conformidade às especificações" "...prevenir não-conformidades é mais barato que corrigir ou refazer o trabalho." (CROSBY, 1979).
Baseada no valor	Abordagem de difícil aplicação, pois mistura dois conceitos distintos: excelência e valor, destacando os <i>trade-off</i> qualidade x preço. Esta abordagem dá ênfase à Engenharia/Análise de valor - EAV.	" Qualidade é o grau de excelência a um preço aceitável." (BROH, 1974)

Fonte: Elaborado à partir do texto de GARVIN (1988, *apud* CARVALHO, 2005)

Diversos profissionais tiveram importante participação na área da qualidade, mas alguns se destacaram devido a sua contribuição teórica e também pela participação em empresas. Estes foram denominados gurus da qualidade, e os mais citados na literatura acadêmica são: Walter A. Shewart, William Edwards Deming, Joseph M. Juran, Armand V. Feigenbaum, Philip B. Crosby, Kaoru Ishikawa e Genichi Taguchi (CARVALHO, 2005). No Quadro 10, apresenta-se a definição de qualidade sob o ponto de vista destes autores.

Quadro 10 – Definição da qualidade pelos gurus da qualidade

GURUS DA QUALIDADE	DEFINIÇÕES DA QUALIDADE
Walter A. Shewhart	A qualidade é subjetiva e objetiva.
William Edwards Deming	Qualidade é a satisfação das necessidades do cliente em primeiro lugar.
Joseph M. Juran	Qualidade é uma barreira de proteção à vida, e qualidade é adequação ao uso.
Philip B. Crosby	Qualidade é conformidade às especificações.
Kaoru Ishikawa	Qualidade é satisfazer radicalmente ao cliente, para ser agressivamente competitivo.
Genichi Taguchi	Qualidade é a diminuição das perdas geradas por um produto, desde a produção até o seu uso pelos clientes.

Fonte: Adaptado do texto de CARVALHO, 2005

Na década de 80, a qualidade era o ponto estratégico fundamental para a sobrevivência das empresas americanas, pois sentiram a necessidade de tornarem os seus produtos mais competitivos devido à entrada de produtos japoneses, que possuíam preços acessíveis e qualidade superior (SAKURAI, 1997 *apud* NETO, 2009).

A década de 80 foi considerada a década da qualidade e a de 90 a década da resposta rápida ao mercado e aos clientes (STALK *et al*, 1990). A Norma ABNT NBR ISO 9004:2010, que estabelece as diretrizes para a melhoria da qualidade enfatiza o seguinte:

A qualidade dos produtos e serviços é importante para a competitividade. A melhoria contínua da qualidade é necessária ao aumento da competitividade de uma organização. Deve-se enfatizar que em todas as estratégias inovadoras para a introdução de um novo produto, serviço ou tecnologia de processo, a melhoria contínua da qualidade deve ser considerada (ABNT NBR ISO 9004:2010).

Segundo Merli (1993 *apud* Torelli e Ferreira, 1995), a qualidade nas empresas deve ser sustentada sobre alguns pilares, quais sejam: a organização deve priorizar a satisfação das necessidades e expectativas dos clientes; a qualidade deve ser utilizada como fator estratégico nos negócios, e todos os níveis de administração devem ser subordinados a ela; o foco da empresa deve ser seus processos produtivos, e os mesmos devem visar a melhoria contínua; e deve haver o comprometimento de todos os recursos humanos da empresa, desde a alta direção até o chão de fábrica.

2.3.2. Definições de custos

Devido à grande exigência do mercado, é vital o conhecimento dos custos da qualidade para que as empresas sobrevivam, e a produção seja realizada com alta qualidade e menor custo (CAMPO, 2003).

Embora a literatura utilize o termo “custos da qualidade” (*quality costs*) para designar os dispêndios financeiros com a qualidade, este termo é questionável pois custo é tecnicamente definido como o sacrifício financeiro decorrente da obtenção de bens ou serviços (CARVALHO, 2005). Qualidade não é custo, mas sim um investimento com retorno seguro, e o que causa prejuízo às empresas na

realidade é o custo da não qualidade. O termo custos da qualidade manteve-se por ter sido consagrado e utilizado em normas técnicas (CROSBY, 1994).

A definição de custos dada por Martins (1992) é a mais utilizada na engenharia, e é definido como gasto relativo ao bem ou serviço que é utilizado na produção de outros bens e serviços, sendo, pois, o valor dos insumos usados na fabricação dos produtos.

Custos da qualidade são quaisquer despesas de manufatura ou serviço que ultrapassem as que teriam havido se o produto ou serviço tivessem sido realizados com perfeição da primeira vez (MATTOS; TOLEDO, 1998).

Segundo Rotondaro (1996 *apud* Campo, 2003), os custos da qualidade são despesas incorridas pelas empresas para o atendimento e manutenção do nível satisfatório e econômico da qualidade e confiabilidade do produto.

Segundo Berliner e Brimson (1992 *apud* Campo, 2003), os custos da qualidade são despesas de uma empresa para prevenir problemas de qualidade, avaliando a qualidade e controlando falhas internas ou externas do produto.

Os custos para se implantar a qualidade total nas empresas são altos, mas os resultados são compensadores, e a comparação dos dados financeiros da empresa antes, durante e após a implantação revelam a efetividade da implantação (TORELLI; FERREIRA, 1995).

2.3.3. Contexto histórico dos custos da qualidade

Uma das primeiras referências aos custos da qualidade foram encontradas nas obras de Joseph Juran denominadas *Quality Control Handbook*, publicada nos Estados Unidos em 1951 (CARVALHO, 2005).

Todo processo de implantação de sistemas de gestão da qualidade geram custos e grau de incerteza para as organizações (ANDRIETTA; MIGUEL, 2002 *apud* CIMA; OPAZO, 2010).

A *American Society for Quality* (ASQ), tomou a iniciativa de detalhar os custos da qualidade, para que cada empresa tivesse a possibilidade de identificar quais os custos da qualidade que estavam onerando os seus processos. O detalhamento de tais custos não impedia a possibilidade de haverem outros gastos específicos da empresa, nem a obrigatoriedade da empresa possuir todos os custos detalhados na especificação (BARRETO, 2008).

2.3.4. Classificação dos custos da qualidade

Segundo Hansen e Mowen (2001 *apud* Lopes, 2006), para se fornecer bens e serviços a um custo menor e aumentar a demanda de clientes e a lucratividade, deve-se dar maior destaque à qualidade.

Os custos da qualidade podem ser classificados de diferentes maneiras conforme diversos autores. A ABNT NBR ISO 9004:2010 classifica os custos da qualidade em custos de conformidade, que são os custos necessários para se evitar falhas no processo, e custos de não-conformidade que são os custos incorridos devidos a falhas no processo existente. A classificação mais adotada estabelece a

divisão dos custos da qualidade em prevenção, avaliação e falhas (CARVALHO, 2005).

Os custos da qualidade podem ser divididos em custos de controle, que tem caráter preventivo, e custos de falhas no controle que tem caráter corretivo. Os custos de controle podem ser subdivididos em prevenção e avaliação, enquanto que os custos de falha no controle podem ser subdivididos em custos de falhas internas e falhas externas, chamados também de custos da não qualidade (FEIGENBAUM, 1994). Ainda pode-se conceituar os custos operacionais da qualidade da seguinte forma:

Os custos operacionais da qualidade são os custos associados à definição/planejamento, criação e controle da qualidade, assim como a avaliação e realimentação da conformidade com exigência em requisitos de desempenho, confiabilidade, segurança; e também custos associados às consequências provenientes de falhas, em atendimento a essas exigências, tanto internamente à empresa quanto nas mãos dos clientes (FEIGENBAUM, 1994).

Então, conforme Feigenbaum (1994), dois tipos de custos da qualidade são distinguidos, ou seja, os custos da qualidade propriamente dito que são os gastos na busca da qualidade, para o atendimento das necessidades dos clientes, oriundos do controle da qualidade; e os custos da não-qualidade, que se originam de falhas no controle da qualidade.

Os custos inter-relacionados com a definição de custos da qualidade de Feigenbaum (1994) são categorizados como custos de prevenção, custos de avaliação, custos de falhas internas e custos de falhas externas, sendo os custos de

controle, os custos de avaliação e prevenção e os custos de falha no controle, os custos de falhas internas e custo de falhas externas (BARRETO, 2008).

Conforme Juran e Gryna (1980), os custos de prevenção e avaliação são os custos inevitáveis, e os custos de falhas internas e externas são os custos evitáveis (Fig.8).

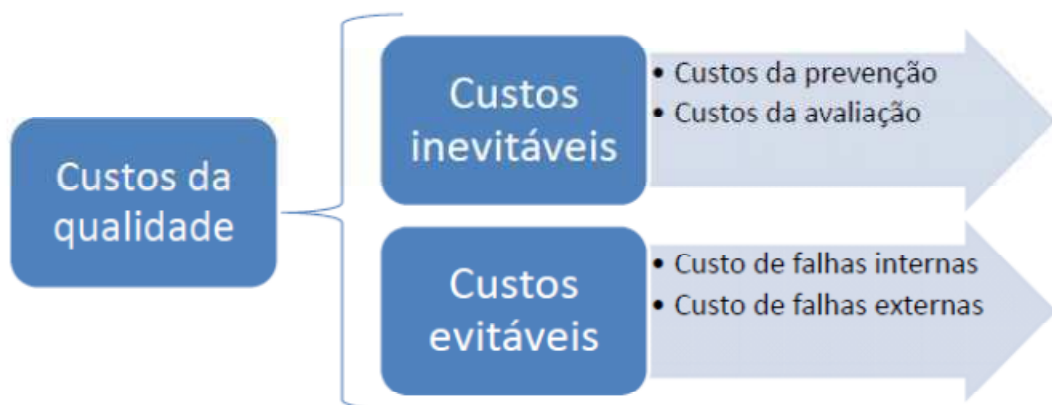


Figura 8 - Custos da qualidade

Fonte: Adaptado de Juran e Gryna, 1980

Conforme Carvalho (2005), os custos da qualidade podem ser definidos da seguinte forma:

- a) **Custos de prevenção:** são os custos que visam a prevenir a falta da qualidade, são medidas tomadas para o planejamento da qualidade, são ações que objetivam prevenir ou reduzir os riscos de não conformidades.
- b) **Custos de avaliação:** verificam o nível de qualidade obtido pelo produto, verificam o grau de conformidade, são os custos associados a inspeções, ensaios e testes.

- c) Custos de falhas internas: são os decorrentes da fabricação de produtos defeituosos internamente na organização, são detectados antes dos produtos serem expedidos.

- d) Custos de falhas externas: São relativos aos produtos com falhas já expedidos pela empresa devido a problemas não identificados internamente, associados a reclamações e devoluções.

Os custos de prevenção e avaliação são inversamente proporcionais aos custos de falhas, pois quando se aumenta o nível de qualidade aumentam-se os investimentos com prevenção e avaliação. Quando os níveis de qualidade são mais baixos têm-se mais gastos decorrentes das falhas. Quando se soma a curva representativa dos custos de falhas com a de prevenção e avaliação, temos a curva representativa do custo total (Fig. 9). O ponto ótimo da curva é o ponto situado à direita do ponto inferior da curva representativa do custo total devido uma maior exigência dos clientes quanto a qualidade. Anteriormente considerava-se como ponto ótimo o ponto mínimo da curva do custo total. Empresas distintas podem ter o mesmo gasto com qualidade por unidade de produto, mas podem apresentar resultados diferenciados em termos de nível de qualidade, quer se situem à esquerda ou à direita do ponto mínimo da curva de custo total (CARVALHO, 2005).



Figura 9 - Tipos de custos

Fonte: CARVALHO, 2005

Conforme Juran e Gryna (1980), a Figura 9 representa uma relação entre os custos da qualidade, e apresenta algumas conclusões importantes, quais sejam, quando os custos de prevenção e avaliação forem nulos o produto será 100% defeituoso, e os custos de falhas tendem a ser muito onerosos. Inversamente, observamos que quando o produto é 100% dentro da especificação, o custo relativo às falhas é nulo, mas os custos de prevenção e avaliação tendem a ser muito elevados. Pode-se também observar três regiões distintas caracterizadas como uma zona de melhoria onde tem-se altos custos de falhas associada a uma má qualidade dos produtos, uma zona de perfeccionismo caracterizada por altos custos de prevenção e uma excelente qualidade, e uma zona de indiferença, onde há um equilíbrio entre os custos de prevenção e avaliação e os custos de falhas, ainda conforme Juran e Gryna (1980), os custos de falhas dentro dessas zonas se comportam conforme o Quadro 11.

Quadro 11 - Cenário do custo de uma organização

ZONA OU REGIÃO	% CUSTO DE FALHA/CUSTO TOTAL
Melhoria	> 70
Indiferença	50
Perfeccionismo	<40

Fonte: Adaptado de Juran e Gryna, 1980

2.3.5. A importância de se avaliar os custos da qualidade

Segundo Lopes (2006), as empresas buscam ferramentas para realizar a gestão e controle de seus processos e também informações para auxiliar na tomada de decisões. Portanto a utilização dos custos da qualidade podem ser a maneira correta de medir a qualidade em valores monetários, e constitui-se numa fonte valiosa de informações.

Costuma-se questionar a ordem de prioridade das estratégias a serem adotadas na gestão empresarial, se a ênfase deveria estar nos custos ou na qualidade. A maioria em seus discursos diria que a prioridade é a qualidade, muito embora talvez não pratique exatamente o que diz. Especialistas contudo dirão, que maior qualidade significa menores custos. O tema é polêmico e pode apresentar diversos desdobramentos (...) (COGAN, 2011).

(...) Outro mestre na área da qualidade, de não menor envergadura, Juran, faz a seguinte análise no que se refere ao relacionamento custo-qualidade: Se a ênfase são as características de satisfação do produto, então o efeito maior se dará nas vendas – nesse caso, normalmente qualidade mais alta custa mais. Se por outro lado a ênfase é a ausência de deficiências, o efeito maior se dará nos custos – nesse caso então, normalmente qualidade mais alta custa menos (...) (COGAN, 2011).

O objetivo de um sistema de custos da qualidade é identificar áreas ou atividades com problemas de qualidade em relação aos custos envolvidos e direcionar esforços de modo a se obter a melhoria da qualidade e a redução destes custos (MATTOS; TOLEDO, 1998).

A avaliação dos custos da qualidade é fundamental na gestão estratégica das empresas, pois facilita a elaboração do orçamento dos custos da qualidade, possibilita alocação dos recursos através de informações de como a empresa vem investindo nas categorias de custo da qualidade, e verifica o nível deste investimento (ROBLES Jr., 1994).

Segundo Craig (2004 *apud* Fernandes, 2005), o departamento de produção fabrica tantas unidades possíveis independente da qualidade, relegando esta avaliação ao departamento de qualidade, criando deste modo uma competição entre departamentos. Devido a essa abordagem, torna-se necessário migrar para um sistema de qualidade baseado em prevenção.

Uma pesquisa realizada por Mattos e Toledo (1998), respondida por 300 empresas certificadas com ISO 9000, de diversos setores, sendo 60% de São Paulo, 12% de Minas Gerais, 7% do Rio de Janeiro e 6% do Rio Grande do Sul, apurou, que cerca de 58% destas empresas possuem um sistema de gestão da qualidade implantada, e em 39% existe um sistema de custos da qualidade implantada ou em implantação. Este mesmo autor verificou que para 93% das empresas pesquisadas, a gestão da qualidade baseada em indicadores quantitativos, traduzidos em valor monetário pode gerar maior questionamento e sensibilização da alta administração.

Segundo Campo (2003), a avaliação dos custos da qualidade auxilia na tomada de decisões estratégicas.

Em um sistema de gestão da qualidade, um sistema de controle de custos da qualidade contribui para avaliar os custos de obtenção da qualidade e os custos de perda da qualidade, apontando deficiências na gestão da qualidade e contribuindo para ações de melhoria contínua (MATTOS; TOLEDO, 1998).

Nos atuais sistemas de qualidade as ações são focalizadas na falta de qualidade, e não na prevenção da mesma atuando-se nos problemas imediatos, e não nos problemas potenciais (AGUIAR; SALOMON, 2007).

Conforme Palady (2004), uma organização que investe em custos de prevenção pode ou não receber um retorno de seu investimento, tudo depende da eficácia com que a ferramenta de prevenção for implementada exigindo um sólido conhecimento prático dessa ferramenta. Sob estas condições, existem alguns cenários possíveis que refletem o custo total de uma organização, conforme Fig. 10.

- a)** Pouco ou nenhum investimento em prevenção: uma organização que investe pouco em prevenção, tem necessidade de alocar grande parte de seu fluxo de caixa na categoria de custo de falha.
- b)** Investimento com complementação: representa uma organização que investe em prevenção e possui bons retornos na redução do custo de falha.

- c) Investimento sem implementação: representa uma organização que investe grandemente em treinamento e em prevenção, mas não possui eficácia neste investimento.

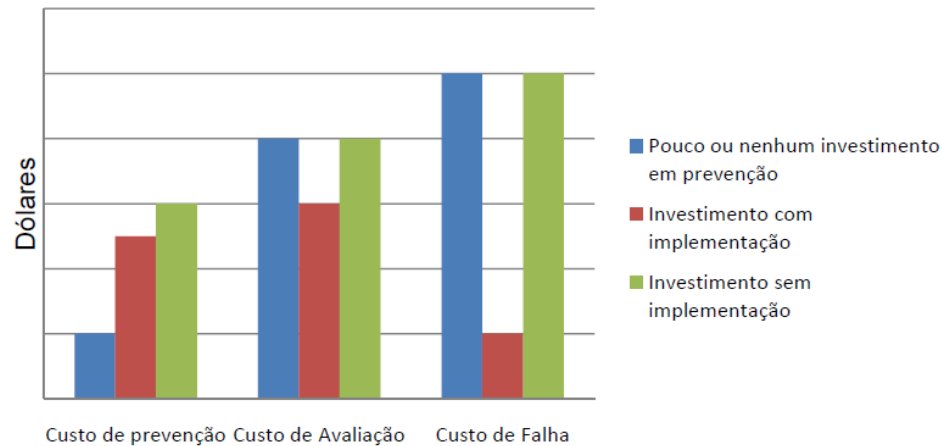


Figura 10 - Cenário do custo total de uma organização

Fonte: Adaptado de Palady, 2004.

O que acarreta despesas e maiores ocorrências de falhas nas empresas é pouco investimento em prevenção, e a concentração de seus esforços para tratar as falhas, ou então quando há investimentos em prevenção, mas sem a adequada implementação dos conceitos a serem utilizados (AGUIAR; SALOMON, 2007).

Na concepção de Feigenbaum (1994), uma idealização para os custos de qualidade, conforme o tipo de indústria e a categoria de custo, podem ser sugeridos conforme Quadros 12 e 13.

Quadro 12 - Custos da qualidade conforme o tipo de indústria

INDÚSTRIA	% VENDAS
Simples, baixa tolerância	0,5 - 2
Processo mecânico normal	1 - 5
Indústria de precisão	2 - 10
Complexo eletrônico, espacial	5 - 25

Fonte: Feigenbaum, 1994

Quadro 13 - Distribuição dos custos da qualidade

CATEGORIA DE CUSTO	% CUSTO TOTAL
Prevenção	0,5 - 5
Inspeção	±25
Falhas (Internas e externas)	±70

Fonte: Feigenbaum, 1994

Segundo Atkinson (2000), deve haver uma relação nos custos da qualidade de forma que os custos de prevenção e avaliação sejam capazes de assegurar que os custos de falhas internas e externas se situem nos patamares mais baixos possíveis.

Segundo Cogan (1994 *apud* Campo, 2003), no sistema tradicional de contabilidade, alguns produtos recebem uma carga menor de custos, enquanto outros recebem uma carga maior no momento do rateio dos custos indiretos de fabricação.

Segundo Frota (2005 *apud* Martins, 2005), a redução dos custos operacionais da má qualidade, se dará com os investimentos em qualidade. Os empresários almejam a qualidade em seus produtos, mas são temerosos em realizar investimento e não terem retorno rápido, mas perdas de qualidade resultam em maiores custos operacionais.

Um dos maiores obstáculos à implantação do sistema de custos da qualidade refere-se ao desconhecimento da metodologia, e receios pelas empresas da necessidade da implantação de uma estrutura contábil complexa, mas o sistema pode ser implantado sem a necessidade de grandes adaptações no sistema contábil existente (MATTOS; TOLEDO, 1998).

Segundo Frosini e Carvalho (1995 *apud* Mattos e Toledo, 1998), o custeio baseado em atividades, sistema conhecido como ABC, *activity based costing*, pode identificar atividades que não agregam valor.

O sistema contábil atual apresenta distorções quanto à alocação dos custos, para que o sistema de custos da qualidade seja implantado de forma efetiva (CAMPO, 2003).

O sistema ABC calcula os custos da empresa de forma mais acurada, e fornece informações para o melhor custeio de produtos e cria condições para uma adequada gestão e controle de custos (CAMPO, 2003).

Segundo Barreto (2008), os tipos de gastos por categoria de custos da qualidade podem ser distribuídos conforme Quadro 14.

Quadro 14 - Tipos de gastos por categoria de custos da qualidade

Custos de Prevenção	Custos de Avaliação	Custos de Falhas Internas	Custos de Falhas Externas
<ul style="list-style-type: none"> • Mercado/Cliente/Usuário • Projeto do produto/Serviço • Compras • Operações • Administração da qualidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação de compras • Avaliação das operações • Avaliação externa • Revisão dos dados de teste e inspeção 	<ul style="list-style-type: none"> • Falhas do projeto do produto/serviço • Falha nas compras • Falhas nas operações 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigação de reclamações de clientes • Devolução de vendas • Recuperação de bens • Reclamações dentro da garantia • Custos com responsabilidades • Multa por baixo desempenho do produto • Gastos com insatisfação de clientes • Vendas perdidas

Fonte: adaptado de Barreto, 2008.

Segundo Rodrigues (2006), a trilogia da qualidade, proposta por Juran (Fig.11), foi uma grande contribuição ao estudo do custo de otimização de

processos, ou seja, dos custos relativos a qualidade. Nesta abordagem de Juran, os custos foram rotulados como custos da qualidade e custos da não qualidade.

Os custos da qualidade são aqueles relacionados com a gestão dos processos, como os da avaliação, prevenção, controle, capacitação, salários, consultoria, certificações, atendimentos a normas legais, etc. (RODRIGUES, 2006).

Os custos da não qualidade são aqueles que envolvem a não conformidade dos processos ou produtos, e o não atendimento às necessidades e expectativas dos clientes. São custos da não qualidade, os relativos aos refugos, retrabalhos, insumos não adequados, acidentes de trabalho, acidentes ambientais, problemas sociais, insatisfação dos clientes, reclamações, etc. (RODRIGUES, 2006).

O planejamento, controle e melhoria da qualidade proposto por Juran em sua trilogia da qualidade (Fig.11), tem os seguintes objetivos conforme Rodrigues (2006):

- Planejamento da qualidade: tem como objetivo adequar os processos e produtos às necessidades e expectativa dos clientes.
- Controle da qualidade: tem como objetivo acompanhar, e avaliar a execução do planejamento em todas as etapas do processo.
- Melhoria da qualidade: tem como objetivo identificar e eliminar os defeitos crônicos e de fornecer um novo conhecimento ao novo planejamento.

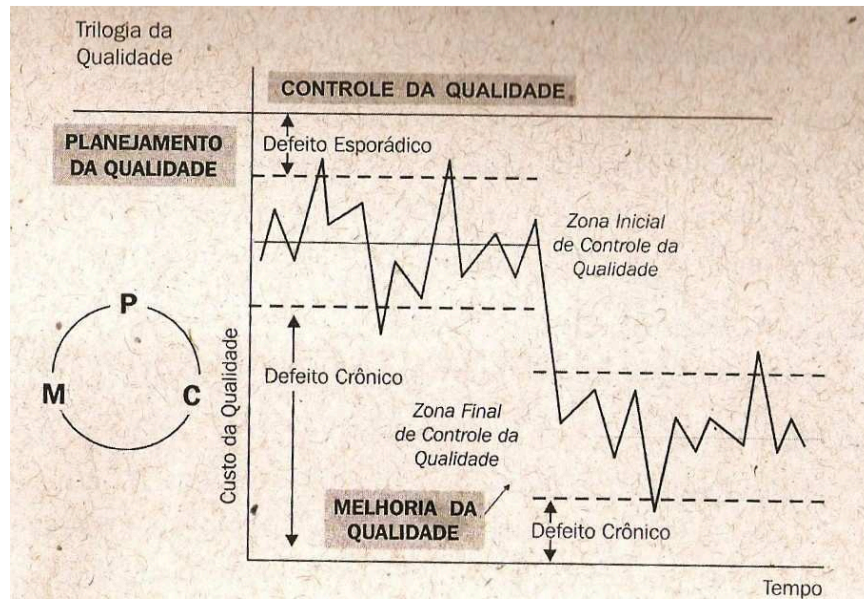


Figura 11 – Trilogia da qualidade proposta por Juran

Fonte: Rodrigues, 2006.

Os custos dos processos de melhoria, podem ser classificados conforme Rodrigues (2006), em custos diretos e indiretos (Fig.12), sendo os custos diretos associados aos custos de prevenção, avaliação ou controle e custos de falhas internas e externas. Os custos indiretos são os custos assumidos pelos clientes, custos de insatisfação dos clientes e custos associados a perda da imagem da empresa. Neste trabalho avalia-se somente os custos diretos.

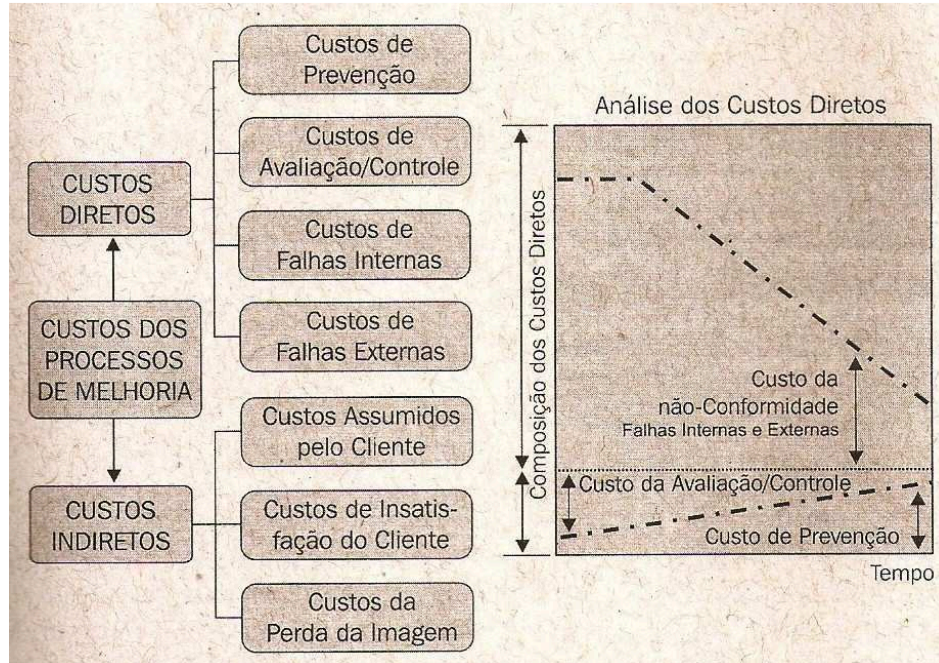


Figura 12 - Custos diretos e indiretos

Fonte: Rodrigues, 2006.

2.4. PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

2.4.1. A Evolução dos processos de soldagem

A soldagem é um processo onde com a aplicação ou não de pressão, e com a utilização de uma fonte de calor, pode-se unir duas partes metálicas (BRANDI *et al*, 1992). Segundo Nakano (2005), a função da soldagem é descrita da seguinte forma:

A principal função da soldagem é propiciar a união coerente entre duas ou mais chapas por meio da fusão entre os materiais base na região de sobreposição, transmitindo de forma segura e eficiente os esforços de um membro estrutural a outro (NAKANO, 2005).

Segundo Brandi *et al* (1992), a soldagem teve grande desenvolvimento durante a II guerra mundial, apesar do processo a arco elétrico ter sido desenvolvido no século XIX. A cronologia dos processos de soldagem podem ser exibidos na Figura 13.

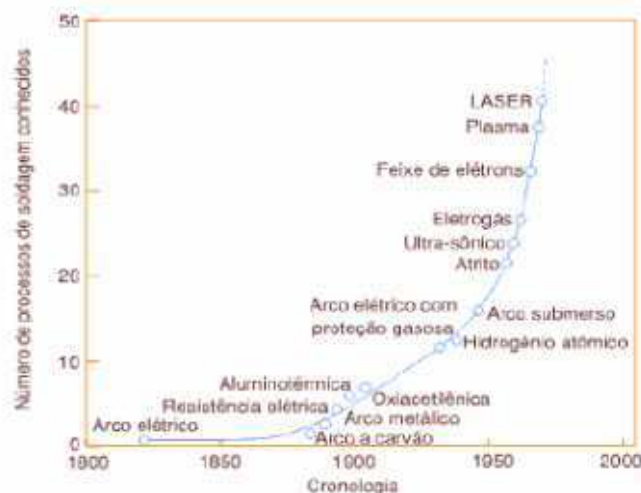


Figura 13 - Evolução dos processos de soldagem

Fonte: Brandi *et al*, 1992.

2.4.2. O Processo de soldagem GMAW

O processo de soldagem MIG (*metal inert gas*) e MAG (*metal active gas*) utiliza como fonte de calor um arco elétrico, Fig.14, mantido entre um eletrodo nú consumível que é alimentado de forma contínua, e a peça a soldar (BRANDI et al, 1992). A soldagem MIG/MAG, é também conhecida como soldagem GMAW (*gas metal arc welding*), neste processo o fluxo de solda é protegida por uma atmosfera de gás inerte ou ativo, foi estabelecido em 1920, e tornou-se economicamente viável à partir de 1948 (ESAB, 2005). Utiliza-se a sigla GMAW para se referir ao processo de soldagem deste trabalho.



Figura 14 - Arco elétrico

Fonte: Lincoln Electric, 1997.

2.4.3. Características principais dos equipamentos de soldagem

O princípio de soldagem GMAW, é um processo de soldagem que se utiliza da alimentação contínua de um eletrodo consumível, protegido por uma atmosfera gasosa, realizado de forma automática relativo às características do arco elétrico e da taxa de deposição do eletrodo, sendo somente o posicionamento da pistola e controle da velocidade de percurso do cordão de solda realizado de forma

manual pelo operador do equipamento. O comprimento do arco e o nível de corrente são automaticamente mantidos no processo (LINCOLN ELECTRIC, 1997).

Conforme o manual da Lincoln Electric (1997), os componentes básicos do equipamento de soldagem GMWA, Fig.15, são os seguintes:

- Montagem do cabo e pistola;
- Sistema de alimentação do arame;
- Fonte de energia.

A pistola e o sistema de montagem do cabo possuem três funções que são: fornecer gás de proteção para a região do arco, servir de guia para o eletrodo consumível e conduzir a carga elétrica para a poça de fusão. Quando a pistola é ativada, gás, energia elétrica e eletrodo consumível ficam disponíveis para o uso, e um arco elétrico é desenvolvido entre o eletrodo e o metal de base. O sistema de alimentação do arame e a fonte de energia são interligados para providenciar uma auto-regulação do comprimento do arco. Isto é obtido através de um fornecimento de tensão constante conjugado com uma velocidade constante de alimentação do arame (LINCOLN ELECTRIC, 1997).

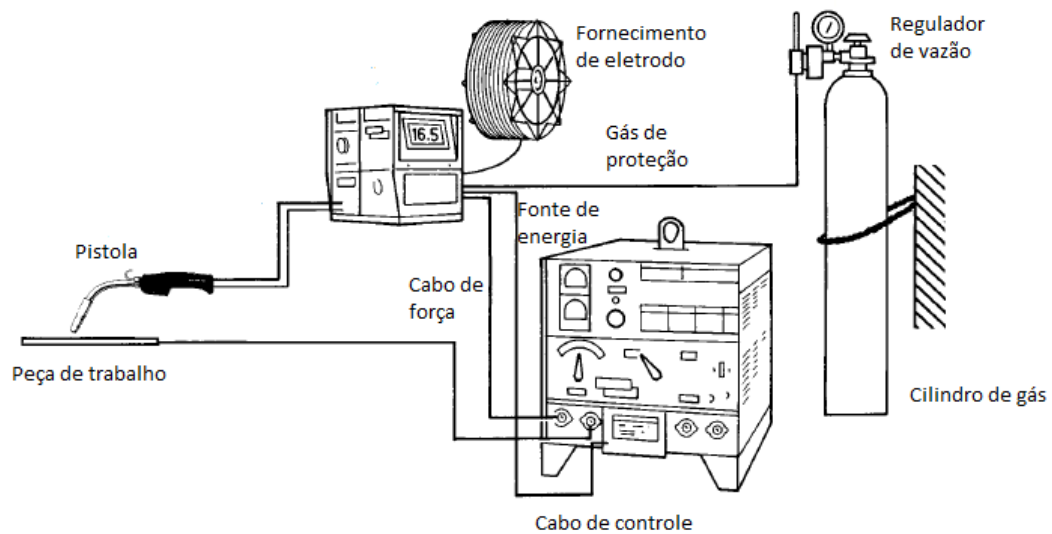


Figura 15 - Equipamento básico para soldagem semi-automática GMAW

Fonte: Lincoln Electric, 1997.

Conforme o manual da Lincoln Electric (1997), o processo de soldagem GMAW pode ser realizado de forma automática, Fig. 16, ou semi-automática, Fig. 15, para ambas as formas, os equipamentos fundamentais são:

- Pistola de soldagem;
- Motor de alimentação do arame;
- Controle de soldagem;
- Dispositivo de fornecimento de energia;
- Regulador de fornecimento de gás de proteção;
- Fornecimento de eletrodo;
- Cabos e tubulações.

Neste trabalho aborda-se o sistema de soldagem semi-automático.

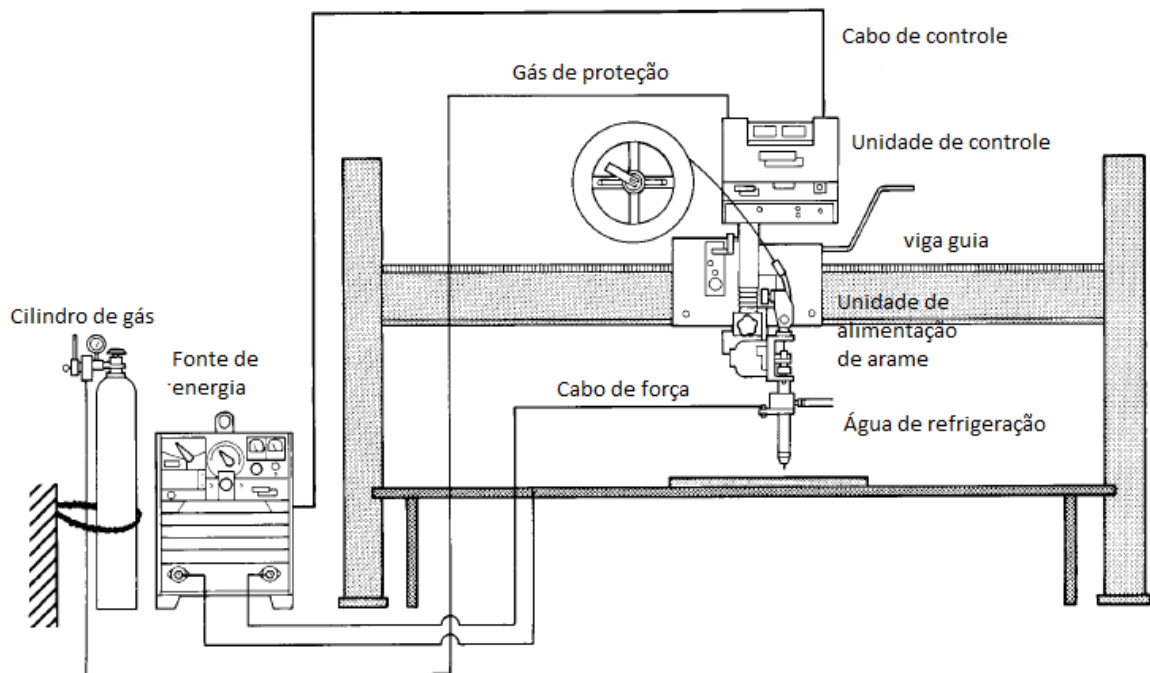


Figura 16 - Equipamento básico para soldagem automática GMAW

Fonte: Lincoln Electric, 1997.

2.4.4. Principais defeitos da soldagem GMAW

Os processos de soldagem podem apresentar uma variedade de descontinuidades, estas patologias no processo de obtenção de uma junta soldada podem ou não ser classificadas como um defeito, e outros fatores devem ser considerados para uma correta avaliação, conforme definido pela norma PETROBRAS (PETROBRAS, N-1738, 2003):

- a) Descontinuidade é a interrupção das estruturas típicas de uma peça, no que se refere à homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas. Não é necessariamente um defeito. A descontinuidade só deve ser considerada defeito, quando, por sua

natureza, dimensões ou efeito acumulado, tornar a peça inaceitável, por não satisfazer os requisitos mínimos da norma técnica aplicável. (PETROBRAS, N-1738, 2003).

- b) Falta de fusão: Ocorre quando não existe fusão entre o metal de solda e o metal de base (ESAB, 2005). Pode também ser caracterizada como uma fusão incompleta entre a zona fundida e o metal de base ou entre passes da zona fundida, que pode estar localizada na zona de ligação (Fig.17-a), entre passes (Fig.17-b), ou na raiz da solda (Fig.17-c e d) (PETROBRAS, N-1738, 2003).

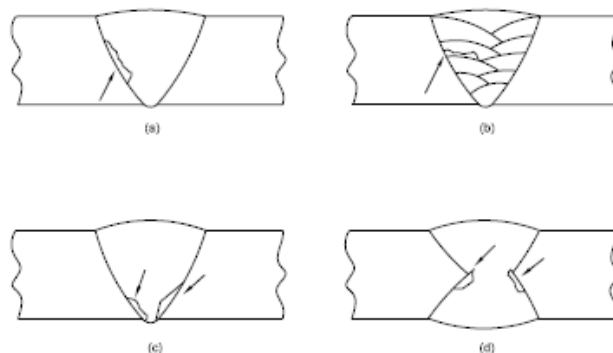


Figura 17 - Falta de fusão

Fonte: PETROBRÁS N-1738, 2003

- c) Falta de penetração (Fig. 18): Ocorre quando o metal de solda não penetra o metal de base, quando dois cordões opostos não se interpenetram, ou quando o cordão não penetrar em uma junta em ângulo (ESAB, 2005), podendo ser caracterizado como uma insuficiência de metal na raiz da solda (PETROBRAS, N-1738, 2003).

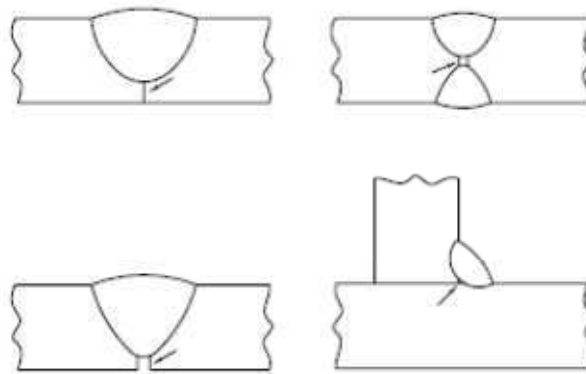


Figura 18 - Falta de penetração
Fonte: PETROBRÁS N-1738, 2003

- d) Porosidade (Fig. 19): São poros de gás que podem ser encontrados na superfície ou no interior do material solidificado (ESAB, 2005). Pode ser caracterizada como um vazio arredondado, isolado e interno à solda, que conforme se encontre agrupados, dispostos em linha, ou em forma de espinha de peixe situada na zona fundida, podem ser classificados em porosidade agrupada, alinhada e vermiforme respectivamente (N-1738, 2003).

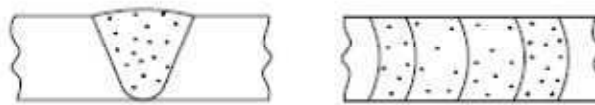


Figura 19 - Porosidade
Fonte: PETROBRÁS N-1738, 2003

- e) Mordedura (Fig. 20): É um entalhe no metal de base ao longo da borda do cordão de solda (ESAB, 2005).

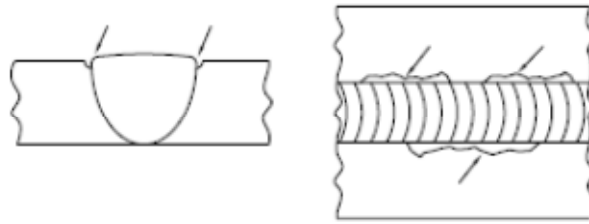


Figura 20 - Mordedura

Fonte: PETROBRÁS N-1738, 2003

- f) Respingos: O metal de adição pode formar glóbulos que podem ser expelidos durante a soldagem e os mesmos podem aderir na superfície do metal de base ou na zona solidificada (N-1738, 2003).
- g) Trincas (Fig. 21): Podem ser trincas à quente, quando o cordão de solda se encontra entre as temperaturas de fusão e solidificação, e a frio, quando o cordão já se encontra solidificado (ESAB, 2005). As trincas são um defeito perigoso, pois podem se propagar para o interior da solda, pois se trata de uma descontinuidade bidimensional produzida pela ruptura local do material, e que pode ser classificada como trinca de cratera, em estrela, interlamelar, irradiante, longitudinal, na margem, na raiz, ramificada, sob cordão, e transversal (N-1738, 2003).

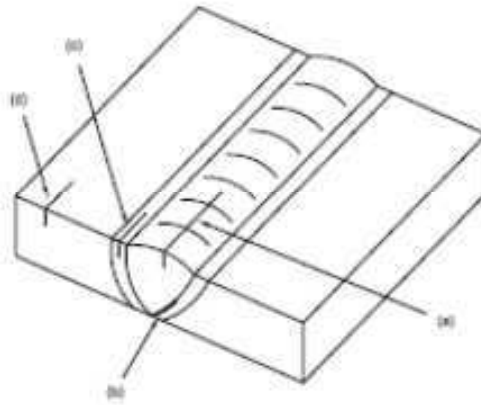


Figura 21 - Trinca longitudinal

Fonte: PETROBRÁS N-1738, 2003

- h) Convexidade excessiva (Fig. 22): Trata-se de uma face excessivamente convexa em uma solda em ângulo (N-1738, 2003).

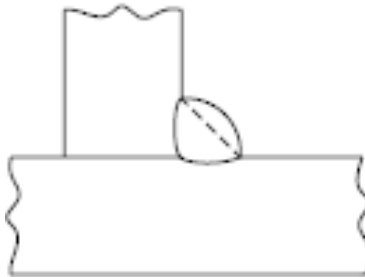


Figura 22 - Convexidade excessiva

Fonte: PETROBRÁS N-1738, 2003

2.4.5. Inspeção de soldagem

2.4.5.1. Qualificações do inspetor de soldagem

Conforme a AWS (2000), a inspeção de soldagem requer variados tipos de responsabilidade por parte do profissional de inspeção, conforme o tipo de operação que está sendo executada, ou quanto as particularidades da indústria responsável pelo produto. A inspeção de soldagem deverá seguir toda a sequência de fabricação do produto. Dentre as várias atividades e conhecimentos necessários a inspeção da soldagem, pode-se citar as seguintes:

- a) Os inspetores de soldagem devem possuir um conhecimento do produto que está sendo manufaturado, dos componentes e das sub-partes as quais deverão ser inspecionadas;
- b) Deverá ter conhecimento das especificações existentes nos desenhos e instruções de fabricação;
- c) Deve estar ciente dos programas de qualidade relacionados a fabricação;
- d) Antes de iniciar a fabricação, o inspetor deverá verificar se os procedimentos de soldagem estão bem definidos, e se os soldadores que executarão a tarefa são qualificados para a atividade proposta;
- e) O inspetor deve preparar uma lista de verificação para cada procedimento de inspeção, para avaliar todos os pontos exigidos;

- f) Entre as principais funções do inspetor de soldagem, está a de testar as amostras de produtos finais. Estes testes devem ser realizados de forma randômica, ou dentro de critérios estabelecidos. Os testes ou tratamentos prescritos para as amostras selecionadas pelo inspetor podem ser: radiografias, testes de pressão, testes metalúrgicos, ensaios destrutivos ou não destrutivos, etc.
- g) O inspetor é responsável por preparar registros dos testes realizados, e
- h) O inspetor de soldagem é responsável pela observância e monitoramento das orientações de segurança.

2.4.5.2. Sequência das operações de inspeção de soldagem

Para as atividades de inspeção, antes, durante, e após as atividades de soldagem, a AWS (2000) recomenda sequências de operações à serem seguidas.

As atividades que devem ser desenvolvidas antes da soldagem:

- a) A identificação do material, através de análise química ou avaliação de propriedades mecânicas.
- b) Avaliação das condições do metal de base, como descontinuidades internas e externas, retilineidade, alinhamento, e precisão dimensional.

- c) Avaliação das condições das juntas, como o formato da borda, limpeza, precisão dimensional, abertura da raiz, e alinhamento.
- d) Analisar processos de fabricação para montagens especiais, tais como adequação e precisão de esteios, suportes, fixações e pré-tensões.

As atividades que devem ser desenvolvidas no momento da soldagem:

- a) Pré-aquecimento e passes intermediários de temperatura, estabelecendo controles e métodos de medição.
- b) Preenchimento da junta: identificação, controle e manuseio.
- c) Passe de raiz: contorno e solidez, preparação da raiz antes de soldar o segundo lado, limpeza entre passes, verificação do aspecto dos passes, verificação da conformidade com os processo de soldagem especificado.

As atividades que devem ser desenvolvidas após a soldagem:

- a) Avaliação da necessidade de tratamento após aquecimento,
- b) Inspeção para aceitação da peça;
- c) Método de limpeza para inspeção;
- d) Ensaios não destrutivos;
- e) Ensaios destrutivos (se necessário);

- f) Marcação da peça para aceitação ou rejeição;
- g) Reparos necessários, e
- h) Inspeção da peça após reparo.

2.4.6. Controle de qualidade na soldagem

2.4.6.1. Ensaios não destrutivos

Segundo Chiaverini (1986), quando se deseja determinar as características dos materiais sem prejudicar a utilização futura do mesmo, realizam-se os ensaios não-destrutivos. O objetivo dos ensaios de um modo geral é determinar o estado do material, tendo-se em consideração após os resultados sua aceitação ou rejeição, dentro do aspecto do controle de qualidade.

Segundo Chiaverini (1986), os ensaios não destrutivos podem ser classificados da seguinte forma:

- a) Métodos visuais: são realizados a olho nú, ou com a utilização de comparadores ópticos podem identificar fissuras, crateras e porosidade. As técnicas mais utilizadas são a do líquido penetrante e o ensaio de pressão e vazamento.
- b) Métodos radiográficos: São aqueles que utilizam-se de ondas eletromagnéticas curtas (Fig.23), tais como raios-X, raio beta e raios gama. Os raios ao passarem através do material proporcionam um filme que ao ser revelado apresenta as

descontinuidades encontradas. Podem identificar inclusões de escória, porosidade, fissuras e fusão incompleta.

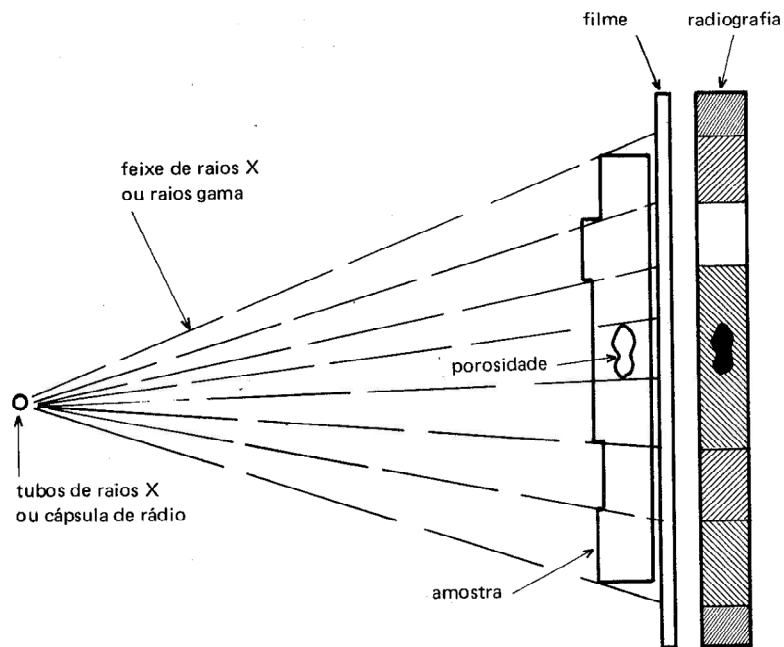


Figura 23 - Identificação radiográfica

Fonte: Chiaverini, 1986

- c) Métodos eletromagnéticos: São aqueles que se baseiam no princípio das distorções ocasionadas nos campos eletromagnéticos induzidos devido a heterogeneidades, tais como bolhas de gás, fissuras e inclusões presentes num material magnético. O método utilizado é conhecido com método das partículas magnéticas (Fig.24).

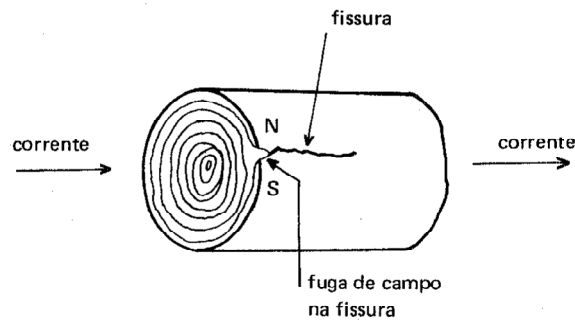


Figura 24 - Identificação de fissura por ensaio eletromagnético

Fonte: Chiaverini, 1986

- d) Métodos elétricos: são aplicados em qualquer material condutor de eletricidade independente do fato de serem magnéticos. Geralmente são utilizados para se detectarem defeitos em tubos e trilhos. O aparelho mais utilizado para este teste é conhecido como detector Sperry (Fig. 25).

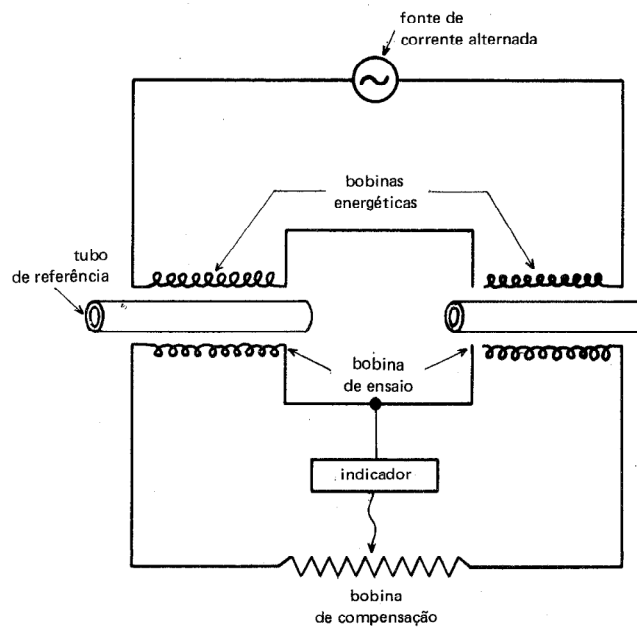


Figura 25 - Diagrama simplificado do detector Sperry

Fonte: Chiaverini, 1986

- e) Métodos sônicos: Podem detectar defeitos em peças metálicas ferrosas e não ferrosas, e também em materiais plásticos e

cerâmicos. São empregadas nesse processo vibrações ultra-sônicas, onde as ondas originárias em uma extremidade da peça são refletidas, e um defeito que se interponha no percurso das ondas pode ser identificado pelos tempos que as ondas demoram em retornar a origem (Fig. 26).

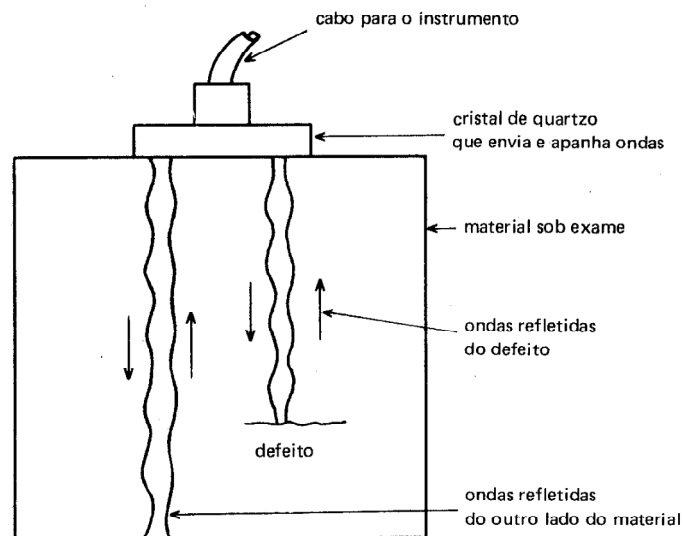


Figura 26 - Detecção de defeitos por onda ultra-sônica

Fonte: Chiaverini, 1986

- f) Métodos mecânicos: pode-se citar o ensaio de dureza, que pode ser realizado diretamente na peça, sem a necessidade de confecção de corpos de prova.

2.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

2.5.1. Definição, identificação e delimitação de problemas

Conforme Kume (1993), problema é um resultado indesejável de um trabalho ou processo. Glasser (1990), define problema como o não atendimento às necessidades dos clientes, pois o resultado de um processo objetiva atender tais necessidades.

Para Rodrigues (2006), um problema é “uma situação indesejável, geralmente não desejada que ocorre com pessoas, equipamentos ou processos, criando obstáculos para que os objetivos previamente definidos sejam atingidos.”

Quando executa-se um trabalho, imprevistos podem ocorrer, teremos então uma situação desejada, ou seja, uma meta à ser atingida, e uma situação alcançada que é uma situação não desejável inicialmente. Um resultado indesejável pode ser positivo, ou seja, pode proporcionar uma melhoria, mesmo assim deve ser investigado por não se conhecerem as causas, e logo é classificado como um problema pela gestão da qualidade total (GLASSER, 1990).

Conforme Glasser (1990), os problemas podem ser classificados como:

- Controláveis: onde os envolvidos possuem responsabilidade e autoridade.
- Não-controláveis: onde os envolvidos não possuem responsabilidade e autoridade devido ao fato do problema pertencer a outro processo. Geralmente os envolvidos são afetados pelos efeitos.

- Anomalias: São problemas que passam despercebidos e são conhecidos como falhas.
- Crônicos: são problemas enraizados na organização, e fazendo parte da cultura organizacional, não são vistos como problemas por fazerem parte do cotidiano.

É comum em muitas organizações que procedimentos utilizados há muito tempo, mesmo causando defeitos e desperdícios crônicos, passem a fazer parte do dia-a-dia, não sendo identificados ou considerados como problemas. Para se analisar os processos é importante a identificação e delimitação dos problemas, pois isto impacta nos custos associados a esses desperdícios (Fig.27) (RODRIGUES, 2006).

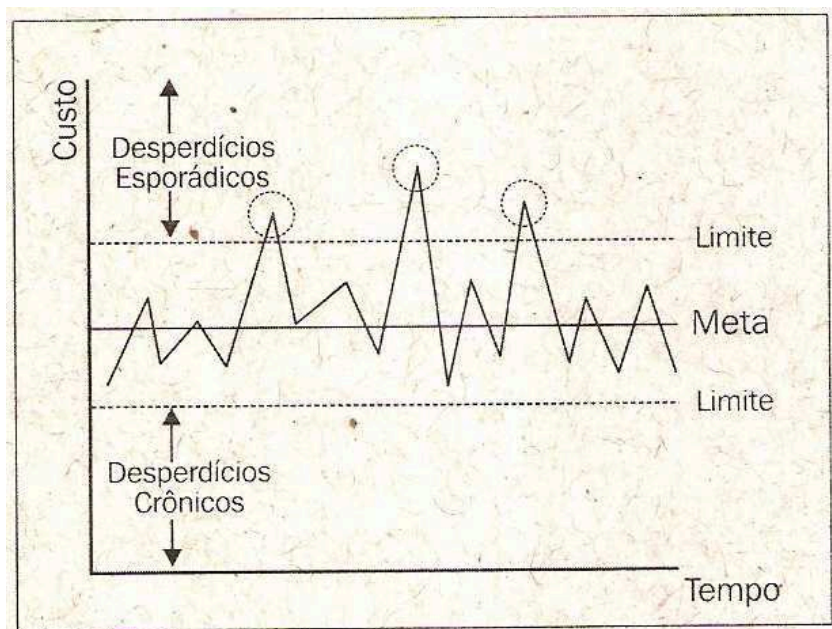


Figura 27 - Custo dos desperdícios

Fonte: Rodrigues, 2006.

Segundo Rodrigues (2006), dentre as barreiras existentes para a identificação de problemas se destacam:

O senso comum:

É o conhecimento que vem da prática. Na maioria das vezes ele é acrítico, imediatista, e acredita na superficialidade do fenômeno. Falta posição crítica, profundidade e rigor lógico no tratamento do fenômeno.

Ações para minimizar os efeitos do senso comum: através de frequentes questionamentos em relação a todos os procedimentos de um processo (RODRIGUES, 2006).

A ideologia:

Com base em um conhecimento específico, busca justificar um fenômeno ocultando a realidade do mesmo. Provoca desvios e interpretações não adequadas, levando a erros e posturas inadequadas.

Ações para minimizar os efeitos da ideologia: através da formação de equipes multidisciplinares e multidepartamentais para a análise e definições de processos (RODRIGUES, 2006).

2.5.2. Método dos 5 porquês

Segundo Glasser (1990), é uma prática cujo objetivo é descobrir a principal causa das anomalias, onde de anomalia conforme Campos (1994), trata-se de qualquer ocorrência não esperada, e causas que conforme Glasser (1990), são

todos os motivos que nos levam a ter um problema. Ao chegar-se ao quinto porquê é provável que teremos a causa mais importante.

2.5.3. Brainstorming

O objetivo do *brainstorming*, ou tempestade cerebral, é auxiliar um grupo de pessoas a produzir o máximo de idéias em um curto período de tempo (WERKEMA, 2005; RODRIGUES, 2006).

Segundo Werkema (2005), deve-se seguir algumas regras para a condução de um *brainstorming*, quais sejam:

Deve ser escolhido um líder ou facilitador para dirigir as atividades do grupo: o líder é responsável por explicar as regras e objetivos da reunião, e incentivar os membros à participarem.

Todos os membros do grupo devem dar a sua opinião sobre o tema em pauta: o ambiente é informal e os participantes apresentam livremente as suas opiniões sobre o tema, sendo sempre encorajados pelo líder a contribuir com suas opiniões.

Nenhuma idéia deve ser criticada: críticas inibem a participação de alguns membros. A revisão das respostas deve ser feita ao fim da reunião.

As idéias devem ser registradas em um Quadro de anotações: a exposição das idéias facilita o processo de enriquecimento da opinião inicial.

Deve haver uma definição das ações que se seguirão ao *brainstorming*: deve ser definido o que será feito, quem fará, e quando.

Rodrigues (2006), a esse respeito apresenta as seguintes etapas a serem seguidas:

Etapa 1 - Deve-se estabelecer o objetivo a ser tratado claramente;

Etapa 2 – Convocar a equipe;

Etapa 3 – Indicar um coordenador para dirigir a equipe;

Etapa 4 – Indicar um membro da equipe que irá registrar as idéias e administrar o tempo; e

Etapa 5 – Definir as regras de funcionamento.

O *brainstorming* é constituído por 4 fases, que são a da geração das idéias, classificação das idéias geradas, avaliação para eliminação de duplicidades e irrelevâncias e fase final, para a seleção de idéias (Fig.28).

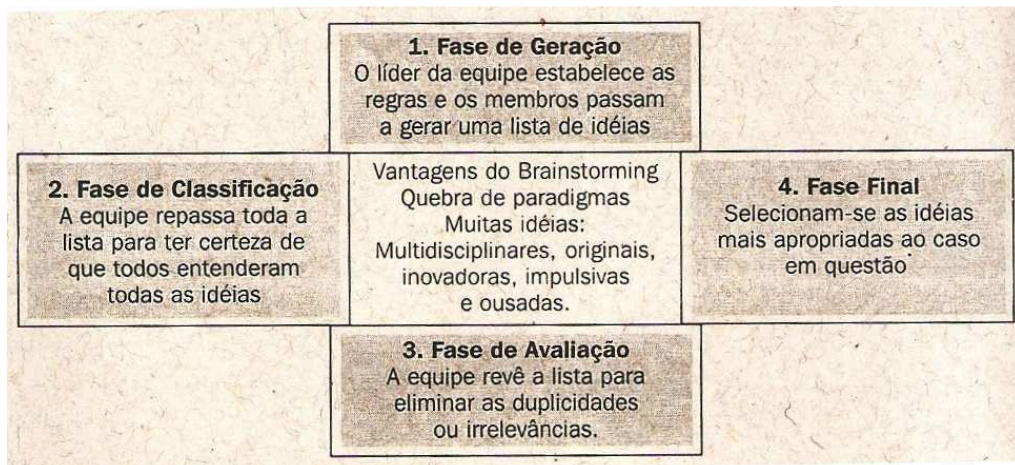


Figura 28 - Fases do brainstorming

Fonte: Rodrigues, 2006.

2.5.4. Folha de verificação

Segundo Kume (1993), a folha de verificação é utilizada para organizar o processo de coleta e registro de dados, de forma a contribuir para otimizar a posterior análise dos dados obtidos.

2.5.5. Plano de ação 5W2H

Segundo Werkema (2005), a ferramenta 5W2H tem a finalidade de representar como foram definidos, para as atividades a serem executadas para se alcançar um determinado objetivo, os seguintes itens:

- O que será feito – what
- Quando será feito – When
- Quem o fará – Who
- Onde será feito – Where
- Porque será feito – Why
- Como será feito – How
- Quanto custará o que será feito – How much

2.5.6. Mapa do processo

O mapa do processo (Fig.29) é uma representação gráfica, sequencial e detalhada que apresenta informações operacionais e administrativas da atividade de

um processo. O mapa do processo busca apresentar informações quanto a aspectos relevantes da entrada, processamento e saída (RODRIGUES, 2006).

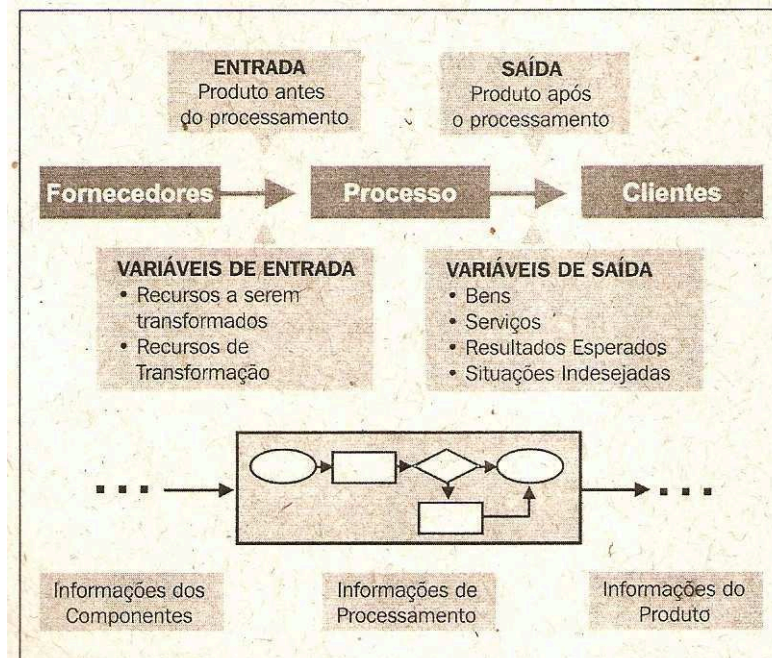


Figura 29 - Mapa de processo

Fonte: Rodrigues, 2006

Segundo Rodrigues (2006), as principais etapas para se construir um mapa de processo são as seguintes:

- Definir o processo ou etapa que vai ser analisado;
- Definir a metodologia e os responsáveis pelo mapeamento;
- Identificar e detalhar as ações na entrada, no processamento e na saída do processo;
- Identificar os aspectos operacionais e administrativos relativos a cada etapa;

- Definir os parâmetros do processo, e
- Associar os parâmetros do processo as variáveis de entrada, de processamento e saída.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.1. O MÉTODO DA PESQUISA-AÇÃO

O método de pesquisa utilizado para este trabalho foi a de pesquisa-ação. A pesquisa-ação exige o envolvimento ativo do pesquisador e a ação por parte das pessoas ou grupos interessados (GIL, 2002). Este método de pesquisa é concebido e realizado em estreita associação com uma ação, onde os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (SILVA, 2005).

(...) Um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1985 *apud* GIL, 2002).

Segundo Barbier (2007), na pesquisa-ação, os membros do público alvo são sujeitos conscientes que colaboram com o pesquisador. A pesquisa-ação:

(...) está mais interessada no conhecimento prático do que no conhecimento teórico. Os membros dos grupos estão em melhores condições de conhecer sua realidade do que as pessoas que não pertencem ao grupo (...)

(...) Com relação à formulação do problema de pesquisa, a pesquisa-ação não tem de formular a priori hipóteses e preocupações teóricas, nem de traduzi-las em conceitos operatórios suscetíveis de serem medidos por instrumentos padronizados (questionários, testes). A pesquisa-ação reconhece

que o problema nasce, num contexto preciso de um grupo em crise. O pesquisador não o provoca mais o constata, e seu papel consiste em ajudar a coletividade a determinar todos os detalhes mais cruciais ligados ao problema, por uma tomada de consciência dos atores do problema numa ação coletiva (...)

(...) Na pesquisa-ação, os dados são retransmitidos a coletividade a fim de conhecer sua percepção da realidade e de orientá-la de modo a permitir uma avaliação mais apropriada dos problemas detectados. Os exames dos dados visam redefinir o problema e encontrar soluções (...)

(...) Na pesquisa-ação a interpretação e a análise são o produto de discussões de grupo. Isso exige uma linguagem acessível a todos. O traço principal da pesquisa-ação – o *feedback* – impõe a comunicação dos resultados da investigação aos membros nela envolvidos, objetivando a análise de suas reações (...)

(...) A pesquisa-ação submete seus resultados, previamente negociados dia-a-dia entre o pesquisador e os participantes da pesquisa, a toda coletividade para provocar sua avaliação. A coletividade passa, então, à determinação das 'possibilidade de melhoria'. No fim da pesquisa pode ou não haver a redação de um relatório final; mas, de qualquer modo há sempre discussão sobre os resultados e uma proposta de novas estratégias de ação. O pesquisador pode comunicar os resultados da pesquisa-ação à comunidade como em qualquer outra pesquisa (...)

Segundo Gil (2002), a pesquisa-ação é composta das seguintes ações, que não possuem, entretanto, uma ordenação temporal:

- a) Fase exploratória: objetiva determinar o campo de investigação, as expectativas dos interessados, bem como o tipo de auxílio que estes poderão oferecer ao longo do processo de pesquisa.
- b) Formulação do problema: procura-se nesta fase definir o problema com precisão.
- c) Construção de hipóteses: deve-se estabelecer as hipótese de forma clara, concisa e sem ambigüidade.
- d) Realização do seminário: neste momento reúnem-se os principais interessados na pesquisa, e onde se recolhe as propostas dos participantes, e suas contribuições.
- e) Seleção da amostra: uma vez que é delimitada o universo da pesquisa, são determinados os elementos que serão pesquisados.
- f) Coleta de dados: para a coleta de dados podem ser utilizadas diversas técnicas, tais como entrevistas coletivas ou individualmente ou preenchimento de questionário.
- g) Análise e interpretação dos dados: nesta fase podem ser realizados discussões em torno dos dados obtidos e conclusões podem ser tiradas.
- h) Elaboração do plano de ação: refere-se ao planejamento de uma ação destinada a enfrentar o problema que foi objetivo de investigação.

- i) Divulgação dos resultados: a divulgação dos resultados confunde-se com um investimento ou complementação.

Segundo Gil (2002), pode-se, considerando-se os objetivos classificar esta pesquisa como exploratória, pois objetiva estabelecer maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo mais elucidativo.

Segundo Silva (2005), quanto a natureza esta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois gera conhecimentos que possuem aplicação prática e são dirigidos para a solução de problemas específicos.

Quanto a forma de abordagem pode ser classificada como quantitativa pois as conclusões e informações foram traduzidas em números neste trabalho, e também é qualitativa por existirem conclusões e abordagens não numéricas, que se relacionam apenas com o aspecto qualitativo do objeto estudado (SILVA, 2005).

4. DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

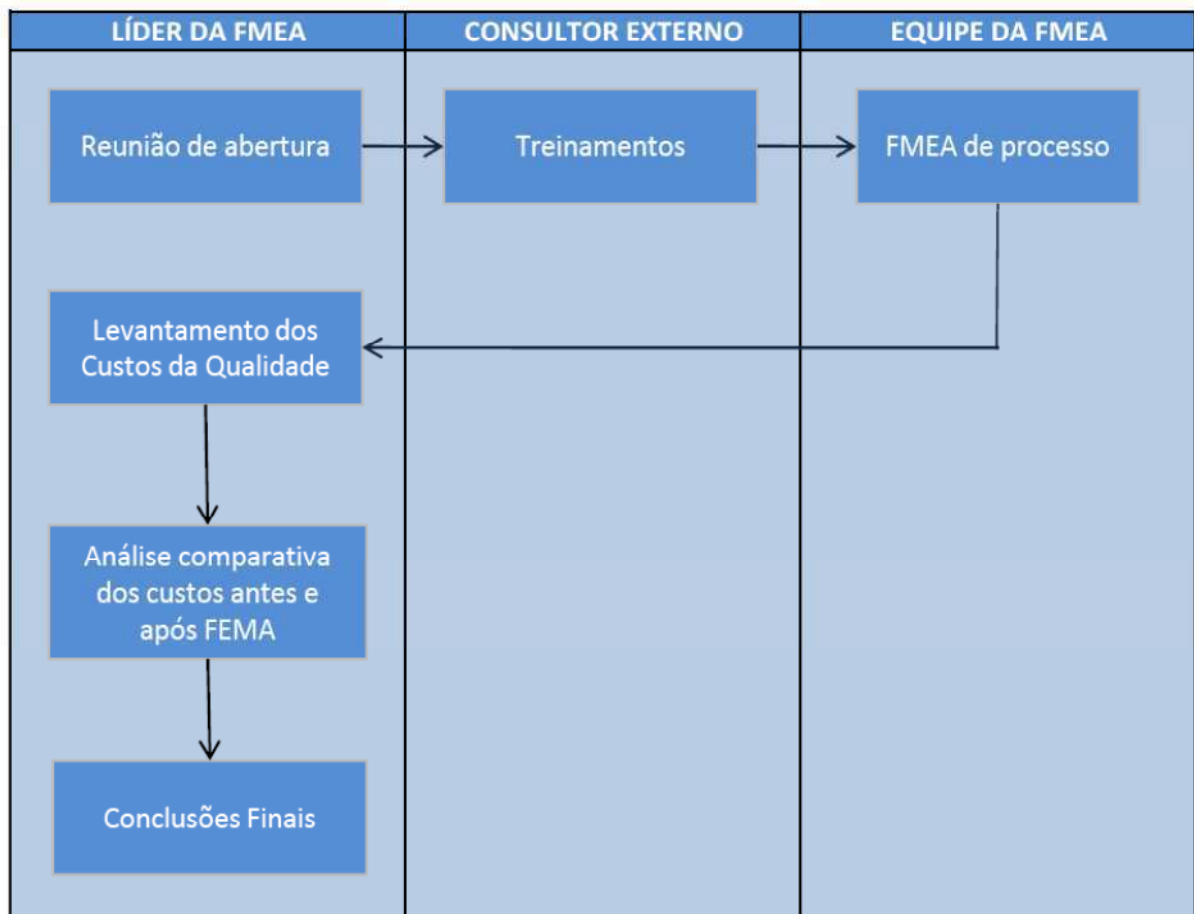
Para iniciar as atividades para o desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma reunião de abertura com os supervisores dos departamentos de Engenharia, compras, vendas, financeiro, qualidade e produção; e nesta reunião foi apresentada a importância do trabalho, o método de desenvolvimento do mesmo e o cronograma das atividades. Cada supervisor participante desta reunião foi designado como um membro da equipe de FMEA, a liderança da FMEA foi delegada ao supervisor do departamento financeiro através de um *brainstorming*, e todas as responsabilidades que teriam a cada etapa de desenvolvimento do trabalho ficaram definidas nesta reunião. Em datas planejadas, foram realizados treinamentos com apoio de consultoria externa para a qualificação da equipe responsável por desenvolver a FMEA e a avaliação dos custos da qualidade. Os tópicos abordados foram:

- a) FMEA – Análise dos modos de falha e efeitos potenciais;
- b) Noções básicas do processo de soldagem GMAW;
- c) Qualidade;
- d) Análise de falhas, e
- e) MASP - Método de análise e solução de problemas.

O curso foi realizado em forma de módulos, com exposição mediada e dialogada, onde cada conteúdo específico foi abordado e medido a sua absorção pelos participantes através de exercícios de fixação e testes.

As demais reuniões subsequentes abordavam as etapas do trabalho, e a avaliação dos resultados obtidos com os levantamentos de informações dos supervisores de departamento junto a suas equipes. Para um melhor entendimento, o Quadro 15, mostra resumidamente, as etapas desenvolvidas desde o início dos trabalhos até as conclusões finais.

Quadro 15 - Fluxo do processo de desenvolvimento das atividades



4.1. ELABORAÇÃO DA FMEA DO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

Como pré-requisito para a alimentação de informações na planilha da FMEA, foi entregue nas reuniões um formulário de entrada de informações onde cada supervisor de área juntamente com a sua equipe seria o responsável pela coleta de informações para alimentar o formulário, quais sejam, a descrição do modo

de falha, seu efeito, suas causas, a avaliação da severidade e detecção dos efeitos, e a ocorrência das causas das falhas. Devido ao treinamento ministrado, não houve dificuldades na aplicação da metodologia, e o conceito foi divulgado pelos supervisores de forma ampla para as equipes envolvidas. A Tabela preenchida com os valores levantados nas áreas foi resumido e validados por *brainstorming* nas reuniões de FMEA de processo, e são mostrados no Quadro 16.

Com os dados constantes do formulário de entrada passou-se a etapa de elaboração do gráfico de áreas (Fig. 30) de forma a se priorizar a severidade dos efeitos, e a ocorrência das causas das falhas proativamente.

Como forma de direcionar as ações para as medidas preventivas, foi elaborada uma matriz de investigação de causas comuns, conforme mostrado no Quadro 17.

Conforme as informações do gráfico de áreas, verificamos que os modos de falha que se situam na região de alta prioridade, e que deverão ser tratados antecipadamente aos demais são os da codificação 1A, 1B, 1C, 1D e 1F, que se referem respectivamente aos modos de falha de falta de fusão, falta de penetração, porosidade, mordedura e trincas. Pela matriz de investigação de causas comuns mostrados no Quadro 17, identificamos que a causa comum que abrange a maioria dos modos de falha e efeitos de alta prioridade refere-se a “velocidade de soldagem alta”, relativa aos modo de falha e efeitos de codificação 1A, 1B, 1C e 1D.

Quadro 16 - Formulário de entrada dos dados para FMEA

MODO DE FALHA	EFEITO	SEVERIDADE (x)	CAUSA	OCORRÊNCIA (y)		
				ocorrência	detecção	
1 Soldagem defeituosa	A Falta de fusão	7	Preparação inadequada da junta	5	7	
			Amperagem baixa	6		
			Velocidade de soldagem alta	5		
			Distância muito alta da tocha à peça	6		
			Ângulo da tocha inadequado	6		
			Chapa suja	4		
			Chapa enferrujada	4		
			Chapa pintada	4		
			Tensão baixa	5		
			Polaridade errada	5		
	Soldagem sobre cordão convexo	3				
		Oscilação da tocha	2			
	B Falta de penetração	8	8	Preparação inadequada da junta	5	7
				Amperagem baixa	6	
				Velocidade de soldagem alta	6	
				Distância muito alta da tocha à peça	6	
				Ângulo da tocha inadequado	6	
				Chapa suja	4	
				Chapa enferrujada	4	
				Chapa pintada	4	
				Junta de solda estreita	5	
				Peça de fusão à frente do arco	5	
	C Porosidade	6	6	Proteção de gás inadequada	7	6
				Chapa suja	4	
				Chapa pintada	4	
				Chapa enferrujada	4	
				Ângulo da tocha inadequado	6	
				Arame de solda sujo ou oxidado	4	
				Deslocamento do ar de proteção	5	
				Vazão alta do gás de proteção	5	
				Condute do arame sujo	5	
				Bocal com respingos	5	
	Velocidade de soldagem alta	6				
Arame de baixo teor de Mn e Si	5					
Soldagem sobre escória	7					
D Mordedura	7	7	Velocidade de soldagem alta	6	5	
			Tensão alta	5		
			Amperagem alta	6		
E Respingos	3	3	Parada insuficiente às margens	7		
			Tensão alta	5	4	
			Distância muito alta da tocha à peça	6		
F Trincas	8	8	Vazão alta do gás de proteção	6		
			Indutância da máquina	3		
			Composição química do arame	3	3	
G Convexidade excessiva	3	3	Cordão pequeno	7		
			Qualidade do material de base	6		
			Tensão baixa	5	4	
			Extensão do eletrodo excessiva	4		
			Indutância da máquina	3		
			Polaridade errada	5		
			Junta de solda estreita	5		

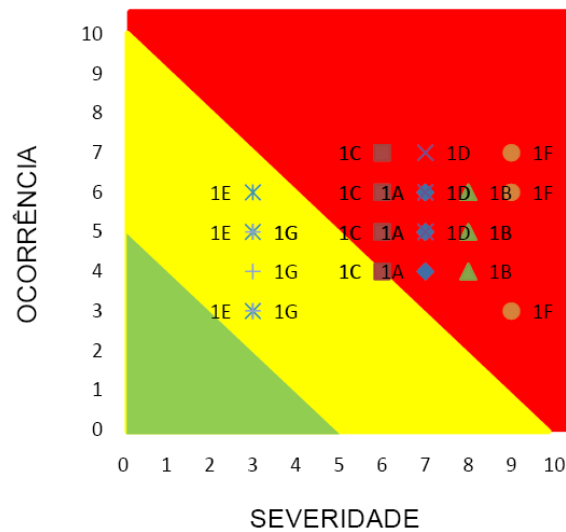


Figura 30 - Gráfico de áreas (Severidade x Ocorrência)

Quadro 17 - Matriz de investigação das causas comuns

CAUSA COMUM	MODO DE FALHA/EFEITO						
	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G
Preparação inadequada da junta	X	X					
Amperagem baixa	X	X					
Velocidade de soldagem alta	X	X	X	X			
Distância muito alta da tocha à peça	X	X			X		
Ângulo da tocha inadequado	X	X	X				
Chapa suja	X	X	X				
Chapa enferrujada	X	X	X				
Chapa pintada	X	X	X				
Vazão alta do gás de proteção			X		X		
Tensão alta				X	X		
Indutância da máquina					X		X
Polaridade errada	X						X
Junta de solda estreita		X					X

Observando o gráfico de áreas de severidade x ocorrência (Fig. 30) e o formulário de entrada de dados para a FMEA (Quadro 16), verificamos que a codificação 1F, mais à direita na área de alta prioridade refere-se ao efeito trincas, cuja causa mais prioritária está associada à elaboração de “cordão pequeno”. Observamos também que o modo de falha/efeito 1F não apresenta causa comum em relação aos outros modos de falha/efeito.

Para sermos proativos em nossa tratativa das causas dos problemas prioritários, propusemos tratar em princípio a causa de falha relativa à velocidade de soldagem alta, por abranger a maioria dos modos de falha e efeitos prioritários, e elaboração de cordão pequeno, por se tratar de uma causa de alta prioridade conforme o gráfico de áreas, para em seguida, propor soluções para as demais causas.

Na análise dos controles a serem ativados para que o modo de falha seja evitado, foram adotados os seguintes procedimentos:

- a) Inspeção visual com preenchimento de lista de verificação;
- b) Líquido penetrante (100% das juntas), e
- c) Instrução de trabalho para soldagem GMAW.

Antes da aplicação da FMEA, a única forma de controle existente era a simples inspeção visual da junta sem uma análise criteriosa, e a utilização do líquido penetrante que era realizada esporadicamente, pois não havia uma padronização para a realização da atividade de soldagem, de modo que uma instrução de trabalho que orientasse a atividade se fazia necessária para reforçar vários outros aspectos relativos a limpeza do material de base, preparação correta da junta, e *setup* das variáveis do processo de soldagem.

Para atendimento do item de ações recomendadas do formulário da FMEA, foi desenvolvido um formulário de 5W2H para se realizar um estudo mais detalhado para se tratar as causas dos modos de falha, e objetivar um levantamento dos custos associados às ações recomendadas em consenso com a equipe da

FMEA. Mostra-se no Quadro 18 o preenchimento das informações pertinentes no formulário da FMEA.

Quadro 18 - Formulário da FMEA do processo de soldagem

FMEA - ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA									
Descrição (Projeto/Processo/Serviço) SOLDAGEM GMAW		Departamento/Membros da equipe Engenharia _____ Compras _____ Vendas _____ Qualidade _____ Financeiro _____ Produção _____			Documentos afetados: XX _____ XXX _____ XX _____ XXXX _____ XXXXXX _____ XXXXXX _____		Página _____ de _____ Original: _____ Data: _____ Aprovações: _____		
FUNÇÕES	MODOS DE FALHA	EFEITOS	SEVERIDADE	CAUSAS	OCORRÊNCIA	CONTROLES	DETECÇÃO	AÇÕES RECOMENDADAS	STATUS
Soldagem GMAW	Soldagem defeituosa	Falta de fusão	7	Preparação inadequada da junta	5			FORMULÁRIO 5W2H EM ANEXO	
				Amperagem baixa	6				
				Velocidade de soldagem alta	5				
				Distância muito alta da tocha à peça	6				
				Ângulo da tocha inadequado	6				
				Chapa suja	4				
				Chapa enferrujada	4				
				Chapa pintada	4				
				Tensão baixa	5				
				Polaridade errada	5				
		Soldagem sobre cordão convexo	3						
		Oscilação da tocha	2						
		Falta de penetração	8	Preparação inadequada da junta	5				
				Amperagem baixa	6				
				Velocidade de soldagem alta	6				
				Distância muito alta da rocha à peça	6				
				Ângulo da tocha inadequado	6				
				Chapa suja	4				
				Chapa enferrujada	4				
				Chapa pintada	4				
				Junta de solda estreita	5				
				Poça de fusão à frente do arco	5				
		Porosidade	6	Proteção de gás inadequada	7				
				Chapa suja	4				
Chapa pintada	4								
Chapa enferrujada	4								
Ângulo da tocha inadequado	6								
Arame de solda sujo ou oxidado	4								
Deslocamento do ar de proteção	5								
Vazão alta do gás de proteção	5								
Conduíte do arame sujo	5								
Bocal com respingos	5								
Velocidade de soldagem alta	6								
Arame de baixo teor de Mn e Si	5								
Soldagem sobre escória	7								
Mordedura	7	Velocidade de soldagem alta	6						
		Tensão alta	5						
		Amperagem alta	6						
		Parada insuficiente às margens	7						
Respingos	3	Tensão alta	5						
		Distância muito alta da tocha à peça	6						
		Vazão alta do gás de proteção	6						
		Indutância da máquina	3						
Trincas	9	Composição química do arame	3						
		Cordão pequeno	7						
		Qualidade do material de base	6						
Convexidade de excessiva	3	Tensão baixa	5						
		Extensão do eletrodo excessiva	4						
		Indutância da máquina	3						
		Polaridade errada	5						
		Junta de solda estreita	5						

4.2. MÉTODO DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

No formulário 5W2H (Quadro 19) para o método de análise e solução dos problemas, ou seja, as causas das falhas encontradas, foi verificado que a proposta de treinamento teórico e prático de soldagem GMAW para a equipe de soldadores e inspetores de qualidade, poderia servir como ação recomendada para se evitar as causas das falhas levantadas pela equipe da FMEA relativo aos modos de falha/efeitos de 1A a 1G.

Quadro 19 - Formulário 5W2H

FORMULÁRIO 5W2H	
O QUE	Treinamento teórico e prático de soldagem GMAW.
QUEM	Consultor externo especialista em soldagem GMAW.
ONDE	Treinamento "in company".
QUANDO	26 a 28/05/2010 de 08:00 às 17:30.
PORQUÊ	Evitar defeitos de soldagem.
COMO	Utilizar auditório e oficina.
QUANTO	Orçamento de R\$ 12.000,00.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DA QUALIDADE

A equipe responsável pela FMEA reuniu-se nesta etapa com o objetivo de reunir informações para subsidiar a determinação dos custos da qualidade. Segundo Carvalho (2005), estes custos estão classificados em custos de prevenção, avaliação e falhas. Através de uma seção de *brainstorming* a equipe definiu os itens associados a cada categoria de custo e posteriormente os gastos foram determinados.

5.1.1. Custos da qualidade antes da implantação da FMEA

Antes da aplicação da ferramenta FMEA não havia nenhum processo gerencial para a avaliação dos modos de falha, e estabelecimento de medidas preventivas. Não havia itens de custo associados a prevenção e as não conformidades do processo eram tratadas de forma corretiva no fim do processo gerando retrabalho e sucateamento de peças quando estes erros eram identificados dentro das instalações, e quando não eram detectadas as irregularidades, os equipamentos eram expedidos e devoluções ocorriam e geravam custos adicionais e insatisfação do cliente com a qualidade do produto.

Os custos relativos à prevenção eram nulos, pois não haviam instruções estabelecidas, e o êxito da atividade era função da experiência individual do operador, e a empresa não investia em treinamentos e qualificação dos soldadores, somente exigindo comprovação de experiência profissional, e não proporcionando nenhum tipo de reciclagem mesmo que problemas de qualidade surgissem.

Os itens de avaliação utilizados antes da aplicação da FMEA eram a utilização esporádica da verificação com líquido penetrante da solda realizada, e inspeção visual no fim do processo, não incorrendo nenhuma intervenção ou medição da qualidade por parte do inspetor nas fases intermediárias do processo. Não existiam relatórios ou listas de verificação para os procedimentos de avaliação, de modo que, se o ritmo de produção estivesse com grande demanda, não havia a obrigação de se avaliar todos os itens ou se estabelecer um método de amostragem para controlar estatisticamente o processo.

Os itens relativos à falhas eram altamente onerosos para a empresa, pois devido à falta de qualidade na atividade de soldagem, fazia com que peças de materiais de alto custo fossem sucateadas, equipamentos devolvidos, além de retrabalhos e reclamações de clientes.

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram os levantamentos dos custos de qualidade antes da aplicação da FMEA. Estes custos foram levantados com base em dados históricos relativos ao mês anterior ao início deste trabalho.

Tabela 1 - Custos de prevenção antes da aplicação da FMEA

CUSTOS DE PREVENÇÃO	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
TOTAL	ZERO

Tabela 2 - Custos de avaliação antes da aplicação da FMEA

CUSTOS DE AVALIAÇÃO	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Ensaio de líquido penetrante</i>	R\$ 700,00
<i>Inspeção visual</i>	R\$ 120,00
TOTAL	R\$ 820,00

Tabela 3 - Custos das falhas antes da aplicação da FMEA

CUSTOS DE FALHAS	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Retrabalho</i>	R\$ 3150,00
<i>Devoluções</i>	R\$ 2100,00
<i>Sucateamento de peças</i>	R\$ 1700,00
<i>Outros</i>	R\$ 300,00
TOTAL	R\$ 7.250,00

Através da avaliação do cenário dos custos totais da qualidade antes do momento de implantação da FMEA (Tabela 4), podemos verificar que a relação entre o custo de falha em relação ao custo total encontra-se na faixa de 89,84%. Conforme o zoneamento de nível de qualidade proposto por Juran e Gryna (1980), se encontra na região de melhoria, onde o custo de falha em relação ao custo total deverá ser maior que 70%.

Tabela 4 - Cenário dos custos da qualidade antes da implantação da FMEA

CENÁRIO DO CUSTO TOTAL		%
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS	
<i>Custos de Prevenção</i>	R\$ -	0,00
<i>Custos de Avaliação</i>	R\$ 820,00	10,16
<i>Custos de Falhas</i>	R\$ 7.250,00	89,84
TOTAL	R\$ 8.070,00	100,00

A região de melhoria é caracterizada por altos custos de falhas e uma má qualidade (JURAN; GRINA, 1980). O nível de qualidade deverá ser melhorado, e investimentos em prevenção e avaliação deverão ser realizados para se reduzir os

custos de falhas. Neste particular a utilização da ferramenta FMEA tem grande importância para viabilizar esta melhoria.

5.1.2. Custos da qualidade na fase de implantação da FMEA

Segundo Carvalho (2005), os custos de prevenção objetivam prevenir ou reduzir as chances de não conformidade. Na análise desta fase, os itens de custos associados à prevenção foram os seguintes:

- a)** Treinamento dos supervisores dos departamentos;
- b)** Reuniões da equipe da FMEA;
- c)** Implantação da documentação técnica para análise da FMEA e dos custos de qualidade associados, e
- d)** Treinamento da equipe de soldadores e inspetores de soldagem

Segundo Carvalho (2005), os custos de avaliação verificam o nível de qualidade e conformidade do produto. Os itens de custos associados à avaliação foram os seguintes:

- a)** Ensaio de líquido penetrante (100% das juntas);
- b)** Inspeção visual da atividade com preenchimento de relatório;
- c)** Treinamentos para utilização das instruções de trabalho.

Segundo Carvalho (2005), os custos associados às falhas podem ser os decorridos da fabricação, ou expedição de produtos defeituosos. Como as medidas

proativas foram consideradas nos itens de custo de avaliação e prevenção, os itens de custo de falhas, que são elencados abaixo, podem vir a ter ocorrência muito remota, quais sejam:

- a) Retrabalho;
- b) Devoluções, e
- c) Sucateamento de peças.

As Tabelas 5, 6 e 7, mostram de forma detalhada a classificação e mensuração dos custos da qualidade na fase de implantação da FMEA. Os custos levantados levam em consideração as horas dedicadas às atividades conforme os salários dos profissionais envolvidos e os gastos com aquisição de materiais e/ou produtos para a realização de testes e confecção de documentos.

Tabela 5 - Custos de prevenção durante a aplicação da FMEA

CUSTOS DE PREVENÇÃO	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Treinamento dos supervisores</i>	R\$ 8.100,00
<i>Reuniões da Equipe da FMEA</i>	R\$ 2.160,00
<i>Documentação técnica FMEA/custos da qualidade</i>	R\$ 1.500,00
<i>Treinamento de Soldadores e inspetores</i>	R\$ 12.000,00
TOTAL	R\$ 23.760,00

Tabela 6 - Custos de avaliação durante a aplicação da FMEA

CUSTOS DE AVALIAÇÃO	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Ensaio de líquido penetrante</i>	R\$ 500,00
<i>Inspeção visual de elaboração de relatório</i>	R\$ 350,00
<i>Treinamento para utilização das IT's</i>	R\$ 1.200,00
TOTAL	R\$ 2.050,00

Tabela 7 - Custos de falhas durante a aplicação da FMEA

CUSTOS DE FALHAS	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Retrabalho</i>	<i>Diversos itens</i>
<i>Devoluções</i>	<i>Diversos itens</i>
<i>Sucateamento de peças</i>	<i>Diversos itens</i>
<i>Outros</i>	<i>Diversos itens</i>
TOTAL (Estimativa)	R\$ 1.025,00

A responsabilidade pela coleta e sumarização destas informações ficou à cargo do líder da FMEA, sendo este auxiliado pela equipe. No momento de se avaliar os custos relativos às falhas, a equipe de FMEA optou por estimar o valor em 50% dos custos levantados para a avaliação, pois através das medidas de prevenção e avaliação já aplicadas, o valor relativo às falhas deverá se situar em um patamar ligeiramente inferior. Os custos totais da qualidade e a contribuição de cada modalidade de custo para o custo total é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Cenário dos custos da qualidade durante a implantação da FMEA

CENÁRIO DO CUSTO TOTAL			%
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS		
<i>Custos de Prevenção</i>	R\$	23.760,00	88,54
<i>Custos de Avaliação</i>	R\$	2.050,00	7,64
<i>Custos de Falhas</i>	R\$	1.025,00	3,82
TOTAL	R\$	26.835,00	100,00

Através da avaliação do cenário dos custos totais da qualidade no momento de implantação da FMEA (Tabela 8), podemos verificar que a relação entre o custo de falha em relação ao custo total encontra-se na faixa de 3,82%, que conforme o zoneamento de nível de qualidade proposto por Juran e Gryna (1980) se encontra na região de perfeccionismo, onde o custo de falha em relação ao custo total deverá ser menor que 40%.

A região de perfeccionismo é caracterizada por altos custos de prevenção e uma excelente qualidade (JURAN; GRZYNA, 1980). O nível de qualidade deverá ser mantido, mas os custos serão menores futuramente, pois geralmente são maiores nas fases iniciais de implantação da ferramenta, pois nesta fase os custos de prevenção são maiores.

5.1.3. Previsão futura dos custos da qualidade

Em uma estimativa futura dos custos da qualidade, o item do custo de prevenção que deverá ser otimizado refere-se as reuniões de FMEA, que devido a maturidade da implantação da ferramenta ocorrerá de forma menos frequente e com menos variáveis à serem abordadas, fato que diminui os custos relativos às horas dedicadas. Na Tabela 9, observa-se a previsão futura dos custos atribuídos à prevenção.

Tabela 9 - Previsão futura dos custos de prevenção após a aplicação da FMEA

CUSTOS DE PREVENÇÃO	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Reuniões da Equipe da FMEA</i>	R\$ 200,00
TOTAL	R\$ 200,00

Os custos de avaliação (Tabela 10) na previsão futura ficaram constantes, exceto pelo item de treinamento nas instruções de trabalho, que agora não se faz necessário, por estar consolidada na equipe.

Tabela 10 - Previsão futura dos custos de avaliação após a aplicação da FMEA

CUSTOS DE AVALIAÇÃO	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Ensaio de líquido penetrante</i>	R\$ 500,00
<i>Inspeção visual de elaboração de relatório</i>	R\$ 350,00
TOTAL	R\$ 850,00

Considerou-se estimar os custos relativos às falhas em 50% dos custos totais da qualidade nesta fase. Tal procedimento de estimativa é orientado pelo estudo de Juran e Gryna (1980), que estabelece que desta forma haverá um equilíbrio entre os custos de prevenção, avaliação e falhas. O custo estimado para as falhas pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 - Previsão futura dos custos de falhas após a aplicação da FMEA

CUSTOS DE FALHAS	
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS
<i>Retrabalho</i>	<i>Diversos itens</i>
<i>Devoluções</i>	<i>Diversos itens</i>
<i>Sucateamento de peças</i>	<i>Diversos itens</i>
<i>Outros</i>	<i>Diversos itens</i>
TOTAL (Estimativa)	R\$ 1.050,00

Temos na Tabela 12 uma previsão futuras dos custos associados a prevenção, avaliação e falhas, considerando-se uma situação de equilíbrio para o investimento em qualidade, de modo a se balancear o investimento na aplicação da FMEA paralelamente aos custos da qualidade.

Tabela 12 - Previsão futura dos custos totais após a aplicação da FMEA

CENÁRIO DO CUSTO TOTAL		%
DISCRIMINAÇÃO	GASTOS	
<i>Custos de Prevenção</i>	R\$ 200,00	9,52
<i>Custos de Avaliação</i>	R\$ 850,00	40,48
<i>Custos de Falhas</i>	R\$ 1.050,00	50,00
TOTAL	R\$ 2.100,00	100,00

5.1.4. Análise comparativa dos custos da qualidade

A análise comparativa dos custos da qualidade nas fases anterior, durante, e após a aplicação da FMEA são mostrados na Figura 31, e podemos observar que na fase após a aplicação da FMEA os custos de qualidade tiveram ligeira redução. Apesar de na fase durante a aplicação os custos de implantação terem sido elevados, os benefícios da implantação são evidentes, uma vez que nossa análise demonstra que as reduções obtidas nos custos da qualidade são permanentes, e tendem a ser cada vez mais enxutas em um ambiente de melhoria contínua.

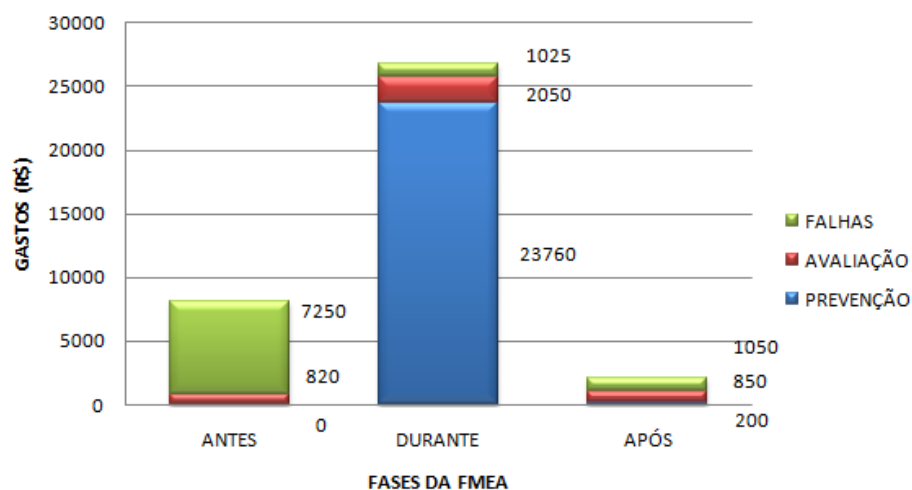


Figura 31 - Análise comparativa dos custos parciais da qualidade

Os custos das falhas antes da aplicação da FMEA eram de R\$7250,00, depois da implantação da ferramenta, este valor se estabilizou em R\$1050,00, ou seja uma redução de R\$6200,00 que representa uma economia de aproximadamente 86% em relação ao valor inicial.

Os custos totais da qualidade antes da implantação da FMEA eram de R\$8070,00, (Fig.32), depois da aplicação da ferramenta, este valor se estabilizou em R\$2100,00, ou seja, uma redução de R\$5970,00, que representa uma economia de aproximadamente 74% em relação ao valor inicial.

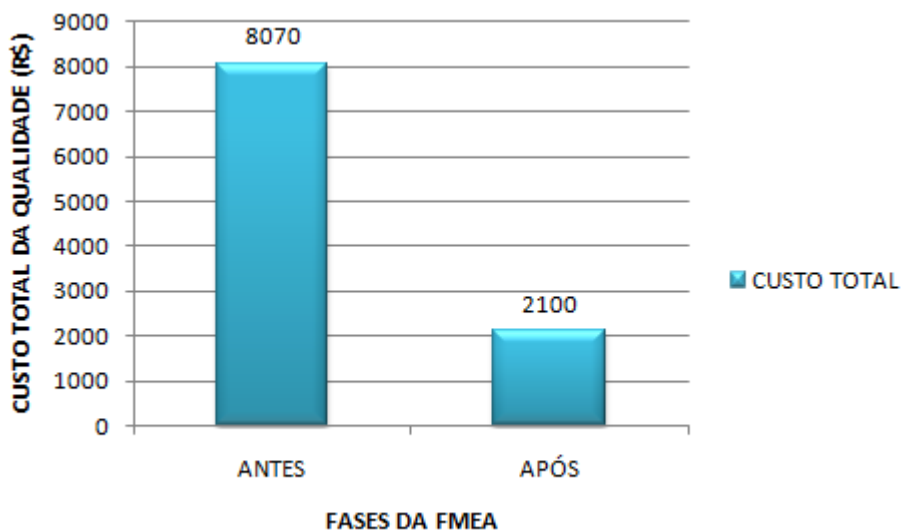


Figura 32 - Análise comparativa dos custos totais da qualidade

6. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que a utilização da ferramenta FMEA aliada a uma avaliação dos custos da qualidade, apresentam vantagens em termos de utilização racional dos investimentos em qualidade, e redução dos custos de falhas aplicados no processo de soldagem GMAW.

Não obstante os custos de implantação, os gastos posteriores são de ordem de grandeza inferior ao estágio em que não havia a utilização da ferramenta, ou seja, há uma considerável redução dos custos da qualidade para uma projeção futura destes custos conforme o estudo apresentado.

Na fase antes da utilização da FMEA os custos das falhas eram de 89,94% do custo total da qualidade, não existiam investimentos em qualidade, e as avaliações realizadas tinham uma participação de custo de 10,16%. Era evidente nesta fase altos custos de falhas e uma má qualidade do processo. Tornou-se necessária uma estratégia gerencial, no caso a utilização da ferramenta FMEA, para a antecipação destes itens de falhas, e o estabelecimento de ações preventivas.

Na fase de implantação e consolidação da FMEA, os custos das falhas passaram a ser de 3,82% do custo total, devido ao grande investimento em qualidade. Os custos de prevenção e avaliação apresentaram uma participação de respectivamente 88,54% e 7,64% dos investimentos. Esta fase é caracterizada por altos custos de prevenção e uma excelente qualidade, e sinaliza para que os investimentos em qualidade sejam racionalizados.

Em uma posição futura dos custos da qualidade, se estimou os custos de falha, prevenção e avaliação, respectivamente com 50%, 9,52%, e 40,48% de participação. Esta fase foi considerada uma situação de equilíbrio para os investimentos em qualidade.

Avaliando-se os custos totais da qualidade antes da utilização da FMEA, e considerando-se a projeção futura de comportamento dos custos associados, pode-se verificar que a economia dos custos da qualidade após a consolidação da ferramenta será na faixa de 74%. Embora os investimentos iniciais de implantação da ferramenta fossem relativamente altos, os ganhos em curto prazo apresentam-se promissores e justificam claramente a utilização da FMEA.

Mantendo-se um ambiente de melhoria contínua, as projeções de redução de gastos e melhoria de qualidade podem ser previstas, e implementadas para trazer um melhor desempenho na utilização da ferramenta FMEA.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9004: Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

AFONSO, L. O. A. Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

AGUIAR, DIMAS CAMPOS DE; MELLO, CARLOS HENRIQUE PEREIRA. FMEA de processo: uma aplicação baseada nos conceitos da ISO 9001:2000. In: XXVIII ENEGEP, 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: 2008. [CD-ROM].

AGUIAR, DIMAS CAMPOS DE; SALOMON, VALÉRIO A. P. Avaliação da prevenção de falhas em processos utilizando métodos de tomada de decisão. Revista produção, v.17, n.3, p.502-519, set./ dez., 2007.

ANDRIETTA, JOÃO MARCOS; MIGUEL, PAULO AUGUSTO CAUCHICK. A importância do método seis sigma na gestão da qualidade: analisada sob uma abordagem teórica. Revista de ciência e tecnologia, Recife, v.11, n.20, p.91-98, jul./dez. 2002.

ARAÚJO, E.T.; GIACAGLIA, E. O. G.; MUNIZ, J.; CAMARGO, P. R. Gestão da produção: Utilização do método FMEA no processo de soldagem GMAW em uma indústria de máquina de elevação e transporte. In: V CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2009, Niterói, Anais eletrônicos... Niterói: CNEG, 2009. Disponível em: <<http://www.excelenciaemgestao.org/pt/edicoes-anteriores/v-cneg/anais.aspx>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

ATKINSON, A. A.; BANKER, R. D.; KAPLAN, R. S.; YOUNG, S. M. Contabilidade Gerencial. São Paulo: Atlas, 2000.

AWS - AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Inspection Handbook. Miami, Florida: 3rd. Edition, 2000.

BARBIER, RENÉ. A pesquisa ação. Tradução: Lucie Didio, Brasília: Liber livro editora, 2007.

BARRETO, M. G. P. Controladoria na gestão: a relevância dos custos da qualidade. São Paulo: Saraiva, 2008.

BERLINER, CALLIE; BRIMSON, JAMES A. Gerenciamento de custos em indústrias avançadas. São Paulo: T. A. Editor, 1992.

BLACHE, M. K.; SHIRIVASTAVA, B.A. Defining Failure of Manufacturing and Equipment. In: Annual reability and maintainability symposium, 1994.

BRANDI, S. D.; WAINER, E.; MELLO, F. D. Soldagem: processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 1992.

CAMPO, RODRIGO BARBOSA. Custos da qualidade. Caderno de administração. Uni Goiás - Anhanguera, Ano I, n.1, jan./dez. 2003.

CAMPOS, VICENTE FALCONI. Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A, 1994.

CARVALHO, M. M.; GILIOLI, R.; BOUER, G.; FERREIRA, J. J. A.; PALADINI, E. P.; SAROHYL, R. W. Gestão da qualidade: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CHANG, C. L.; LIU, P. H.; WEI, C. C. Failure mode and effects analysis using grey theory. Integrated Manufacturing Systems. v. 12, n. 3, p. 211-216, 2001.

CHIAVERINI, VICENTE. Tecnologia mecânica – Processos de fabricação e tratamento. São Paulo: Mc Graw-Hill, 2ºEd., 1986.

CIMA, ELIZABETH GIRON; OPAZO, MIGUEL ANGEL URIBE. A importância dos sistemas de gestão da qualidade: FMEA e seis sigma – uma abordagem teórica. Revista da FAE, Curitiba, v.13, n.2, p.31-36, jul./dez. 2010.

COGAN, SAMUEL. Activity based costing (ABC): a poderosa estratégia empresarial. São Paulo: Pioneira, 1994.

COGAN, SAMUEL. A importância dos custos na gestão empresarial. Disponível em: < <http://dennymarquesani.sites.uol.com.br/semana/aimporta.htm> > Acesso em: 13-jul.-2011.

CROSBY, P. B. Qualidade é investimento. Rio de Janeiro: José Olympio, 1994.

DAILEY, K. W. The FMEA Pocket Handbook. DW Publishing Co.: 2004. 40p.

DENG, J. Introduction to grey system theory. Journal of Grey System, v. 1, n. 1, 1989.

ESAB. Apostila de soldagem MIG MAG, 2005.

FEIGENBAUM, A. V. Controle da qualidade total: gestão e sistemas. Vol. 1. São Paulo: Makron Books, 1994.

FERNANDES, JOSÉ MÁRCIO RAMOS. Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2005. (Dissertação) Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas.

FROSINI, L. H.; CARVALHO, A. ABC e custos da qualidade. Controle da qualidade. São Paulo, n.37, p.52-65, jun. 1995.

FROTA, A. Como reduzir custos através da qualidade. Disponível em: <<http://www.calidad.org>>. Acesso em: 17- out.-2005.

GARCIA, M. D. Uso integrado das técnicas de HACCP, CEP e FMEA. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. (Dissertação) Mestrado Profissionalizante em Engenharia.

GARVIN, D. A. Managing quality: the strategic and competitive edge. EUA, Nova York: Harvard Business School, 1988.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILCHRIST, W. modeling failure modes and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 10, n. 5, p. 16-24, 1993.

GLASSER, WILLIAM. The Quality Scholl - managing students without coercion. New York: Perennial Library, 1990.

HANSEN, D.; MOWEN. M. M. Gestão de custos: contabilidade e controle. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

HELMAN, H.; ANDERY, P.R.P. Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA - FTA), Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 1995.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. Quality planning and analysis. 2a Ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

KUME, HITOSHI. Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade., São Paulo: Editora Gente, 1993.

LEAL, F.; PINHO, A. F.; ALMEIDA, D. A. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da Teoria Grey. In: XXV ENEGEP, 05. Porto Alegre, 2005. Anais [CD-ROM]. Porto Alegre, UFRGS, 2005.

LINCOLN ELECTRIC. MIG/MAG Welding guide: For Gas Metal Arc Welding (GMAW). USA: The aluminum association, 3. Ed., 1997.

LOPES, LUIS FELIPE. A relevância dos custos da qualidade para a gestão empresarial. Revista GEPROS, Gestão da produção, operações e sistemas, Ano 2, n.1, P.35-48, set./dez., 2006.

MARTINS, EDÉSIO DA SILVA. A contribuição do sistema de custos ABC no processo de melhoria continua da qualidade. Taubaté: Departamento de Economia, Contabilidade e Administração da Universidade de Taubaté, 2005. (Monografia) Especialização – MBA em Gerência Financeira e Controladoria.

MARTINS, ELISEU. Contabilidade de custos. São Paulo: Atlas, 1992.

MATTOS, J.C. Custos da qualidade como ferramenta de gestão da qualidade: conceituação, proposta de implantação e diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000. São Carlos: UFSCAR, 1997. (Dissertação) Mestrado em Engenharia de Produção.

MATTOS, JARBAS CESAR DE; TOLEDO, JOSÉ CARLOS DE. Custos da qualidade: Diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000. Gestão e produção, São Paulo, v.5, n.3, p. 312-324, dez. 1998.

MERLI, G. Eurochallenge: The TQM Approach to Capture Global Markets. IFS Ltd., London, 1993.

NAKANO, ROGÉRIO KEIZO. Influência da taxa de deformação na falha de uniões por solda a ponto. São Paulo: Escola politécnica da universidade de São Paulo, 2005. 75p. (Dissertação) Mestrado.

NETO, FRANCISCO CARVALHO COSTA. A pesquisa do custo da qualidade e as necessárias tomadas de decisão. Revista Ingepro, v.1, n.3, maio, 2009.

PALADY, P. FMEA - análise dos modos de falha e efeitos prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. Editora IMAM. 3 ed. 2004.

PETROBRÁS N-1738. Descontinuidades em juntas soldadas, fundidos, forjados e laminados: terminologia. Julho, 2003.

POLLOCK, S. Create a Simple Framework To Valide FMEA Performance. Six Sigma Forum Magazine, USA, 2005.

PORTER, MICHAEL. Os caminhos da lucratividade. HSM Management, São Paulo, mar./abr. 1997.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D. de L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 19, n. 2, p. 137- 151, 2002.

QS 9000 – Manuais. Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA): Manual de Referência. 1997.

RIBEIRO, M. J. F. X.; JORGE, A. O. C.; HOFF, C. H. Y.; BUSELLI, M.; HABITANTE, S. M. Normas para elaboração e apresentação de trabalhos acadêmicos. Taubaté: UNITAU/PRPPG, 2005.

ROBLES Jr., A. Custos da qualidade: uma estratégia para a competição global. São Paulo: Atlas, 1994.

RODRIGUES, MARCOS VINÍCIUS CARVALHO. Ações para a qualidade GEIQ – Gestão integrada para a qualidade padrão seis sigma, classe mundial. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitmark, 2006.

ROOS, CRISTIANO; ROSA, L. C. DA. Ferramenta FMEA: Estudo comparativo entre três métodos de priorização. In: XXVI Encontro nacional de engenharia de produção: A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável, 2008, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

ROTONDARO, ROBERTO. Custos da qualidade, ferramentas para a análise de decisão estratégica. Apostila da fundação Carlos Alberto Vanzolini, 1996.

SAKURAI, MICHIHARU. Gerenciamento integrado de custos. Tradução Adalberto F. Neves. Revisão Técnica: Eliseu Martins. São Paulo: Atlas, 1997.

SILVA, EDNA LÚCIA DA; MENEZES, ESTERA MUSZKAT. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Florianópolis: Laboratório de ensino à distância da UFSC, 2005.

SIQUEIRA, IONY PATRIOTA DE. Manutenção centrada na confiabilidade. Rio de Janeiro: Qualitmark, 2005.

SLACK, N.; JOHNSTON, R; CHAMBERS, S. Administração da produção. 3ºed. São Paulo: Atlas, 2009.

STALK, G.; HOUT, T. M. Competing Against Time: How Time- Based competition is Reshaping Global Markets. New York, NY: The Free Press, 1990.

STAMATIS, D. H. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution. 2. ed. ASQC, Milwaukee: Quality Press, 2003. 494 p.

THIOLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. São Paulo: Cortez, 1985.

TOLEDO, J. C. DE; AMARAL, DANIEL CAPALDO. FMEA – Análise do tipo e efeito de falha. GEPEQ: Grupo de estudos e pesquisa em qualidade. DEP – UFSCar. São Paulo, 2010.

TORELLI, LUIZ CLÁUDIO; FERREIRA, JOSÉ JOAQUIM DO AMARAL. Qualidade total: proposta de um modelo de implantação. Revista Gestão e produção, v.2, n.3, p.281-296, dez. 1995.

WERKEMA, MARIA CRISTINA CATARINO. Design for six sigma. Belo Horizonte: Editora Werkema, 2005.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Edson Teixeira de Araújo

Taubaté, Novembro de 2011.