

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Arnaldo Gonçalves
..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 13/1/06/2006

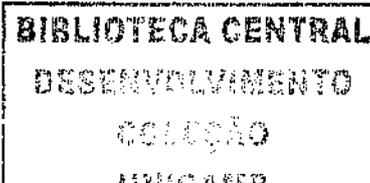
O. Novaski
.....
ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Um Estudo da Implementação da FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) sob a Ótica de Gerenciamento de Projetos

Autor: **Arnaldo Gonçalves**
Orientador: Prof. Dr. **Olívio Novaski**

64/2006



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

Um Estudo da Implementação da FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) sob a Ótica de Gerenciamento de Projetos

Autor: Arnaldo Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Olívio Novaski

Curso: Engenharia Mecânica- Mestrado

Área de Concentração: Fabricação

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2006
S.P . – Brasil

UNIDADE BC
Nº CHAMADA G 586e
V EX
TOMBO BC/ 202.83
PROC 16.123-06
C D X
PREÇO 11,00
DATA 05/10/06
Nº CPD
3.67d 288197

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

G586e Gonçalves, Arnaldo
Um estudo da implementação da FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) sob a ótica de gerenciamento de projetos / Arnaldo Gonçalves. --Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Olívio Novaski
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Análise de riscos. 2. Qualidade. 3. Confiabilidade (Engenharia). I. Novaski, Olívio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Titulo em Inglês: A study of an FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) implementation under project management focus.

Palavras-chave em Inglês: Risk analysis, Quality, Reliability (Engineering)

Área de concentração: Engenharia de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Luiz César Ribeiro Carpinetti e Antonio Batocchio

Data da defesa: 13/06/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

**Um Estudo da Implementação da FMEA
(Failure Mode and Effects Analysis) sob a
Ótica de Gerenciamento de Projetos**

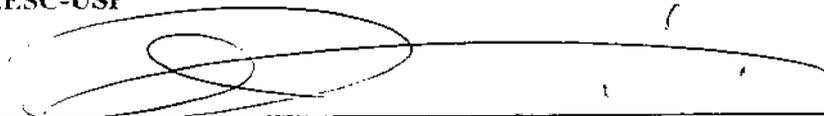
Autor: **Arnaldo Gonçalves**

Orientador: Prof. Dr. Olívio Novaski

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. **Luiz Cesar Carpinetti**
EESC-USP



Prof. Dr. **Antonio Battochio**
UNICAMP



Prof. Dr. **Olívio Novaski**
UNICAMP

Campinas, 13 de junho de 2006

2006 24047

Dedicatória:

Aos meus pais, pelo amor e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu irmão, que tão cedo se foi, mas que permanece vivo em nossa memória.

À minha esposa, Maria da Graça, pelo amor e companheirismo.

Aos meus filhos, Livia Maria e Tiago Luiz, razão maior das nossas vidas.

Agradecimentos

Este trabalho foi concluído com o apoio e participação de diversas pessoas, às quais presto o meu agradecimento:

Ao professor Dr. Olívio Novaski, pela confiança e amizade, e que de maneira sábia me orientou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e professores do departamento de engenharia mecânica, que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Ao Sr. V.A. Rosales e Sra. N.A. Mota da empresa A, pela colaboração, participação e empenho no desenvolvimento do estudo de caso deste trabalho.

“Nós nascemos, por assim dizer, provisoriamente, em algum lugar, pouco a pouco é que compomos, em nós, o lugar de nossa origem, para lá nascer mais tarde, e a cada dia, mais definitivamente”.

Rainer – Maria Rilke

Resumo

GONÇALVES, Arnaldo, “Um estudo da implantação da FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) sob a ótica de Gerenciamento de Projetos”, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006, 89 p., Dissertação de (Mestrado).

A busca contínua pela melhoria de desempenho de produtos, processos, sistemas e serviços, têm obrigado as organizações a experimentar metodologias que gerem melhores índices de desempenho. Aspectos relativos a prazos, custos, qualidade, flexibilidade e confiabilidade são vitais para garantir um diferencial que permita a sua sobrevivência no mercado. A técnica FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), pela sua relevância em catalisar os processos de entrada (*inputs*) e os processos de saída (*outputs*) dos sistemas modernos de administração da qualidade, é vital para o sucesso dos mesmos. A implantação eficaz da FMEA é complexa devido à multidisciplinaridade e às muitas interações necessárias entre os processos, para assegurar que os requisitos dos clientes sejam transformados em características do produto ou serviço. Os objetivos deste trabalho foram: (i) em primeira instância, estudar o estado da arte da técnica FMEA, verificando as interfaces necessárias que garantam a sua efetividade em um sistema de garantia da qualidade e (ii) aplicar e avaliar a contribuição da metodologia de Gerenciamento de Projetos na implantação de uma FMEA, considerando-a como um projeto. O estudo de caso foi realizado em uma empresa do setor automotivo, definindo e monitorando a eficiência da FMEA caracterizada por sessões produtivas e em tempo certo, e a sua eficácia representada pela influência nos custos da qualidade, conformidade do produto e satisfação dos clientes. Os resultados positivos e expressivos obtidos desde a aplicação dos processos do gerenciamento de projetos encorajam o uso desta abordagem na implantação da FMEA para ampliar a sua efetividade.

Palavras-chave: Análise de Riscos, Qualidade, Confiabilidade (Engenharia).

Abstract

GONÇALVES, Arnaldo, “A study of an FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) implementation under Project Management focus”, Campinas, School of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2006, 89 p., Dissertation of (Master Degree)

The continuous seeking for improvements in products, processes, systems and services, stressed by the fast growing competition, has led the organizations to experiment methodologies which can improve performance figures. Aspects related to costs, timing, quality, flexibility and reliability, are strategic in assuring a differential to survive in the business, with higher competitiveness. These demands oblige the organizations to consider more integration among areas, transcending the technical character to a more holistic approach. The FMEA methodology by providing a linking among a quality management system input and output process is considered by many quality management systems, mandatory and of high relevance. The FMEA implementation is quite complex as involves effective interaction among distinct elements, to assure the customers needs fulfilling through the product or service characteristics. The aims of this work were: (i) in the first instance, to study the state of the art of the FMEA technique, by checking the strategic interfaces with other tools to assure its effectiveness under a quality management system and (ii) to apply and evaluate the contribution of Project Management methodology in the implementation of a FMEA, focusing it as a project. A case study was made in an automotive parts industry, defining and monitoring the FMEA efficiency characterized by productive and in time sessions as well as its efficacy, represented by its influence in quality costs, products conformance and customer satisfaction. The positive and significant results obtained since the application of the new project management processes, encourage the use of this approach in the FMEA implementation to boost its effectiveness.

Key Words: Risk Analysis, Quality, Reliability (Engineering).

Índice

| | |
|--|------|
| Lista de Figuras..... | iv |
| Lista de Tabelas..... | vi |
| Siglas..... | viii |
| Capítulo 1 – Introdução..... | 1 |
| 1.1 Introdução..... | 1 |
| 1.2 Problema Proposto..... | 2 |
| 1.3 Justificativa e Importância do Tema..... | 3 |
| 1.4 Objetivos..... | 4 |
| 1.5 Metodologia de Pesquisa..... | 4 |
| 1.6 Conteúdo do trabalho..... | 5 |
| Capítulo 2 – A Técnica FMEA..... | 7 |
| 2.1 Introdução..... | 7 |
| 2.1.1 Uma Interpretação Proativa da FMEA..... | 9 |
| 2.2 O Formulário básico da FMEA..... | 11 |
| 2.3 A FMEA de Conceitos (CFMEA-Concept FMEA)..... | 15 |
| 2.3.1 A definição do QFD e sua interface com a FMEA..... | 16 |
| 2.4 A FMEA de Projetos (DFMEA-Design FMEA)..... | 19 |
| 2.4.1 O Diagrama de Escopo como ponto de partida da DFMEA..... | 19 |

| | | |
|--|---|----|
| 2.4.2 | A Matriz de Interfaces como subsídio para as ferramentas da Robustez..... | 20 |
| 2.4.3 | O Fluxograma proposto para o desenvolvimento da DFMEA..... | 21 |
| 2.4.4 | O Diagrama P como principal ferramenta da Robustez..... | 22 |
| 2.4.5 | A Interface da DFMEA com a FTA (Análise da Árvore de Falhas)..... | 24 |
| 2.4.6 | Uma visão das Interfaces da FMEA de Projetos..... | 25 |
| 2.5 | A FMEA de Processos (PFMEA-Process FMEA)..... | 26 |
| 2.5.1 | O Fluxograma de Processos como ponto de partida para a PFMEA..... | 26 |
| 2.5.2 | A Matriz de Características da FMEA de Processos..... | 27 |
| 2.5.3 | A Interface da PFMEA com os Planos de Controle..... | 28 |
| 2.5.4 | Dispositivos a prova de erros e a FMEA de Processos..... | 29 |
| 2.6 | As relações de interdependência entre as técnicas e a FMEA..... | 29 |
| 2.7 | A relação de interdependência da FMEA com a norma ISO-9000..... | 30 |
| 2.8 | A derivação da QS-9000 para a ISO/ TS 16949:2002..... | 31 |
| 2.9 | Os erros comuns observados na implantação da FMEA..... | 32 |
| Capítulo 3 – O Gerenciamento de Projetos..... | | 33 |
| 3.1 | O Gerenciamento de Integração do Projeto..... | 35 |
| 3.2 | O Gerenciamento de Escopo do Projeto..... | 36 |
| 3.3 | O Gerenciamento do Tempo do Projeto..... | 39 |
| 3.4 | O Gerenciamento de Riscos do Projeto..... | 42 |
| 3.5 | O Gerenciamento da Qualidade do Projeto..... | 44 |
| 3.6 | O Gerenciamento da Aquisição do Projeto..... | 44 |
| 3.7 | O Gerenciamento de Recursos Humanos do Projeto..... | 45 |
| 3.8 | O Gerenciamento de Comunicação do Projeto..... | 47 |
| 3.9 | O Gerenciamento de Custos do Projeto..... | 48 |
| Capítulo 4 – A Implantação da FMEA pelo Gerenciamento de Projetos..... | | 50 |
| 4.1 | As ações definidas para gerenciar a Integração..... | 50 |
| 4.2 | As ações ditadas pelo Escopo..... | 52 |
| 4.3 | As ações definidas para controlar os Prazos..... | 53 |
| 4.4 | O método para avaliação de Riscos..... | 53 |
| 4.5 | As ações ditadas para gerenciar a Qualidade..... | 55 |
| 4.5.1 | O monitoramento da Eficiência da FMEA..... | 56 |

| | | |
|------------------------------------|--|----|
| 4.5.2 | O monitoramento da Eficácia da FMEA..... | 57 |
| 4.6 | As ações definidas para gerenciar a Aquisição..... | 58 |
| 4.7 | As ações definidas para gerenciar os Recursos Humanos..... | 58 |
| 4.8 | As ações definidas para gerenciar a Comunicação..... | 60 |
| 4.9 | As ações definidas para gerenciar os Custos..... | 60 |
| Capítulo 5 – O Estudo de Caso..... | | 62 |
| 5.1 | Introdução..... | 62 |
| 5.2 | Apresentação da Empresa..... | 62 |
| 5.3 | Motivo da escolha da Empresa A..... | 63 |
| 5.4 | Histórico da FMEA na Empresa A..... | 63 |
| 5.5 | O Enfoque na Integração da FMEA..... | 64 |
| 5.6 | O Enfoque no Escopo da FMEA..... | 65 |
| 5.7 | O Enfoque no Tempo do projeto FMEA..... | 66 |
| 5.8 | O Enfoque nos Riscos do projeto FMEA..... | 67 |
| 5.9 | O Enfoque na Qualidade do projeto FMEA..... | 69 |
| 5.9.1 | A Evolução da Eficiência da FMEA..... | 69 |
| 5.9.2 | A Evolução da Eficácia da FMEA..... | 70 |
| 5.10 | O Enfoque na Aquisição no projeto FMEA..... | 73 |
| 5.11 | O Enfoque nos Recursos Humanos no projeto FMEA..... | 74 |
| 5.12 | O Enfoque na Comunicação no projeto FMEA..... | 74 |
| 5.13 | O Enfoque nos Custos no projeto FMEA..... | 75 |
| 5.14 | Resultados e Análises do projeto FMEA..... | 76 |
| Capítulo 6 – Conclusões..... | | 78 |
| Referências Bibliográficas..... | | 80 |
| Anexos..... | | 85 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Pressões que levam à percepção global dos riscos..... | 1 |
| 2.1 | A FMEA e a “Alavanca da Qualidade”..... | 8 |
| 2.2 | Gráfico de Áreas da FMEA-Severidade&Ocorrência..... | 9 |
| 2.3 | Passos de aplicação da FMEA “Proativa”..... | 10 |
| 2.4 | Cabeçalho típico do formulário FMEA..... | 11 |
| 2.5 | Corpo principal do formulário FMEA..... | 11 |
| 2.6 | Técnica para definição de Modos, Efeitos e Causas de Falhas..... | 14 |
| 2.7 | Interface de desempenho da qualidade FMEA & QFD..... | 18 |
| 2.8 | Fluxograma proposto para um plano de qualidade..... | 18 |
| 2.9 | Diagrama de Escopo típico..... | 20 |
| 2.10 | A interface da DFMEA com as ferramentas de Robustez..... | 22 |
| 2.11 | Diagrama P típico..... | 23 |
| 2.12 | Análise de uma Árvore de Falhas desdobrada da FMEA..... | 24 |
| 2.13 | A visão global das interfaces da FMEA de Projetos..... | 25 |
| 2.14 | Fluxograma típico de um processo..... | 27 |
| 2.15 | A relação FMEA o e Plano de Controle..... | 28 |
| 2.16 | A Interdependência das Técnicas e a FMEA..... | 30 |
| 2.17 | Desmembramento da ISO-9000..... | 31 |
| 3.1 | As áreas de conhecimento conforme o PMBOK..... | 34 |
| 3.2 | A sobreposição das fases em um projeto..... | 34 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.3 | Típica Estrutura Analítica do Projeto..... | 38 |
| 3.4 | Fluxograma de controle de mudanças de Escopo..... | 39 |
| 3.5 | Custos de correção de falhas em função dos estágios do projeto..... | 39 |
| 3.6 | Exemplo de gráfico representativo de atividades..... | 42 |
| 3.7 | Estrutura de um Mapa de Responsabilidade Linear..... | 46 |
| 4.1 | Estrutura organizacional matricial..... | 50 |
| 4.2 | Funções principais na gerência de projetos..... | 51 |
| 4.3 | Estrutura Analítica do Projeto proposta..... | 53 |
| 4.4 | Gráfico de tendências da eficiência da FMEA..... | 57 |
| 5.1 | Estrutura matricial do Projeto FMEA-Empresa A..... | 65 |
| 5.2 | Estrutura Analítica do Projeto FMEA-Empresa A..... | 65 |
| 5.3 | Inclusão da FMEA no cronograma de produtos novos..... | 66 |
| 5.4 | Evolução da eficiência da FMEA..... | 69 |
| 5.5 | Evolução da produtividade das sessões FMEA..... | 70 |
| 5.6 | Evolução nos índices de Satisfação dos Clientes-Empresa A..... | 72 |
| 5.7 | Evolução nos índices de Conformidade do Produto-Empresa A..... | 72 |
| 5.8 | Correlação Conformidade do Produto x Dispositivos a prova de erros.. | 73 |
| 5.9 | Evolução dos Custos de Qualidade x Vendas-Empresa A..... | 76 |

Lista de Tabelas

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Etapas da FMEA..... | 8 |
| 2.2 | Classificação de Características Especiais..... | 13 |
| 2.3 | Matriz de Interfaces..... | 21 |
| 2.4 | Típica Matriz de Características..... | 27 |
| 3.1 | Gerenciamento da Integração ao longo das fases do projeto..... | 36 |
| 3.2 | Gerenciamento do Escopo ao longo das fases do projeto..... | 37 |
| 3.3 | Gerenciamento do Tempo ao longo das fases do projeto..... | 40 |
| 3.4 | Conceitos básicos da rede PERT..... | 41 |
| 3.5 | Gerenciamento de Riscos ao longo das fases do projeto..... | 43 |
| 3.6 | Gerenciamento da Qualidade ao longo das fases de projeto..... | 44 |
| 3.7 | Gerenciamento da Aquisição ao longo das fases de projeto..... | 45 |
| 3.8 | Gerenciamento de Recursos Humanos ao longo das fases de projeto.... | 46 |
| 3.9 | Gerenciamento de Comunicação ao longo das fases de projeto..... | 48 |
| 3.10 | Gerenciamento de Custos ao longo das fases de projeto..... | 48 |
| 4.1 | Características de um líder e um gerente..... | 52 |
| 4.2 | Matriz de “ranking” de Riscos..... | 54 |
| 4.3 | A FMEA de concepção do projeto FMEA..... | 55 |
| 4.4 | Indicadores de Eficiência e Eficácia da FMEA..... | 56 |
| 4.5 | Deméritos para avaliação da Eficiência da FMEA..... | 56 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.6 | Mapa Linear de Responsabilidades sugerido..... | 59 |
| 4.7 | Matriz de Conhecimentos e Habilidades sugerida para a FMEA..... | 59 |
| 5.1 | Produtos da Empresa A..... | 62 |
| 5.2 | Diagrama de Gantt – FMEA de produtos correntes-Empresa A..... | 67 |
| 5.3 | A FMEA de concepção do projeto FMEA..... | 68 |
| 5.4 | Avaliação da Satisfação dos Clientes-Empresa A..... | 71 |
| 5.5 | Critério de avaliação da Satisfação dos Clientes..... | 71 |
| 5.6 | Matriz de Conhecimentos e Habilidades-Empresa A..... | 74 |
| 5.7 | Atribuição de responsabilidades da FMEA..... | 75 |
| 5.8 | Evolução dos índices de desempenho FMEA – Empresa A..... | 76 |
| 5.9 | Ações recomendadas pelo gerenciamento de projetos – Empresa A..... | 77 |

Siglas

| | |
|---------------|--|
| 6 σ 's | <i>Metodologia Seis Sigmas</i> |
| AIAG | <i>Automotive Industry Action Group</i> |
| AIMDD | <i>Active Implantable Medical Devices Directives</i> |
| APQP | <i>Advanced Product Quality Planning</i> |
| ASQC | <i>American Society for Quality Control</i> |
| CEP | <i>Controle Estatístico do Processo</i> |
| CPk | <i>Índice de Capacidade de Máquinas</i> |
| CPM | <i>Critical Path Method</i> |
| DFMEA | <i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| DOE | <i>Design of Experiments</i> |
| DVP | <i>Design Verification Plan</i> |
| EAP | <i>Estrutura Analítica do Projeto</i> |
| EVA | <i>Earned Value Analysis</i> |
| FDA | <i>Food Drug Administration</i> |
| FMEA | <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| FMECA | <i>Failure Mode and Effects Criticality Analysis</i> |
| FTA | <i>Fault Tree Analysis</i> |
| GP | <i>Gerenciamento de Projetos</i> |
| HACCP | <i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i> |
| GPFMEA | <i>Gerenciamento de Projetos FMEA</i> |

| | |
|-----------|--|
| GMP | <i>Good Manufacturing Practices</i> |
| HFMEA | <i>Healthcare Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| IPR | <i>Índice de Prioridade de Riscos</i> |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| JAMA | <i>Associação Japonesa de Fabricantes Automotivos</i> |
| JCAHO | <i>Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations</i> |
| KC | <i>Classification of Characteristics</i> |
| MASP | <i>Métodos de Análise e Solução de Problemas</i> |
| MSA | <i>Measurement System Analysis</i> |
| MDD | <i>Medical Devices Directives</i> |
| MTBF | <i>Mean Time Between Failures</i> |
| MTBR | <i>Mean Time Between Repair</i> |
| OEM | <i>Original Equipment Manufacturer</i> |
| PDCA | <i>Plan-Do-Check-Action</i> |
| PERT | <i>Project Evaluation & Review Technique</i> |
| PFMEA | <i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| PMBOK | <i>Project Management Body of Knowledge</i> |
| PMI | <i>Project Management Institute</i> |
| PMP | <i>Project Management Professional</i> |
| POKA YOKE | <i>A prova de erros</i> |
| PPAP | <i>Production Part Approval Process</i> |
| PPM | <i>Parts Per Million</i> |
| QOS | <i>Quality Operating System</i> |
| QSA | <i>Quality System Assessment</i> |
| REDPEPR | <i>Robustness Engineering Design Product Enhanced Process</i> |
| RPN | <i>Risk Priority Number</i> |
| SGQ | <i>Sistema de Garantia da Qualidade</i> |
| SPC | <i>Statistical Process Control</i> |
| SWOT | <i>Strength, Weakness, Opportunities and Threats Analysis</i> |
| WBS | <i>Work Breakdown Structure</i> |

Capítulo 1

1.1 Introdução

Casaroto Filho & Fávero e Castro (1999) afirmam que o ambiente caracterizado por mercados globalizados, evolução tecnológica, difusão da informação e estabilização econômica obriga as organizações a se adaptarem rapidamente às mudanças. Neste cenário, os riscos são maiores, os aspectos qualitativos prevalecem sobre os quantitativos, estratégias devem ser traçadas antes do início dos projetos, e os ganhos são medidos pela produtividade e não pela especulação.

O gerenciamento de riscos surgiu da necessidade das companhias em prevenir ou minimizar os riscos de suas operações (Stamatis, 2003). Configura-se um risco em potencial qualquer evento ou condição incerta que, ocorrendo, irá ter um efeito positivo ou negativo nos objetivos de um projeto. Os itens importantes a serem observados no processo de identificação ou análise de riscos têm origens diversas, conforme representação na Figura 1.1:

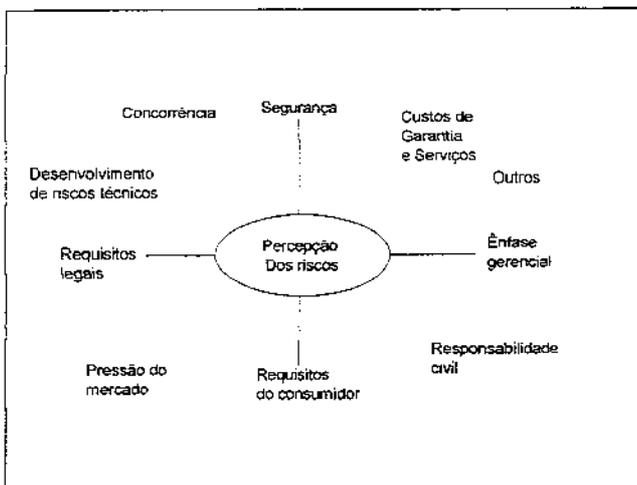


Figura 1.1 - Pressões que levam à percepção global dos riscos [Stamatis, 2003].

Uma análise de riscos tem o propósito fundamental de responder a questões como o que pode dar errado e, se algo der errado, qual é a probabilidade de acontecer e quais são as conseqüências (Kaplan & Garrick, 1981 apud Stamatis 1992). Em um enfoque realista e científico, todos os produtos e ou serviços apresentam defeitos; legalmente, existe consenso que a segurança perfeita não é tecnologicamente possível ou, se é, tem um custo muito alto. É mais lógico então analisar e discutir um defeito levando-se em conta quais são os testes necessários para atender as expectativas do consumidor ou a beneficiar a redução dos riscos (Bass, 1991).

A FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma técnica analítica que pode apontar, eliminar ou controlar os riscos de um empreendimento, assim como melhorar a qualidade e a confiabilidade de sistemas, projetos, processos e serviços, pela minimização da probabilidade de falhas; em alguns sistemas modernos de gerenciamento da qualidade, é considerada obrigatória (Pritchard, 2000; Stamatis, 2003).

1.2 Problema Proposto

Embora alguns segmentos da indústria exijam o uso da FMEA para o cumprimento e manutenção dos seus padrões de qualidade, não significa que esta tenha sido utilizada de maneira apropriada, ao contrário, encarada como uma atividade que consome muito tempo, perde muito de seu potencial (Stamatis, 1998; Ormsby et al, 1992; Montgomery et al, 1996).

Inúmeros relatos de obstáculos e restrições relativos à FMEA têm sido publicados, incluindo a deficiência de trabalho em equipe, o preenchimento tão somente do formulário para atender às exigências dos clientes (Teng & Ho, 1996), a falta de uma visão sistêmica que integre pessoas, processos, tecnologia, organização e desempenho, e a abordagem corretiva ao invés de preventiva (Bongiorno, 2000), a execução tardia para causar impacto nas decisões de projeto (Mackinney, 1991; Kara-Zaitri et al, 1991), entre outros.

Surge, então, o estímulo para perscrutar a evolução, utilização e obstáculos da metodologia FMEA, verificar os elementos importantes no processo de sua implantação em uma organização, e avaliar os resultados do sistema com a adoção dos processos do Gerenciamento de Projetos, como proposta para dirimir ou contornar as dificuldades apresentadas.

1.3 Justificativa e Importância do Tema

A forte competição, a segurança e exigência dos usuários, a responsabilidade civil, os custos de garantia e de serviços, as pressões do mercado, o desenvolvimento de técnicas de análise de riscos, a ênfase do gerenciamento e as exigências legais ou estatutárias levam as organizações a considerar o gerenciamento de riscos, de custos e da qualidade não somente desejável, mas obrigatório (Bass, 1986).

Até a Diretriz de Responsabilidade Civil do Produto (*Product Liability Directive*) ser aprovada pelos países que representam a União Européia em 1995, os consumidores não eram protegidos por uma lei de responsabilidade do produto; geralmente, quando um consumidor se feria devido a um produto defeituoso, prevalecia o princípio antigo (*caveat emptor*), em que o usuário era responsável pela auto proteção (Kolka & Scott, 1992 apud Stamatis, 2003) A referida diretriz mudou o sistema; desde a última década, se alguém se ferir e provar que o produto defeituoso causou o ferimento responsabiliza-se o fabricante, independente de quem é o culpado. A preocupação em minimizar os riscos e, principalmente, se credenciar para fornecer produtos e serviços à União Européia, fez com que as organizações se nivelassem mundialmente e adotassem medidas para minimizar os riscos e melhorar a qualidade de seus produtos nas diversas etapas de desenvolvimento.

No Brasil, a Lei 8.078 de 11 de Setembro de 1990, do Código de Proteção e Defesa do Consumidor, dispõe, no Artigo 12, praticamente o mesmo teor da diretriz européia:

O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sob sua utilização e riscos.

As empresas têm procurado, com a FMEA, atender aos requisitos exigidos pelos clientes quanto à melhoria da qualidade e da confiabilidade, bem como do produto e do processo; discutir as preocupações com a segurança e com a responsabilidade civil sobre os produtos; e reduzir campanhas (“*recalls*”) para solucionar problemas crônicos nos produtos já comercializados (Dale & Shaw, 1990).

Afirma Stamatis (1991 apud Stamatis, 2003):

A FMEA tem apresentado resultados muito satisfatórios na minimização de riscos e melhoria da qualidade, nas indústrias de semicondutores, automotiva, aeroespacial, equipamentos médicos, computadores, estendendo-se para as áreas de saúde, serviços, que encontram nela uma ferramenta poderosa para as tomadas de decisão no desenvolvimento de um projeto.

Possuindo a FMEA esse potencial proativo que propicia a tomada de ações em tempo certo, é de suma importância e interesse conhecer o escopo e as peculiaridades da metodologia, para que ela seja implantada de maneira eficaz.

1.4 Objetivos

O objetivo deste trabalho é propor a aplicação da metodologia de Gerenciamento de Projetos na implantação e monitoramento da FMEA, definindo os processos necessários e suficientes para assegurar resultados mais efetivos da mesma. A FMEA é considerada um elemento estratégico em um sistema de garantia da qualidade, mas enfrenta um espectro de obstáculos e restrições que o Gerenciamento de Projetos pela sua abordagem multidisciplinar pode contornar.

Em primeira instância se estudará o estado da arte da técnica FMEA, verificando as interfaces estratégicas com outras ferramentas que garantam a sua efetividade em um sistema de garantia da qualidade. Durante a implantação da FMEA conforme as “melhores práticas”, e seguindo os processos da metodologia de Gerenciamento de Projetos, será feito o monitoramento da evolução da eficiência da FMEA, representada principalmente pela execução das sessões em tempo certo. A eficácia da FMEA será monitorada verificando a evolução dos índices de custos de qualidade, de satisfação dos clientes e de conformidade do produto.

1.5 Metodologia de Pesquisa

Trata-se de uma pesquisa exploratória, que utilizará a estratégia de pesquisa-ação, estabelecendo um primeiro contato com o problema a ser pesquisado, fazendo uma análise do “*status quo*” da FMEA na empresa confrontando-a com a metodologia de Gerenciamento de Projetos e propondo ações em conformidade com os processos correlatos.

Esta abordagem se alinha com a definição conforme Barbier (2002):

Este tipo de pesquisa (ação-pesquisa) é utilizado e concebido como meio de favorecer mudanças intencionais decididas pelo pesquisador. O pesquisador intervém de modo quase militante no processo, em função de uma mudança cujos fins ele define como estratégica, embora não imponha a sua vontade para os atores. Resulta sim, de uma atividade de pesquisa, na qual os atores se debruçam sobre eles mesmos. Se o processo é induzido pelos pesquisadores, em função das modalidades que eles propõem, a pesquisa é efetuada pelos atores em situação e sobre a situação destes. A ação parece prioritária nesse tipo de pesquisa, mas as conseqüências da ação permitem aos pesquisadores explorá-los com fins de pesquisa mais acadêmica.

Embora a empresa selecionada seja de um segmento específico, pressupõe-se que os resultados da pesquisa podem ser estendidos para outros segmentos de mercado, considerando-se as suas características e particularidades.

1.6 Conteúdo do Trabalho

Capítulo 2-A Técnica FMEA

Procura-se neste capítulo perscrutar o “estado da arte” da técnica, detalhar o procedimento para o preenchimento do formulário FMEA, e analisar as interfaces com outros elementos necessários para a sua efetividade.

Capítulo 3-O Gerenciamento de Projetos

Neste capítulo apresenta-se o conceito de Gerenciamento de Projetos conforme o PMBOK (corpo de conhecimentos do Gerenciamento de Projetos), criado pelo PMI, (Instituto de Gerenciamento de Projetos). Apresentam-se as áreas de conhecimento e o seu desdobramento nos processos e sub-processos. Para cada processo define-se de maneira resumida a funções básicas e as técnicas correlatas.

Capítulo 4-A Implantação da FMEA pelo Gerenciamento de Projetos

Considerando-se os problemas mencionados na revisão bibliográfica procura-se neste capítulo estudar a aplicabilidade dos processos e técnicas propostos pelo Gerenciamento de Projetos na implantação da FMEA, para sanar ou dirimir as suas deficiências que tem um espectro bastante amplo.

Capítulo 5-Estudo de Caso – Empresa A

Fruto dos estudos feitos no capítulo anterior, considerando as peculiaridades da organização, e também do projeto em si, aplica-se neste capítulo a metodologia de Gerenciamento de Projetos na implantação e ou redirecionamento da FMEA, contemplando-a como um projeto, dentro do âmbito maior do sistema de garantia da qualidade.

Apresentam-se ainda neste capítulo, os resultados obtidos no estudo de caso, verificando-se a aderência da aplicação da metodologia de Gerenciamento de Projetos com o objetivo de uma implantação mais efetiva da FMEA na organização.

Capítulo 6-Conclusões

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas da análise das informações coletadas na empresa A após a implantação do projeto FMEA sob a ótica do Gerenciamento de Projetos, objeto do estudo de caso.

Anexos

Anexo I - Índice de Severidade (S)

Anexo II - Índice de Ocorrência (O)

Anexo III - Índice de Detecção (D)

Anexo IV - Verbos e nomes utilizados para definir funções

Anexo V - Formulário de um Plano de Controle

Capítulo 2

A Técnica FMEA

2.1 Introdução

A FMEA é uma ferramenta de engenharia que auxilia na definição, priorização e eliminação de falhas conhecidas ou em potencial dos processos de sistemas, projetos ou de manufatura antes que cheguem aos consumidores. Tem como meta eliminar os modos de falhas ou reduzir os seus riscos (Stamatis, 2003).

O uso adequado da FMEA traz como vantagem a melhoria na qualidade e confiabilidade dos produtos e processos, levando a uma maior satisfação do cliente. Se utilizada em caráter preventivo, evita revisões e modificações de projeto, elimina testes desnecessários, o que somente acontece quando executada nos estágios preliminares do ciclo do produto ou serviço (Dale & Shaw, 1990).

Do ponto de vista financeiro, Stamatis (2003) afirma que um dos grandes benefícios da FMEA é a identificação de custos latentes, que freqüentemente são maiores que os contabilizados, ainda na fase de desenvolvimento do projeto. Quando executada em tempo certo, ela pode reduzir retrabalhos, refugos, custos de manufatura e de garantia. A figura 2.1 demonstra que quanto mais cedo se planeja e executa uma FMEA, maior o retorno do esforço despendido que vem sob a forma de satisfação do consumidor, alta eficiência no desenvolvimento, e maior lealdade dos clientes.

Observa-se que a aplicação tardia é inócua, pois o retorno é menor que o investimento (retorno de 1 para cada 10 unidades monetárias aplicadas).

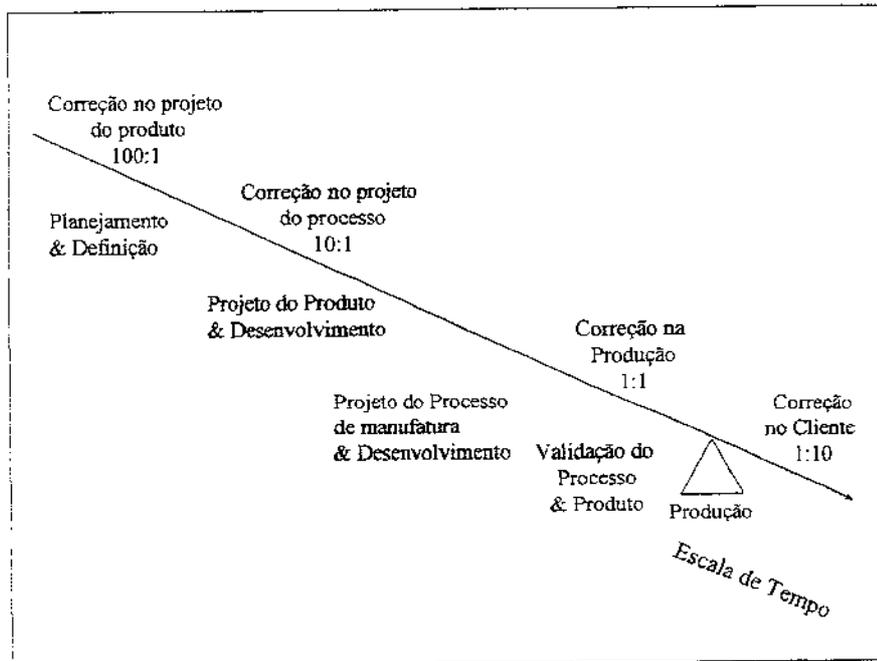


Figura 2.1-A FMEA e a “Alavanca da Qualidade” [Stamatis, 2003].

A FMEA consiste basicamente de três estágios representados na Tabela 2.1. No primeiro estágio, identificam-se os modos possíveis de falhas de um produto ou processo e seus efeitos prejudiciais. No segundo estágio, pontuam-se os riscos destas falhas conforme critérios pré-determinados. As maiores pontuações serão priorizadas nas ações corretivas ou nas revisões do projeto para minimizar a probabilidade da sua ocorrência. O terceiro estágio caracteriza-se pelas modificações do projeto e do processo e o estabelecimento de controles (Teng & Ho, 1996; Kmenta, 2000).

Tabela 2.1-Etapas da FMEA [Kmenta, 2000].

| Tarefa | Método |
|------------------------|--|
| Identificar falhas | (Causas → Modos de falhas → Efeitos) |
| Avaliar falhas | Avaliação do Índice de Prioridade de Riscos ou equivalente. |
| Implantação da Solução | Formulação de planos de testes, melhorias de mudanças de projetos, autorização de mudanças de manufatura, implantação de dispositivos a prova de erros, etc. |

Para avaliar a importância da causa de uma falha, define-se o IPR (Índice de Prioridade de Risco) como o produto de três índices: o de Severidade (S), que indica quão séria é a falha para o produto ou à segurança do usuário; o de Ocorrência (O), que reflete a probabilidade de ocorrer uma falha e o da Detecção (D), que avalia a probabilidade de uma possível falha não ser detectada pelo sistema. Tipicamente os valores dos índices D, O e S variam de 1 a 10 (Ben Daya & Raouf, 1996; Chang et al, 1999). Palady (1995) define esta abordagem como interpretação tradicional.

2.1.1-Uma Interpretação Proativa da FMEA

Publicações mais recentes reduzem a ênfase no IPR, por considerar que a Severidade e Ocorrência (proativas) têm uma importância relativa maior que a Detecção (reativa); assumindo este conceito, as ações prioritárias referem-se ao conjunto Severidade e Ocorrência e, por fim ao índice IPR. A esta interpretação Palady (1995) chama de interpretação proativa. Nessa nova abordagem o autor sugere a criação do Gráfico de Áreas, que considera somente os índices de Severidade e Ocorrência para a seleção dos itens mais importantes. Os valores de Detecção podem até ser usados posteriormente na análise das possibilidades de ganhos proativos.

A Figura 2.2 estabelece três áreas delimitadas que definem as prioridades nas ações. O conjunto das coordenadas (x, y), ou seja, (Severidade, Ocorrência), indica as áreas de cada característica sendo analisada e por consequência a sua prioridade. A delimitação das áreas é prerrogativa da empresa conforme os seus próprios critérios e políticas podendo ser mais exigente ou mais condescendente.

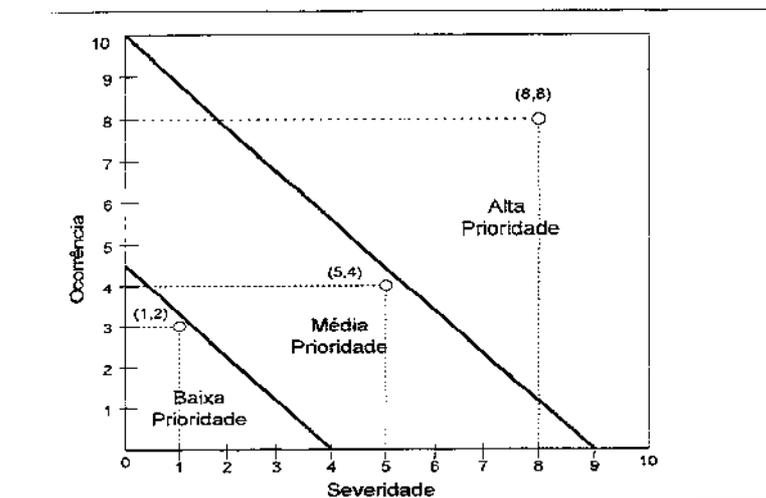


Figura 2.2-Gráfico de Áreas da FMEA - Severidade& Ocorrência [Palady, 1995]

Recentemente, o *Ford FMEA Handbook* (2004) apresentou como na Figura 2.3, uma abordagem que dá ênfase em primeira instância à Severidade representada pelo passo 1. Este passo define as funções e os modos de falhas, procura associar os efeitos a cada modo de falha, identifica os índices de severidade e propõe as ações corretivas possíveis, mesmo antes da definição das causas. Esta situação é rara, pois é difícil tomar ações somente com estas informações.

Numa segunda etapa definem-se as causas e os índices de probabilidade de ocorrência (passo 2). O produto dos índices de Severidade e Ocorrência (Criticidade) irá gerar outro grupo de ações recomendadas.

A terceira etapa (passo 3) considera os dados obtidos nos passos anteriores, agrega os índices de Detecção apurados, e depois calcula o índice IPR baseada nos Anexos I, II, e III.

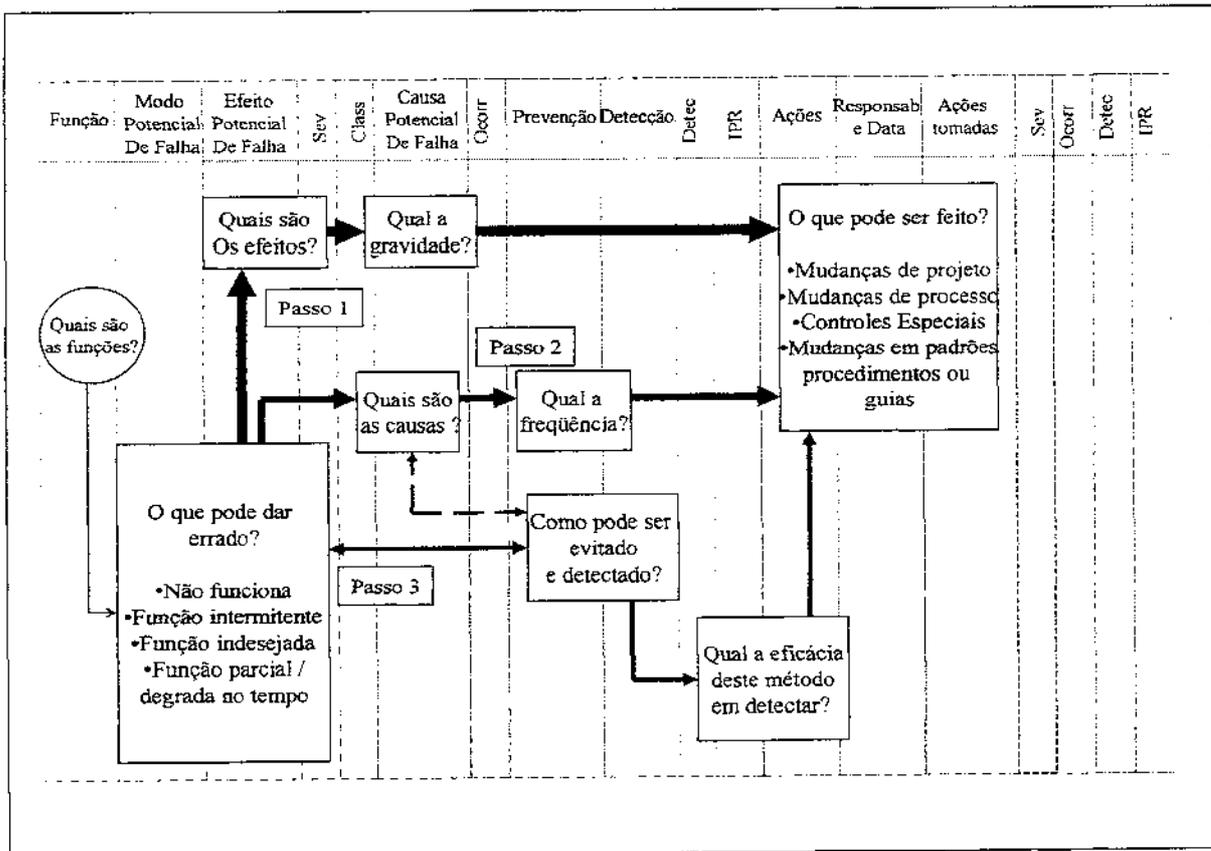


Figura 2.3 - Passos de aplicação da FMEA "proativa" [Ford FMEA Handbook, 2004]

Tendo obtido os índices, classificam-se as causas das falhas, com ações prioritárias sobre aquelas cujos IPR's representam o maior risco. Usualmente a ordem de prioridade

para as ações corretivas são as mudanças nos projetos, em seguida nos processos de manufatura e, finalmente, na inspeção e nos controles (Ammerman, 1998).

2.2 O Formulário básico da FMEA

O desenvolvimento da FMEA é feito com um formulário que registra, de maneira ordenada e seqüencial, as etapas importantes do processo. O formulário consiste de um cabeçalho (Figura 2.4), que fornece as referências básicas do objeto em estudo para o registro e a rastreabilidade dos itens discutidos.

| | | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------|-------------------------|--------------------|---------------|-------------|------------|
| FMEA-Sistemas | ___ | FMEA-Projetos: | ___ | FMEA-Processos: | ___ | Número FMEA | ___ |
| Sistema / Componente: | _____ | | Responsável p/ Projeto: | _____ | | Página | ___ de ___ |
| Preparado por: | _____ | | | | Ano / Modelo: | _____ | |
| Data limite: | _____ | Data início: | _____ | Membros da equipe: | _____ | | |

Figura 2.4-Cabeçalho típico do formulário FMEA [FMEA Handbook ASQC/AIAG, 1993].

O corpo principal aponta os campos a serem preenchidos culminando com o cálculo do IPR e, principalmente, listando as ações a serem tomadas (Figura 2.5).

| Item/ Função (1) | Modo Potencial de Falha (2) | Efeito(s) Potencial de Falha (3) | SEV (4) | CLASS (5) | Causa(s) Potencial de Falha (6) | OCORR (7) | Controles de Projeto atuais (8) | DETEC (9) | IPR (10) | Ações Recom. (11) | Responsável & Datas de término (12) | Ações Tomadas (13) | IPR Resultante (14) |
|------------------------|--------------------------------------|---|---------|-----------|--|-----------|--|-----------|----------|-------------------------|--|--------------------------|---------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Figura 2.5 - Corpo principal do formulário FMEA [FMEA Handbook ASQC/AIAG, 1993]

(1) Item/Função – Define a função do item em atender o objetivo do projeto. Se o item tem mais de uma função com diferentes modos de falhas, listam-se todas as funções separadamente. Stamatis (2003) enfatiza a importância de se usar verbos ativos para descrever uma função; verbos ativos definem desempenho, e desempenho define a própria função. O Anexo IV apresenta verbos e nomes típicos usados na construção da FMEA.

(2) Modo Potencial de Falha – é definido como uma maneira que o item sob estudo pode falhar em atender ao objetivo do projeto. Palady (1995) define o modo de falha como uma negação da função.

(3) Efeito(s) Potencial(ais) de Falha – Descreve os efeitos de falha em termos do que o consumidor irá notar ou experimentar. Àqueles que afetam a segurança ou devem atender às normas legais ou governamentais atribui-se uma maior prioridade.

(4) Severidade (S) – É a avaliação quantitativa da gravidade ou do impacto dos efeitos dos modos de potenciais falhas em componentes, sistemas ou consumidores, se ocorrerem (Anexo I). Quando se deseja reduzir a Severidade de uma falha deve-se fazer revisões nos projetos (Stamatis, 2003).

(5) Classificação – Qualquer item que requeira controles de processo especiais deve ser identificado com o símbolo ou característica na coluna Classificação, e mencionado na coluna de ações recomendadas.

Características Especiais são aquelas que exigem maior atenção para minimizar o risco de conseqüências adversas. Elas afetam a segurança do produto ou do processo e a satisfação do consumidor, devem cumprir as exigências governamentais ou legais, e por isso, exigem ações específicas para assegurar que os produtos irão atender às especificações gerais [APQP (*Advanced Product Quality Planning and Control Plan*) Manual, 1994].

As características que possam afetar a conformidade a controles governamentais ou legais, a segurança do usuário ou, ainda, que requeiram controles para assegurar 100 % de aprovação, cuja Severidade foi avaliada entre 9 e 10, convencionam-se chamá-las de Características Críticas.

É recomendável que as Características Críticas sejam definidas já na fase de projetos, porque é nesta fase que o ferramental começa a ser formalizado. Até que este seja totalmente definido, não se podem delimitar todas as características críticas (Sloane, 1986).

Para os itens não críticos, mas importantes para a satisfação dos clientes, como acabamento, durabilidade, aparência, cuja Severidade foi avaliada entre 5 e 8 e a Ocorrência em valores maiores que 3, são chamadas de Características Significativas.

As características Críticas e Significativas são transportadas da FMEA de projetos ou de processos para registro em um documento (Plano de Controle) para ações pertinentes.

A simbologia utilizada para denominar as características importantes em um processo ou produto não é padronizada, e varia mesmo dentro do mesmo segmento de mercado. A Tabela 2.2 mostra as características comumente usadas no segmento automotivo.

Tabela 2.2 - Classificação de Características Especiais [APQP, 1994]

| Tipo da FMEA | Classificação | Indica | Critério | Ações requeridas |
|--------------|---------------|---|---------------------------------------|---|
| Projeto | YC | Característica Crítica em Potencial (Iniciar FMEA) | Severidade 9 a 10 | Alerta para ser avaliada pela FMEA de processos |
| Projeto | YS | Característica Crítica em Potencial (Iniciar FMEA) | Severidade 5 a 8 Ocorrência 4 a 10 | Alerta para ser avaliada pela FMEA de processos |
| Projeto | Em branco | Característica Crítica ou Significativa, não Potenciais | Severidade <5 | Não necessária |
| Processo | ▽ | Característica Crítica (Também definida como CC) | Severidade 9 a 10 | Exige Controle Especial (Plano de Controle) |
| Processo | SC | Característica Significativa | Severidade 5 a 8 Ocorrência 4 a 10 | Exige Controle Especial (Plano de Controle) |
| Processo | HI | Alto Impacto | Severidade 5 a 8 Ocorrência 4 a 10 | Enfatizar |
| Processo | OS | Segurança do operador | Severidade 9 a 10 | Verificação da segurança |
| Processo | Em branco | Característica Não Especial | Outras | Não se aplica |

(6) Causa(s) Potencial(is) / Mecanismos de Falha – É definida como uma identificação da fragilidade do projeto, a conseqüência pela qual acontece o modo de falha.

As equipes FMEA não raro encontram dificuldades nas definições do que é modo, efeito ou causa de falha gerando uma baixa eficiência nas sessões FMEA. Kmenta (2000) a este respeito afirma que a representação e terminologia da FMEA é ambígua. O termo “modo de falha” depende do nível do sistema que está sendo analisado (componente, sub-sistema ou sistema), o que leva a equipe a se confundir ao interpretar FMEA’s interligadas por níveis. Desta forma, as de múltiplos níveis são difíceis de juntar e compreender; além disso, é extremamente difícil considerar as prioridades de risco entre análise de múltiplos níveis (Humphries, 1994). A técnica mostrada na figura 2.6 é uma rotina para facilitar o entendimento do que é modo, efeito e causa da falha pela seqüência das questões:

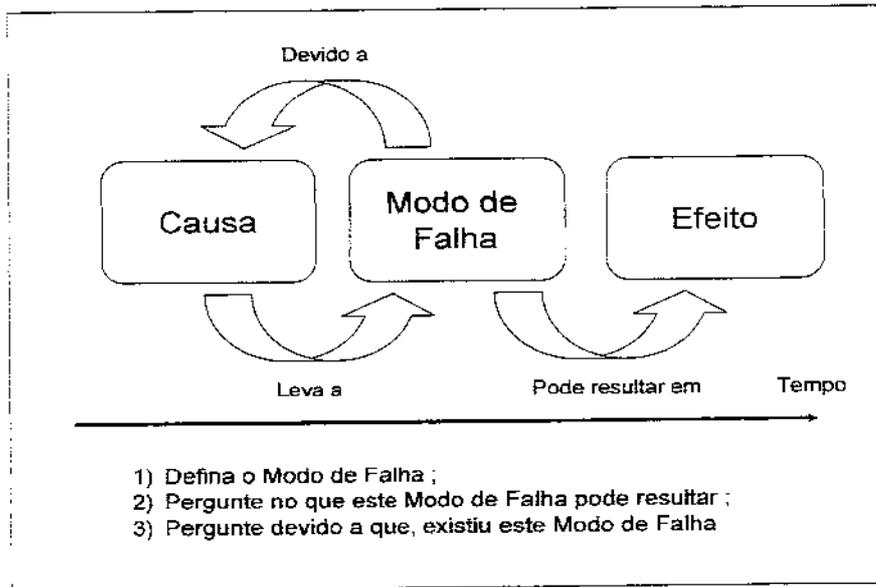


Fig. 2.6-Técnica para definição de Modos, Efeitos e Causas de Falhas [Ford *FMEA Handbook*, 2004].

(7) Ocorrência (O) – É a probabilidade que uma causa ou um mecanismo específico irá ocorrer (Anexo II).

Quando é impossível ou inviável eliminar totalmente a causa raiz da falha, procura-se aumentar a robustez do sistema para reduzir a sua sensibilidade às fontes de variabilidade, conforme o método de Taguchi (Roy, 2001). As mudanças feitas no projeto ou no processo permitem reduzir principalmente a probabilidade de Ocorrência de falhas.

(8) Controles de Projetos Atuais – Lista as ações de prevenção, validação e verificação de projetos ou outras atividades que garantam a adequação do projeto para os modos de falha ou causas e mecanismos considerados. Em alguns segmentos de mercado convencionou-se chamá-los de Plano de Verificação de Projetos (*DVP-Design Verification Plan*).

(9) Detecção (D) – É a avaliação da habilidade do controle de projeto ou processo em detectar uma causa ou mecanismo potencial de falha devido à fragilidade do projeto (Anexo III). A Detecção de falhas somente é melhorada, ou seja, o índice de Ocorrência só pode ser reduzido pela implantação de controles ou melhoria dos controles já existentes (Stamatis, 2003). Por definição é considerada como uma ação reativa.

(10) Índice de Prioridade de Risco (IPR) – É o produto dos índices, Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). Nas edições em inglês refere-se ao RPN (*Risk Priority Number*).

(11) Ações Recomendadas – Após a ordenação dos modos de falhas conforme o critério escolhido (IPR ou outro) procura-se tomar ações corretivas nos itens de maior pontuação.

(12) Responsabilidade (pela Ação Recomendada) – Indica a organização ou o indivíduo responsável pela ação recomendada e a data de término prevista.

(13) Ações Tomadas – Após a implantação de uma ação, descreve de maneira breve a ação real e a data efetiva da mesma.

(14) IPR Resultante – Após as ações corretivas, estimam-se e registram-se os índices de Severidade, Ocorrência e Detecção. Recalcula-se, então, o novo IPR.

Acompanhamento–O responsável pelo projeto deve assegurar a implantação ou exigir de outros todas as ações recomendadas.

2.3 A FMEA de Conceitos (CFMEA-Concept FMEA)

A FMEA de conceitos (ou sistemas) é uma técnica de análise de modos e efeitos potenciais de falhas de um projeto ainda na sua fase conceitual, procurando detalhar o desenvolvimento, testes e avaliações do mesmo. Esta fase é um processo que envolve a aplicação de várias tecnologias e métodos para produzir as saídas (*outputs*) efetivas de um sistema. O resultado deste processo será empregado como entrada (*input*) para a FMEA de Projetos (Stamatis, 2003).

Segundo Blanchard (1986), a FMEA de conceitos efetiva leva em consideração os processos dos sistemas de engenharia, o desenvolvimento do produto, a pesquisa e desenvolvimento, ou a combinação destes elementos.

O foco neste estágio é transformar as necessidades operacionais na descrição de parâmetros de desempenho do sistema, integrar e assegurar a compatibilidade entre esses sistemas e programar as interfaces para otimização do sistema total. Deve também integrar confiabilidade, fatores humanos, segurança, integridade estrutural, viabilidade de produção, e outros aspectos.

A meta da FMEA de Conceitos é definir e demonstrar um meio termo entre os fatores operacionais e econômicos. Para atingir este objetivo, se baseia nas necessidades comprovadas, e nos desejos e expectativas dos consumidores.

Oakland, 1989 afirma que o uso mais efetivo da FMEA é a nível de conceitos, que antecede a FMEA de projetos para poder transformar os requisitos e necessidades dos consumidores em processos e controles de manufatura. Em sintonia confirma Ginn et al (1998 apud Takezawa & Takahashi, 1990), que a FMEA de conceitos cria a oportunidade de desdobrar a “voz do consumidor” em especificações técnicas de uma peça.

Brown (1991) advoga que somente com o auxílio de uma ferramenta de qualidade como o QFD (*Quality Function Deployment*) se pode chegar a um nível de compreensão de todos os requisitos do consumidor para serem desdobrados nos processos de desenvolvimento do produto.

Justifica-se pelas afirmações um aprofundamento no estudo da interface entre o QFD e a FMEA para se procurar extrair o máximo das duas técnicas.

2.3.1 A definição do QFD e sua interface com a FMEA

O QFD é uma técnica que assimila a “voz do consumidor” em termos dos requisitos explicitados, e os transforma em objetivos mensuráveis do produto que podem ser desdobrados para o desenvolvimento dos processos do produto ou do serviço(Barnard,1996). O resultado é um produto com uma maior qualidade nas funções gerando uma maior satisfação dos clientes (McElroy,1989).

A QFD usa uma matriz com dois eixos x e y que estabelecem duas listas: (i) os desejos do consumidor e (ii) a transformação destes desejos em características técnicas mensuráveis. As duas listas são confrontadas verificando relações e correlações, e depois comparadas com o produto ou serviço existente e a concorrência. Deste processo define-se a priorização de desejos e as características técnicas para atender ao máximo a satisfação dos consumidores. As características técnicas são então desdobradas para o próximo nível de clientes internos dentro da organização (*American Suppliers Institute, 1992*). Este nível por sua vez também se desdobra em efeito “cascata” até o produto final. O processo tradicionalmente é composto de quatro fases (Burton, 1995):

1. Estágio de requisitos de projeto pelo consumidor;
2. Estágio de definição das características dos componentes;
3. Estágio do processo de produção;
4. Estágio de controle da produção.

Observa-se aqui a similaridade das quatro fases com os estágios da FMEA de conceitos, projetos e processos (Ginn et al , 1998).

Barnard (1996) também cita similaridades entre a FMEA e o QFD, já que ambas se valem de processos de relações do tipo o que e como, ou de causa e efeito, com ambos os processos procurando definir a prioridade de requisitos funcionais por cálculos matemáticos e também por identificar ações que irão assegurar a execução do que foi recomendado. Considera ainda a importância da criação de equipes multidisciplinares para assegurar o sucesso da implantação em ambas as técnicas.

A questão que ainda perdura é qual o limite que efetivamente define o campo das duas técnicas, que embora tenham objetivos comuns têm seus campos específicos de atuação.

O conceito do diagrama de Kano (Figura 2.7) desponta como a base para se explicar e definir a interface entre o QFD e a FMEA. O referido diagrama considera que as qualidades atrativas, frutos da agregação de valor aos produtos e serviços são invisíveis para o consumidor até que conhecidas, e por isso são qualidades não esperadas e não verbalizadas. Ao longo do tempo estas qualidades atrativas tornam-se esperadas e verbalizadas, ou eventualmente não verbalizadas (Barnard, 1996). Kano et al (1994) observa a necessidade de balancear e entender as diferenças entre a qualidade atrativa e qualidade esperada.

Segundo Ginn et al (1998) a FMEA e o QFD ocupam respectivamente os quadrantes opostos de qualidades básicas e atrativas para o consumidor, não verbalizadas. O QFD ocupa o domínio das qualidades atrativas e de desempenho (quadrante 4), enquanto a FMEA ocupa o domínio das qualidades básicas (quadrante 2). Nos quadrantes opostos, em cinza, se localizam as qualidades básicas más (Quadrante 3) e os requisitos de desempenho requerido (Quadrante 1), ambos verbalizados.

A área compreendida entre a verbalização do consumidor e a do engenheiro tendo como centro a diagonal denominada de desempenho da qualidade, é o foco da interface da FMEA e o QFD que deve ser levada em conta para estudar os benefícios de ambas (Ginn et al,1998).

Pode-se inferir que a FMEA de Conceitos procura se aproximar dos campos de atuação do QFD (verbalização do consumidor), nas qualidades atrativas e de desempenho e

é de suma importância, principalmente no desenvolvimento de novos produtos ou serviços, preparando os dados e entrada (*inputs*) para a FMEA de Projetos abordada a seguir.

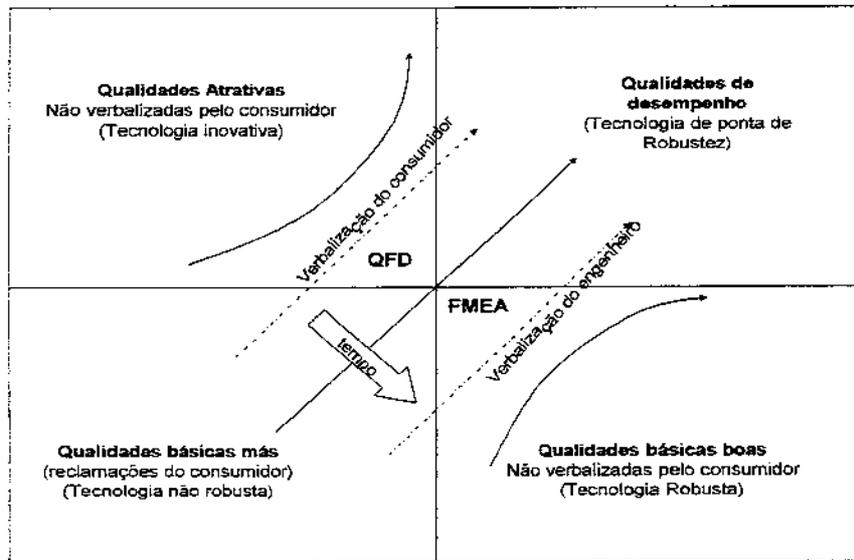


Figura 2.7-Interface de desempenho da qualidade FMEA & QFD [Kano et al,1994]

Ginn et al (1998) propõe um fluxograma que baseado no conceito de Kano, procura extrair o máximo das técnicas representadas pelo QFD, a FMEA, e outras relacionadas com a robustez, estabelecendo a relação de interdependência (Figura 2.8).

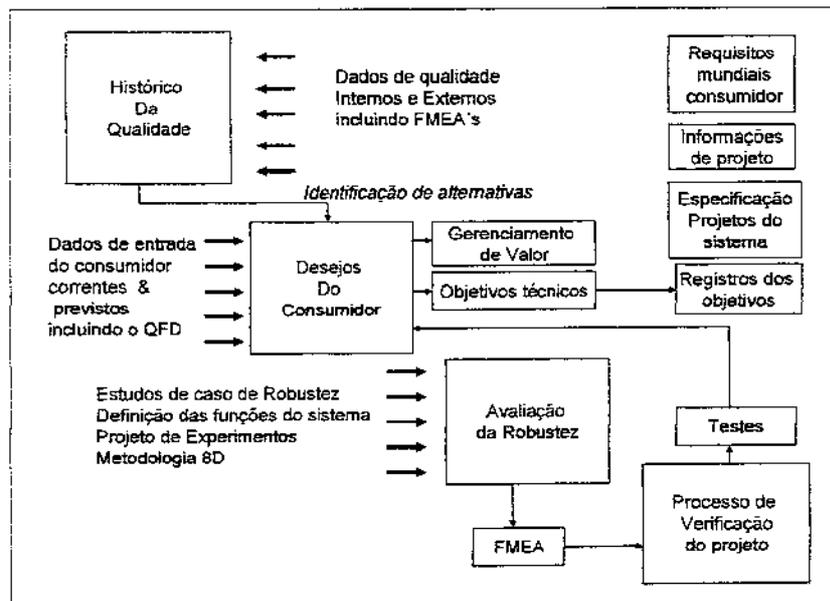


Figura 2.8-Fluxograma proposto para um plano de qualidade [Ginn et al, 1998]

2.4 A FMEA de Projetos (DFMEA-Design FMEA)

A FMEA de projetos é uma técnica analítica utilizada para assegurar ao máximo possível que os modos de falhas assim como as suas causas e mecanismos associados sejam considerados e encaminhados para ações pertinentes. Ela contribui para reduzir os riscos de falhas nos processos relativos ao projeto, principalmente por desenvolver uma lista de potenciais modos de falhas classificados de acordo com o efeito para o cliente, estabelecendo assim um sistema de priorização para melhoria de projetos (*FMEA Reference Manual, 1995 - ASQC/AIAG*).

2.4.1 O Diagrama de Escopo como ponto de partida da DFMEA

A FMEA de projetos inicia-se com a elaboração de um Diagrama de Escopo, uma ilustração gráfica do relacionamento de subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes que fazem parte do objeto de estudo, assim como as interfaces com os sistemas adjacentes e as condições ambientais; o diagrama de escopo é outro nome atribuído ao diagrama de fluxo funcional (Stamatis, 2003).

O produto do Diagrama de Escopo contribui para eliminar ou dirimir as dificuldades em antecipar interfaces com outros sistemas, condições ambientais de operação inesperadas, ou o uso não previsto pelo consumidor, alegadas por Kmenta & Ishii (1998).

A Figura 2.9 mostra um Diagrama de Escopo típico que mostra as interfaces de um conjunto, identifica os sistemas adjacentes, as variáveis externas, a influência do elemento humano, as condições ambientais etc.

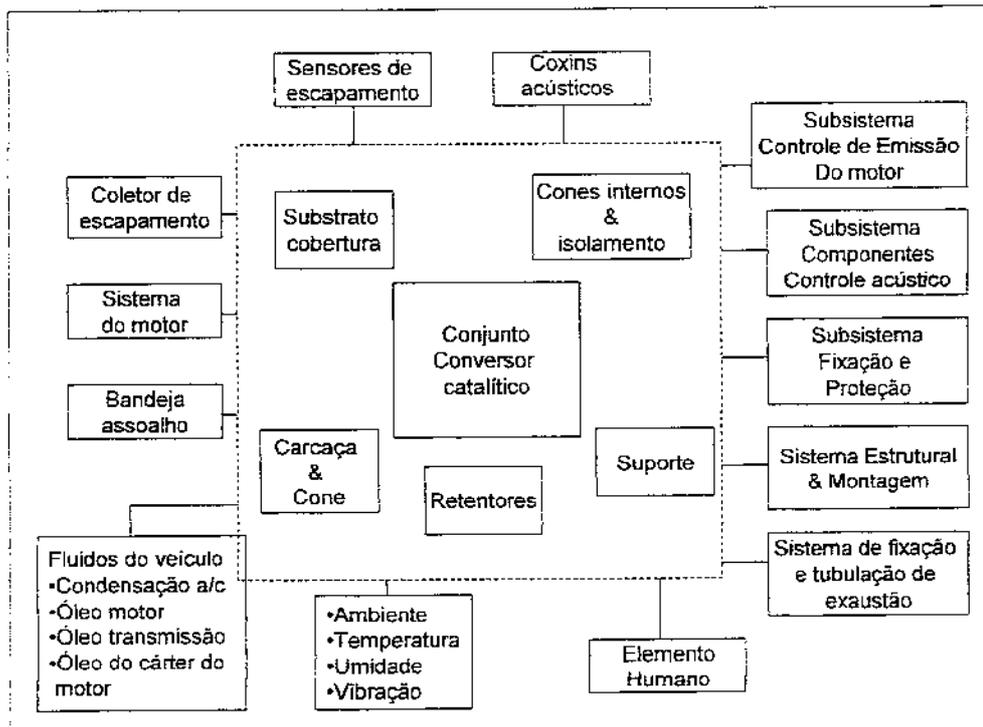


Figura 2.9 - Diagrama de Escopo típico [*Ford FMEA Handbook. 2004*].

2.4.2 A Matriz de Interfaces como subsídio para as ferramentas de Robustez

A Matriz de Interfaces conforme o *Ford FMEA Handbook (2004)* ilustra o relacionamento entre sistemas, subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes, assim como as suas interfaces com os sistemas e ambientes adjacentes.

Juntamente com os dados obtidos no diagrama de Escopo, ela documenta detalhes como o tipo, o peso, a importância e o efeito potencial de interface.

A Matriz de Interfaces contribui com dados sobre as funções primárias ou de interface para a identificação das funções do sistema, sobre os efeitos ambientais ou de sistemas adjacentes, a influência do elemento humano e também identifica os mecanismos e causas potenciais de falhas. Os dados obtidos nesta matriz serão utilizados na confecção do Diagrama P.

A Matriz de Interfaces consiste na definição de quatro tipos de interface (P, E, M, I), que devem ser avaliados com os pesos atribuídos no quadrante apropriado, conforme definição pela Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Matriz de Interfaces [Ford FMEA Handbook, 2004].

| | | | |
|----|---|--------------------------------|------------------------------|
| P | E | P- Contato físico | E - Transferência de energia |
| I | M | I – Intercâmbio de informações | M – Intercâmbio de materiais |
| +2 | A interação é necessária à função | | |
| +1 | A interação é benéfica,mas não absolutamente necessária à função | | |
| 0 | A interação não afeta a funcionalidade | | |
| -1 | A interação causa efeitos negativos ,mas não evita a funcionalidade | | |
| -2 | A interação deve ser evitada para se obter funcionalidade | | |

Após a atribuição das pontuações, as interações negativas serão levadas em conta pela FMEA de Projetos, assim como na preparação do Diagrama P apresentado a seguir.

2.4.3 O fluxograma proposto para o desenvolvimento da DFMEA

Uma FMEA segundo as “melhores práticas” considera, além da prevenção de erros, a melhoria na robustez do produto, aspectos estes distintos, mas complementares, no esforço de se evitar os modos de falhas. A Figura 2.10, uma evolução do fluxograma já apresentado por Ginn et al (1998) identifica ferramentas que tratam dos dois aspectos em comum até bifurcar entre erros e os problemas de robustez. Os resultados obtidos separadamente se interagem mais uma vez com intercâmbio de dados para tornar a FMEA de Projetos mais completa.

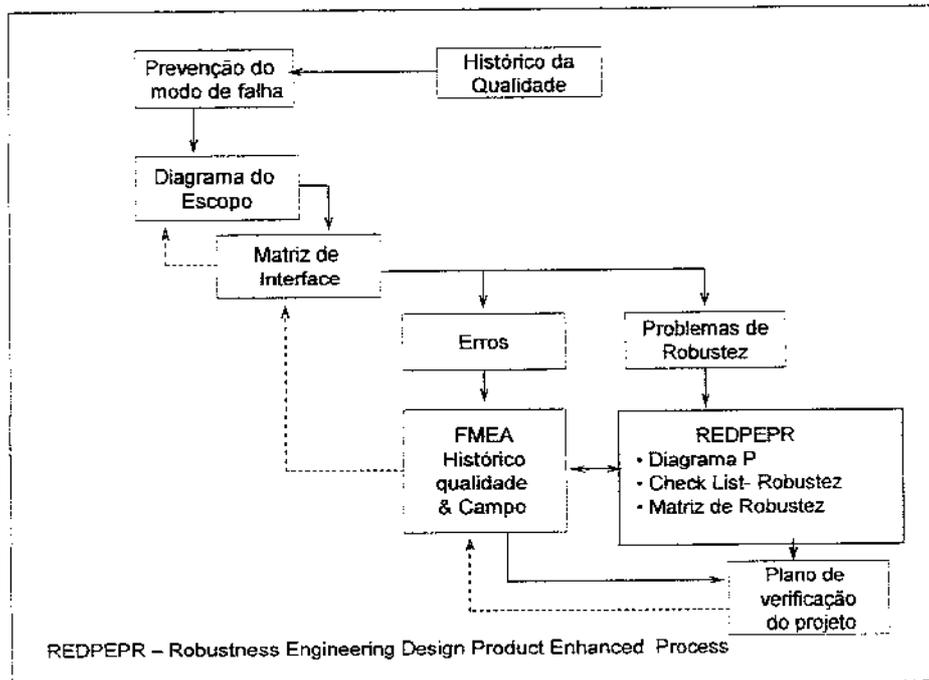


Figura 2.10-A interface da DFMEA com as ferramentas de Robustez [Ford FMEA Handbook 2004].

2.4.4 O Diagrama P como a principal ferramenta de robustez

O Diagrama P se baseia no método de robustez criado por Genuchi Taguchi para reduzir ou controlar as fontes de variação de um sistema.

Baseado na teoria de sistemas, Taguchi (1986) criou o que se convencionou chamar de método de Taguchi. O item sob análise é definido como um sistema que sofre influências de variáveis externas (*inputs*) que irão afetar os seus resultados esperados (*outputs*).

Os Fatores de Sinal são definidos por uma ou mais variáveis externas que irão ativar a função sendo analisada. Pode ser representado por energia térmica, mecânica, química, pressão, massa, etc.

Os Fatores de Ruído são interfaces indesejadas ou inesperadas, ou condições e interações que podem levar à falha da função. Estes fatores que “perturbam” as funções de um produto ou processo são rotulados de “Ruídos” (ex. vibração induz ao desgaste da peça). São classificados em cinco famílias:

1. Variação peça a peça;
2. Mudanças ao longo do tempo (desgaste);
3. Utilização pelo consumidor (condições);
4. Ambiente externo (tipo de ambiente, clima);
5. Interações do sistema.

Os Fatores de Controle são as medidas que devem ser tomadas para atenuar os Fatores de Ruído, ou mesmo dos Fatores de Sinal, tornando os itens mais “robustos”, ou seja, menos susceptíveis às variações.

Após a identificação dos dados de entrada e saída para uma função específica, identificam-se os possíveis Erros. Definem-se Erros tanto aos desvios da função pretendida, que equivalem ao modo de falha da FMEA, como sintomas não desejados no sistema.

A Figura 2.11 mostra um sistema (conjunto do catalisador) afetado por variáveis diversas, onde se procura definir os Fatores de Controle para controlar os Erros e cumprir as funções pretendidas.

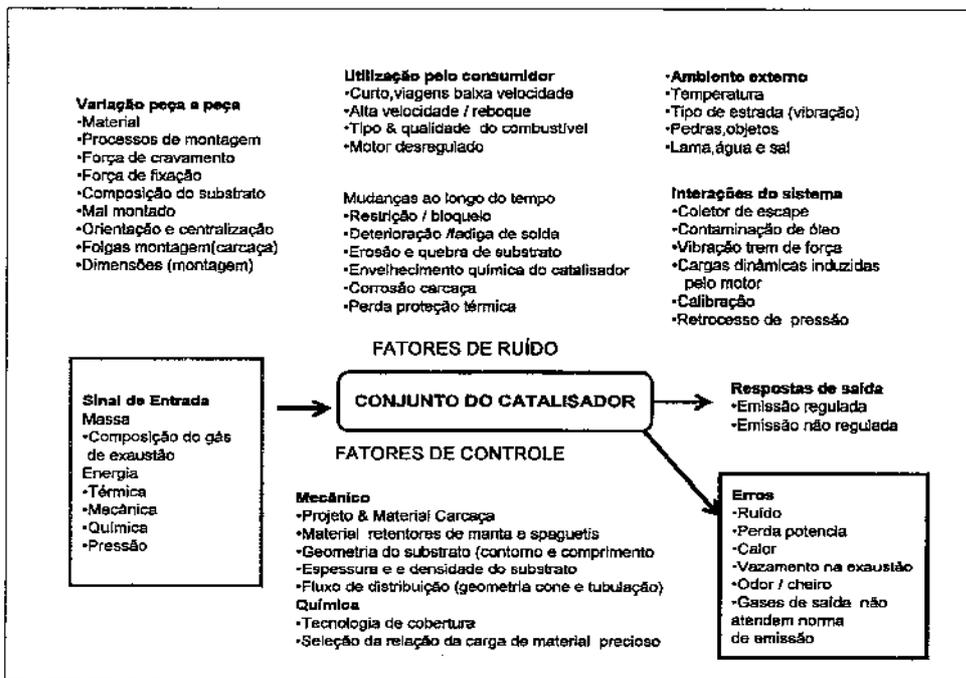


Figura 2.11 - Diagrama P típico [Ford FMEA Handbook 2004]

2.4.5 A Interface da FMEA de Projetos com a FTA (Análise da Árvore de Falhas)

A FTA (*Fault Tree Analysis*) é uma técnica analítica para análise da confiabilidade e segurança, utilizada geralmente para sistemas dinâmicos complexos e extensos e também para quantificar riscos associados a sistemas potencialmente perigosos, (Andrews & Moss, 1993; Joshua & Garber, 1992 ; Brown, 1990). Os resultados obtidos fornecem uma base objetiva para análise e justificativa para as modificações e/ou adições de componentes (Blanchard, 1986; Stamatis, 1992).

A FTA utiliza a representação de uma árvore para mostrar as relações de causa e efeito entre um evento singular indesejado (falha) e as várias causas que contribuem para o seu acontecimento. A árvore mostra o desdobramento de uma falha no topo da mesma até a(s) causa(s) raiz na base da árvore. São utilizados, para a representação, símbolos lógicos padronizados (Dhillon & Singh, 1981).

Conforme Palady, 1995 uma árvore de falhas desdobra um modo de falha, previsto pela FMEA, em todas as causas prováveis, criando tantos níveis quanto necessários, até atingir os componentes. A ocorrência do modo de falha baseia-se no índice histórico de falhas do componente, que em conjunto com os outros índices irão definir a probabilidade de ocorrência de falha no conjunto completo. A Figura 2.12 representa uma árvore de falhas com as causas listadas obtidas de uma FMEA onde se deseja verificar a probabilidade de falha do conjunto completo.

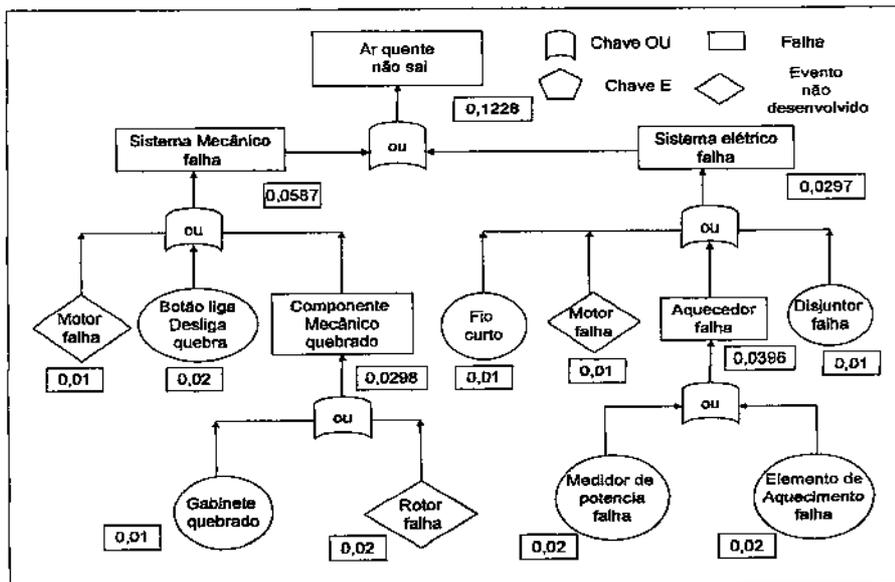


Figura 2.12-Análise de uma Árvore de Falhas desdobrada da FMEA [Palady,1995]

Segundo Stamatis (1992), ela sempre complementa a FMEA e nunca o contrário ou, no mínimo, são consideradas análises complementares (Kocza et al, 1999 e Stålhane et al, 1998). As duas afirmações acima não apresentam conflito, e entende-se que depende do ponto de vista do que se quer investigar.

A FTA é estatisticamente mais precisa, com previsões mais apuradas para modos de falha que se consiga antecipar, e é mais rigorosa que a FMEA. Entretanto não se conhecem muito os modos de falha de produtos novos e, portanto, são impossíveis de avaliar usando as técnicas tradicionais de confiabilidade. A FMEA, em contraposição, identifica um espectro mais extenso de falhas, mas com menor precisão na previsão dos riscos (Ruiz, 2000; Bednarz & Marriot, 1988).

A maior vantagem da FMEA sobre outras técnicas de gerenciamento de riscos segundo Stamatis (2003), é a sua flexibilidade, extensão de escopo e o uso como uma ferramenta de projeto.

2.4.6 Uma visão das interfaces da FMEA de Projetos

Teng & Ho (1996) sintetizam o que foi apresentado nos tópicos anteriores mostrando as interfaces da FMEA de Projetos com os outros elementos no fluxograma da Figura 2.13

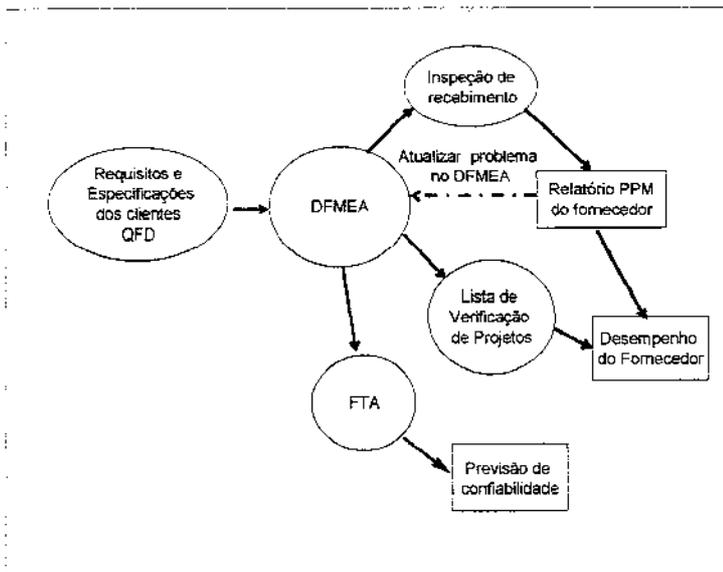


Figura 2.13 – A visão global das interfaces da FMEA de Projetos [Teng & Ho, 1996]

2.5 A FMEA de Processos (PFMEA-Process FMEA)

A FMEA de Processos permite identificar os modos de falha em potencial nos processos relativos a um produto e avaliar os seus efeitos para o consumidor; identifica as causas de falhas em potencial na manufatura e montagem e aponta as variáveis do processo que devem ser controladas para a detecção ou redução das condições de falha; desenvolve uma lista de modos de falhas em potencial, estabelecendo um sistema de priorização para as ações corretivas; documenta os resultados dos processos de manufatura e montagem e contribui para a liberação de controles visuais, definindo padrões de aceitação. O preenchimento do formulário é idêntico ao da FMEA de projetos, porém os objetivos das duas são diferentes. Enquanto a FMEA de Projetos questiona como o projeto pode deixar de fazer o que foi proposto, e o que fazer para prevenir as suas potenciais falhas, a FMEA de Processos questiona como o processo pode deixar de fazer o que foi proposto, e o que fazer para prevenir as suas potenciais falhas de processo.

2.5.1-O Fluxograma do Processo como ponto de partida da FMEA de Processos

Para se iniciar uma FMEA de Processos deve ser ter uma visão exata das etapas sequenciais do processo, o que é feito com o auxílio de um fluxograma. Respostas a perguntas: Como? ; O que o processo supostamente deve fazer? ; Qual é a função? , entre outras, auxiliam no perfeito entendimento do processo (Stamatis, 2003; Teng & Ho, 1996).

Segundo Stamatis (2003) o fluxograma de processos é uma seqüência do fluxo das operações entre processos e indivíduos, que se utiliza de símbolos padronizados para cada um dos processos; permite a visualização de todas as etapas de um processo para se detectar as atividades que não agregam valor ou que possam contribuir para um evento indesejado. , conforme a Figura 2.14.

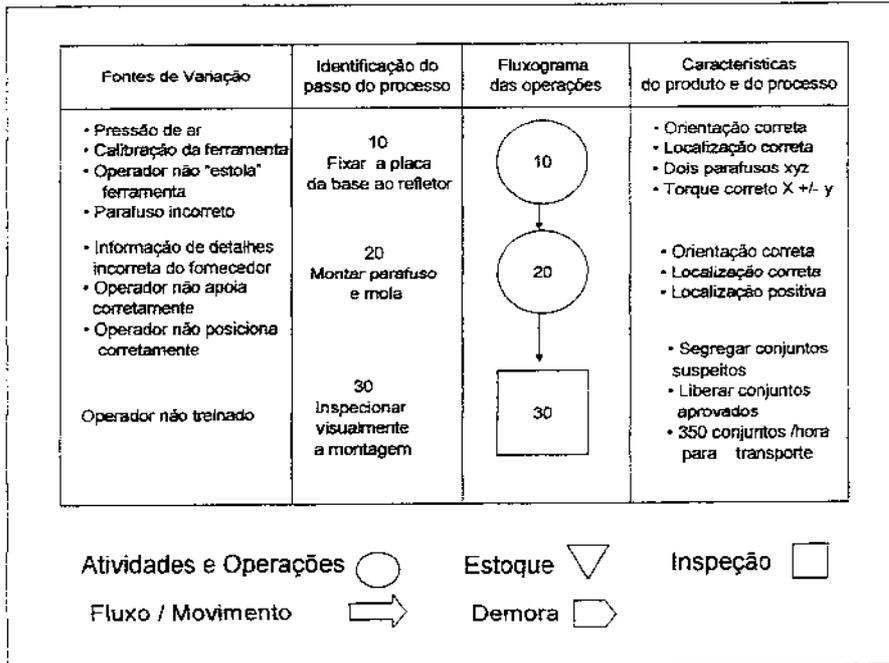


Figura 2.14 - Fluxograma típico de um processo [Stamatis, 2003].

2.5.2 Matriz de Características da FMEA de Processos

A Matriz de Características com o auxílio do fluxograma de processos estabelece o vínculo entre produto e processo, assim como entre produto e produto. A compilação desta matriz (Tabela 2.4) identifica todos os passos do processo que podem afetar as características da peça levadas em consideração pela FMEA de projetos.

Tabela 2.4 – Típica Matriz de Características [APQP Manual 1994]

| Característica do Produto | Operações | | |
|--|-----------|----|----|
| | 10 | 20 | 30 |
| Orientação correta – placa da base | A | | |
| Localização correta-placa da base | X | | |
| Dois (2) parafusos XYZ | A | | |
| Torque correto X +/- y | X | | |
| Orientação correta- conj. mola/ parafuso | | X | |
| Localização correta – conj. mola/ parafuso | | X | |
| Localização positiva – conj. mola/parafuso | | X | |

Legenda

| | |
|--|--|
| X- A característica é formada ou modificada. | T- As ferramentas comuns criam mais de uma característica. |
| C- A característica é usada para fixar. | M- A característica é monitorada automaticamente. |
| L- A característica é usada para localizar. | A- Uma característica do produto acabado tem forte efeito sobre outra. |

A FMEA de processos gera como saídas os planos de controle propostos, a necessidade de se estabelecer controles visuais para inspeção, as listas de verificação dos processos de produção, os dispositivos a prova de erros (*Poka-Yoke*). Serve também de subsídio importante para a execução da FMECA (*Failure Mode and Effects Criticality Analysis*), variante da FMEA utilizada em contratos governamentais, baseada na norma MIL-STD-1629a, na qual é importante a identificação de características especiais críticas.

2.5.3-A interface da FMEA de Processos com os Planos de Controle

O Plano de Controle é um sumário das ações planejadas de qualidade, específicas para um processo, produto ou serviço, que lista todos os parâmetros de processos e características de projetos considerados importantes para a satisfação do consumidor e que requerem ações de planejamento de qualidade específico. Descreve, ainda, as ações e reações necessárias para assegurar que o processo seja mantido sob controle estatístico (Stamatis, 2003).

É a FMEA de processos que identifica as características críticas e significativas e, portanto, o ponto de partida para iniciar um Plano de Controle. Um plano de controle lista as características críticas e significativas, os tamanhos das amostras, frequência e métodos de inspeção, estudo de dispositivos e as ações corretivas (Teng & Ho, 1996).

A Figura 2.15 mostra o desdobramento das atividades necessárias à preparação dos Planos de Controle conforme Stamatis (2003). O Anexo V mostra um formulário típico de um plano de controle.

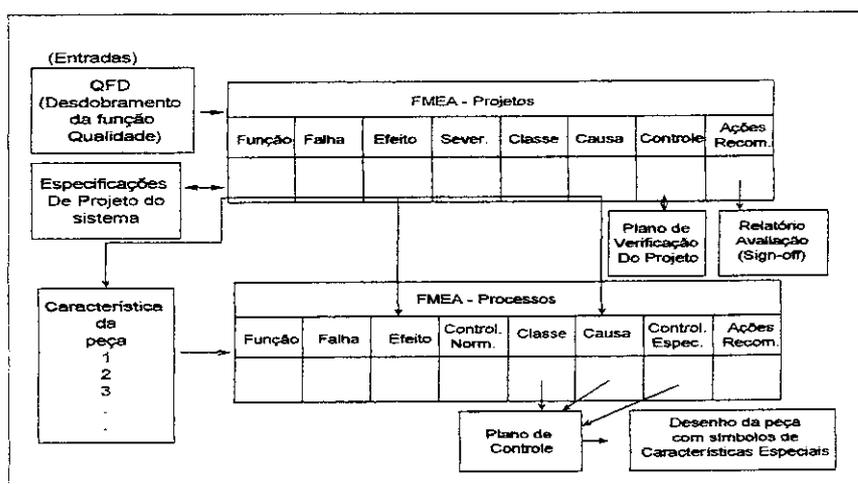


Figura 2.15 - A relação FMEA e o Plano de Controle [Stamatis, 2003].

2.5.4 Dispositivos a Prova de Erros e a FMEA de Processos

A criação dos métodos “*Poka-Yoke*” por Shingo (1986, p.50, 82) tem como base a seguinte afirmação:

As causas de defeitos vêm dos erros dos operadores, e os defeitos são resultados de negligenciá-los. Acontece que estes erros não se tornarão em defeitos se os erros dos operadores forem descobertos e eliminados antecipadamente.
...Os defeitos aumentam porque acontecem os erros; os dois têm uma relação de causa e efeito... Os erros não se transformarão em defeitos se houver retro-alimentação e as ações tomadas no estágio onde acontece o erro.

Shingo (1996) define um sistema “*Poka-Yoke*” (a prova de erros) como um sistema preventivo que tem duas funções básicas: 1) Realiza inspeções 100%; 2) Se ocorrerem anomalias, cria uma retro-alimentação imediata (*feedback*) e define as ações necessárias.

A norma ISO-9001:2000 especifica implicitamente a criação de mecanismos para eliminar as causas de não conformidades e evitar reincidência (item 8.5.2), enquanto a ISO/TS 16949:2002 o faz de maneira explícita exigindo que a organização utilize métodos a prova de erros (*Poka-Yoke*) em seus processos de ações corretivas.

A FMEA de Processos identifica causas comuns ou recorrentes dos modos de falhas de um sistema, subsistema ou componente e, portanto, é uma fonte bastante produtiva de sugestões para a utilização de dispositivos a prova de erros.

2.6 As relações de interdependência entre as técnicas e a FMEA

A Figura 2.16 apresenta a visão de Teng & Ho, 1996 das interfaces das técnicas em torno da FMEA de Projetos e Processos conforme abordagem em tópicos anteriores, que em conjunto irão contribuir para melhores resultados operacionais de uma organização.

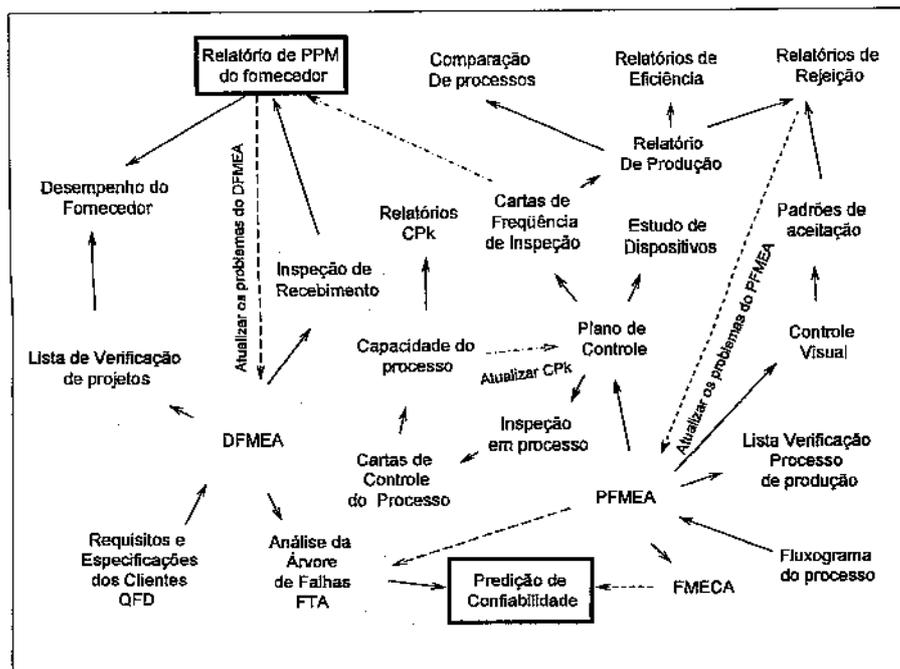


Figura 2.16 – A interdependência das técnicas e a FMEA [Teng & Ho, 1996]

2.7 A relação de interdependência da FMEA com a norma ISO-9000

Com o advento da ISO-9000 a adoção da FMEA foi considerada importante nas etapas de desenvolvimento do projeto e do processo para o segmento automotivo.

A QS-9000 foi uma resposta do segmento automotivo para atender aos requisitos da ISO-9000 , mas também a requisitos específicos setoriais, como processos de melhoria contínua (dispositivos a prova de erros,sistemas de troca rápida de ferramentas,etc.) e estudos de capacidade de manufatura, e específicos como a FMEA, os Planos de Controle, e a Classificação de Características.

Afirma Reid (2005):

...embora não tendo nenhuma objeção contra a ISO-9000, a indústria automotiva entendeu que faltavam alguns elementos nos documentos da indústria automotiva, como plano de negócios, melhoria contínua, capacidade de manufatura, e bastante do conteúdo de planejamento da qualidade avançada, razões estas que a levaram a criar e adotar a QS-9000.

Numa nova tentativa de padronização o segmento automotivo conseguiu em conjunto com a ISO a liberação de uma outra modalidade que não é uma norma, mas uma especificação técnica, que será apresentada no próximo tópico.

2.8 A derivação da QS-9000 para a ISO/TS 16949:2002

A especificação técnica ISO/TS 16949:2002 criada pela IATF (*International Automotive Task Force*) e a Associação Japonesa de Fabricantes Automotivos (JAMA), em conjunto com a ISO em 1998, especifica requisitos particulares para a aplicação da ISO-9000. Caracteriza-se pelo mapeamento obrigatório de todos os processos, para assegurar as definições de responsabilidades, e também pelo controle de desenvolvimento dos processos conforme representação esquemática na Figura 2.17.

Reid (2005) confirma o consenso significativo e global no setor automotivo sobre os requisitos fundamentais de qualidade na norma TS 16949:2002:

O sucesso da ISO/TS 16949:2002 deve-se à concentração de esforços sobre o gerenciamento das características especiais, no qual a FMEA tem um papel fundamental, assim como os planos de controles que advém da mesma, além de processos para aprovação de peças de produção, dispositivos à prova de erros e instruções de trabalho e treinamento.

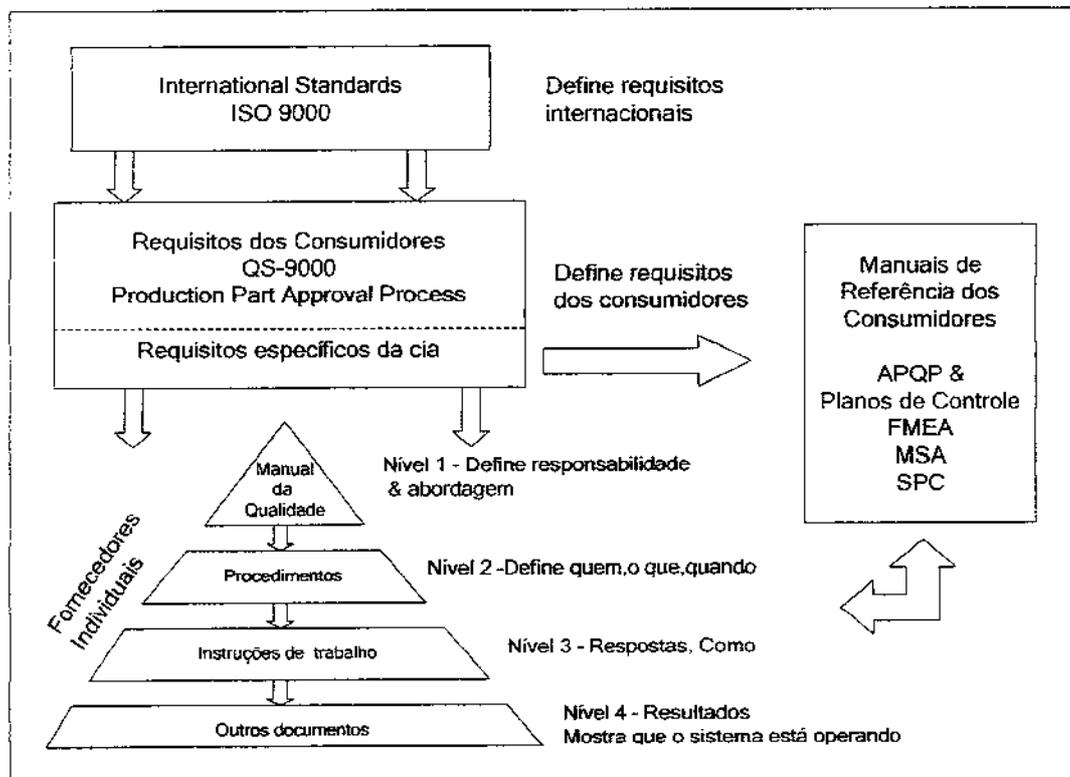


Figura 2.17-Desmembramento da ISO-9000 [Manual QS-9000 (ISO/AIAG)]

2.9 Os erros comuns observados na implantação da FMEA

Os problemas comuns observados na revisão bibliográfica se referem principalmente às áreas relativas a custos, prazos, escopos, riscos, qualidade, integração, comunicação, e treinamento. A lista abaixo reforça ainda mais esta afirmação:

- A FMEA de processos é monótona e consome muito tempo (Ormsby et al 1992; Montgomery et al 1996);
- Existe muito pouca interação entre as FMEA'S de Projeto e de Processos (Dale & Shaw, 1990);
- A FMEA de processos é executada muito tarde para causar impacto nas decisões de projeto (Mackinney, 1991; Kara-Zaitri et al, 1991);
- A FMEA é freqüentemente tratada como uma lista de verificação “após o fato”, somente para satisfazer a gerência ou a solicitação do consumidor (Dale & Shaw, 1999; Kara-Zaitri et al, 1991; Hawkins & Woollens, 1998);
- Não fornece prescrições para se identificar falhas, cujas instruções são esparsas e não sistemáticas. A antecipação das falhas é uma função crítica da FMEA, e a literatura existente falha em endereçar propriamente este procedimento (Kmenta, 2000);
- A FMEA não promove uma análise estruturada de todo o processo de fabricação. A base somente em componentes não é uma abordagem suficientemente completa;
- A FMEA não identifica falhas que eventualmente vêm a se concretizar (Bednarz & Marriot, 1988; Harspter, 1999 apud Kmenta, 2000).

Esta constatação motiva a abordagem da FMEA como um projeto já que as áreas mencionadas são as mesmas abordadas pelo Gerenciamento de Projetos. No capítulo a seguir procuraremos abordar os conceitos, e os processos assim como algumas técnicas correlatas.

Capítulo 3

O Gerenciamento de Projetos

Para Cleland & Ireland (2000) um projeto consiste em uma combinação de recursos organizacionais para se criar algo que não existia anteriormente e que irá fornecer uma melhoria na capacidade de desempenho, tanto no desenho quanto na execução de estratégias organizacionais. Os projetos são o meio principal pelo qual a organização lida com mudanças em produtos organizacionais, serviços ou processos organizacionais.

Kezner(1998 apud Vargas, 2000) pondera que diversas pressões externas podem forçar as companhias a adotarem o gerenciamento de projetos como forma de realizarem seus negócios, entre elas, a competição, os padrões de qualidade, os resultados financeiros, os aspectos legais e as pressões econômicas.

Diversas organizações internacionais têm procurado sistematizar padrões e normas relativas ao gerenciamento de projetos, certificando profissionais e representando os interesses de seus afiliados e usuários. Dentre elas destaca-se o Instituto de Gerenciamento de Projetos (*PMI - Project Management Institute*) idealizador do *PMBOK GUIDE® (Project Management Body of Knowledge)*; este guia do corpo de conhecimentos do Gerenciamento de Projetos define um projeto como um empreendimento temporário realizado para criar um produto singular e seu resultado é algo ainda não existente, seja um bem ou um novo serviço. Após o seu término, estes bens ou serviços se tornarão operações correntes, pois serão repetidamente reproduzidos (Valeriano, 2005). A Figura 3.1 representa as referidas áreas que serão caracterizadas adiante.

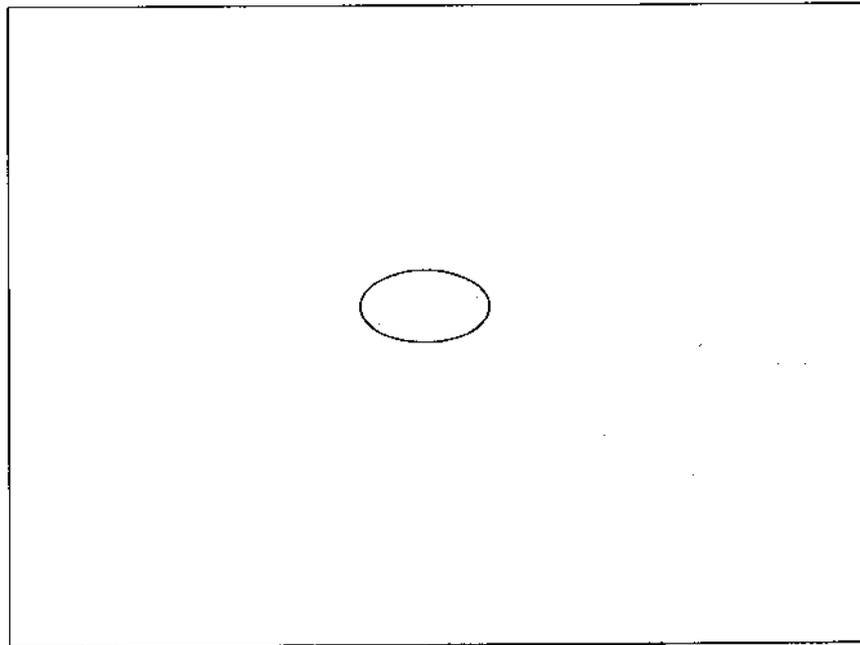


Figura 3.1 As áreas de conhecimento conforme o PMBOK [Gasnier, 2000]

O guia PMBOK é estruturado em torno de nove áreas de conhecimento, mas tem orientação por processos. Contempla cinco fases de processos que se desdobram em 39 sub-processos e são representadas na Figura 3.2 mostrando sobreposições em função do tempo:

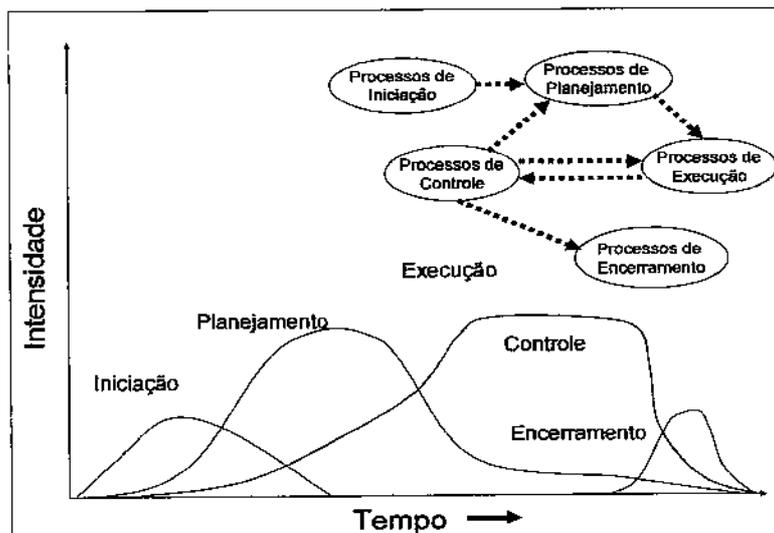


Figura 3.2 - A sobreposição das fases em um projeto [PMBOK, 2000]

- **Fase 1: Iniciação** - Processos que estabelecem a base e o compromisso da gerência para com o projeto;
- **Fase 2: Planejamento** - Processos que desenvolvem um plano para orientar a execução, o controle e o encerramento do projeto, com ênfase no cumprimento das metas;
- **Fase 3: Execução** - Processos que coordenam os recursos do projeto, tanto os humanos como os materiais, para realizar o trabalho descrito no plano;
- **Fase 4: Controle** - Processos que acompanham e medem o desenvolvimento do projeto, fazendo ajustes para garantir que ele atinja suas metas;
- **Fase 5: Encerramento** - Processos que concluem formalmente o projeto mediante a aceitação do produto e documentam o encerramento.

Observa-se dadas as definições das cinco fases, a similaridade com o ciclo de controle de processos PDCA (Plan-Do-Check-Act), este inserido na versão 2000 das normas ISO-9000. Campos (1999) define o ciclo PDCA (ou método Deming) por quatro fases para controle de um processo: (i) **Plan**-Planejamento: Estabelece metas e as estratégias; (ii) **Do**-Execução: Execução das tarefas como previstas no plano; (iii) **Check**-Verificação: Compara-se os resultados alcançados com as metas traçadas; (iv) **Action**-Ações Corretivas: Detecta os desvios e atua nas correções.

Apresentam-se a seguir as definições das áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos e das fases (processos) pertinentes a cada uma delas conforme o guia PMBOK 2000.

3.1 O Gerenciamento de Integração do Projeto

Segundo Casaroto & Fávero e Castro (1999), “[...] para alcançar as metas globais da organização, é necessário que se visualize todo o sistema, procurando compreender e medir as inter-relações entre as partes e integrando-as de modo eficiente”.

Os processos de integração do projeto consistem em garantir que todas as demais áreas estejam integradas em um todo único. Seu objetivo é estruturar todo o projeto de

modo a garantir que as necessidades dos envolvidos sejam atendidas pelo projeto (Vargas, 2000).

Modarres & Cheon (1998) justificam a necessidade de integração quando afirmam que embora os sistemas sejam decompostos em partes mais elementares, o sistema total tem mais propriedades que a simples soma de todas as suas partes físicas. Portanto o seu comportamento, o(s) objetivos(s) e função(ões) e a natureza das interações entre as partes são propriedades adicionais que definem o sistema. Pelo exposto infere-se que quanto maior a interação entre os processos maior a sinergia e melhores os resultados esperados do sistema.

O gerenciamento da integração desdobra-se em três fases conforme a Tabela 3.1:

Tabela 3.1-Gerenciamento da Integração ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Planejamento | Desenvolvimento do Plano do Projeto |
| Execução | Execução do Plano do Projeto |
| Controle | Controle Integrado de Mudanças |

Desenvolvimento do Plano do Projeto: Utiliza as saídas dos outros processos para criar um documento consistente e coerente e guiar a execução e o controle do projeto. Cria-se aqui o Plano do Projeto que tem como sub-elementos os planos de escopo, tempo, custo, qualidade, recursos humanos, riscos, comunicações e aquisição.

Execução do Plano do Projeto: Realiza o que foi planejado no Plano do Projeto.

Controle Integrado de Mudanças: Mantém a base do plano do projeto, garantindo que o escopo obtido esteja em conformidade com o estabelecido e coordena todas as mudanças nas outras áreas do projeto.

3.2 O Gerenciamento de Escopo do Projeto

Dinsmore (2003), afirma que um projeto deve começar pela definição do seu escopo. A gerência do escopo do projeto deve assegurar que a equipe de projeto realizará todo e somente o trabalho necessário para que o projeto seja bem sucedido. Para todos os

processos devem ser atribuídos itens tangíveis, mensuráveis e verificáveis, que obrigatoriamente devem ser produzidos para que o projeto ou parte dele seja considerado concluído.

São cinco os processos contemplados pelo gerenciamento do escopo conforme a Tabela 3.2:

Tabela 3.2-Gerenciamento do Escopo ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|---|
| - Iniciação | Iniciação |
| - Planejamento | Planejamento do Escopo Definição do Escopo |
| - Controle | Verificação do Escopo Controle de mudanças do Escopo |

Iniciação: Reconhece formalmente a existência de um projeto. O produto desta fase é a criação de um documento que atribui a autoridade ao gerente de projetos para aplicar recursos nas atividades correlatas. A este documento se dá o nome de Plano Sumário do Projeto (Dinsmore, 2003), Proposta Executiva do Projeto (Gasnier, 2000), *Project Charter* (PMBOK, 2000), Plano Global do Projeto (Vargas, 2000) entre outros. Kerzner (1998 apud Vargas, 2000) propõe que este documento contenha informações como um resumo das condições que definem o projeto, descrição do produto, ou serviço, nome do gerente de projeto e suas responsabilidades e autoridades, cronograma básico do projeto, estimativas iniciais de custos, necessidade de recursos humanos, equipamentos e materiais, etc.

Planejamento do Escopo: Formaliza o escopo dos trabalhos a serem desenvolvidos que contém os objetivos, justificativas ou missão, principais entregas com suas datas previstas, produto, e formas de condução do projeto.

Definição do Escopo: Conforme Vargas (2000) este processo subdivide o projeto em partes menores - uma aplicação do princípio de Descartes segundo Gasnier (2000) -, de modo a não só aumentar a precisão nos cálculos de custos, tempo e recursos, como também a definir uma base para medição de desempenho e determinação clara das responsabilidades de cada envolvido no projeto. O principal produto deste processo é a Estrutura Analítica do Projeto (EAP). A EAP é definida pelo *PMBOK GUIDE* (2000) como

“um agrupamento de elementos, componentes do projeto, orientados ao resultado principal, que organiza e define o escopo total do trabalho de um projeto”.

Uma Estrutura Analítica de Projeto, como na Figura 3.3, lista as atividades importantes sob cada agrupamento e as setas traçadas mostram as precedências requeridas das atividades.

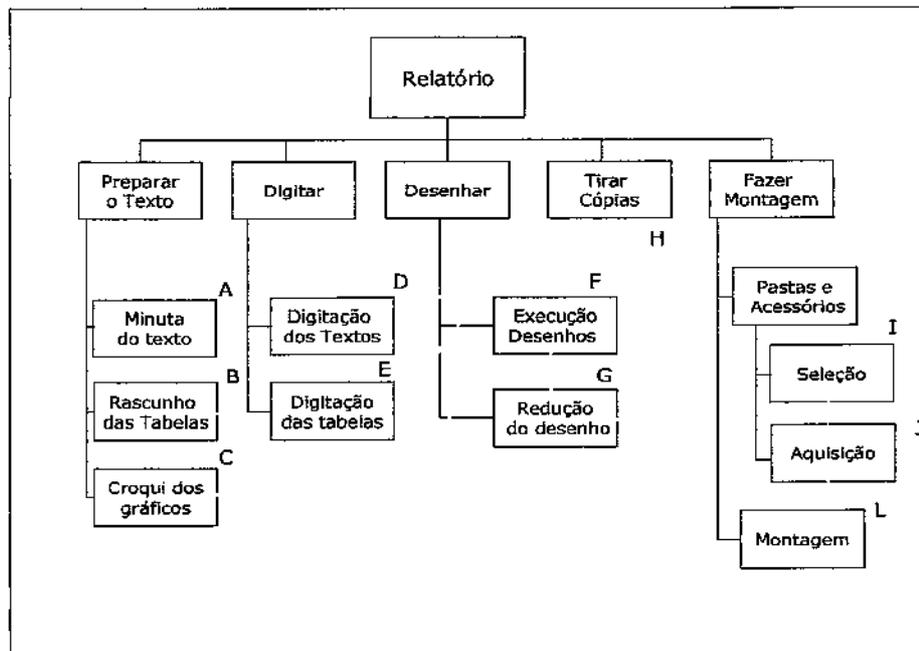


Figura 3.3 – Típica Estrutura analítica do Projeto [Cukierman, 2000]

Verificação do Escopo: Obtenção da aprovação formal do escopo do projeto por parte dos seus interessados (*stakeholders*). Isto é feito por revisões dos produtos dos trabalhos e dos resultados de modo a garantir que tudo foi completado satisfatoriamente.

Controle de mudanças de Escopo: Avaliação dos fatores que criam mudanças de escopo, de modo a assegurar que essas mudanças sejam benéficas, e a criação de um sistema de controle de mudanças de escopo.

Verzuh (2000) sugere o fluxograma na Figura 3.4 para o registro de decisões para aceitação ou rejeição de alterações.

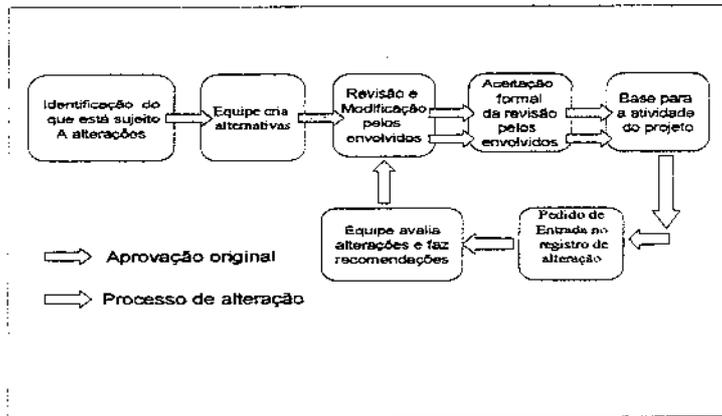


Figura 3.4-Fluxograma de controle de mudanças de Escopo [Verzuh, 2000]

3.3 O Gerenciamento do Tempo do Projeto

Stamatis (2003) afirma que nos estágios de planejamento, as mudanças em um projeto são menos onerosas, uma vez que a companhia ainda não investiu muito em desenhos, protótipos, testes, ferramentais ou equipamentos de montagem; corrigir as falhas nos estágios de planejamento pode economizar quantias monetárias significativas. A Figura 3.5 mostra que os custos de qualidade aumentam quanto mais tarde forem detectadas e sanadas as falhas ao longo dos estágios de desenvolvimento do projeto.

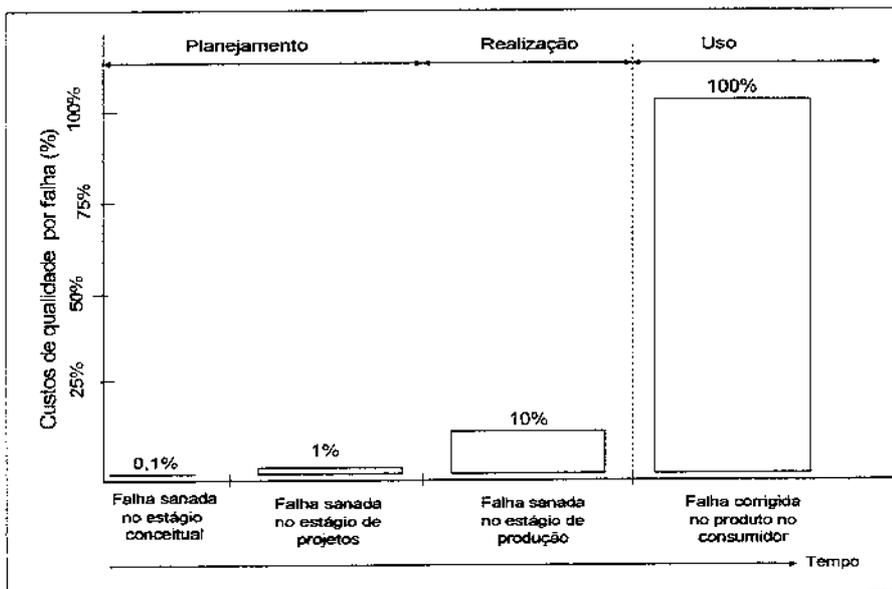


Figura 3.5 - Custos de correção de falhas em função dos estágios do projeto [Braunsperger,1996]

O objetivo do gerenciamento do tempo é garantir que o projeto seja concluído dentro do prazo determinado (PMBOK, 2000); é também considerado uma das razões mais importantes na geração de conflitos entre os envolvidos no projeto, conforme Thamhain & Wilemon; Posner (1975,1986 apud Vargas 2000).

A Tabela 3.3 representa as fases do gerenciamento do Tempo de um projeto:

Tabela 3.3-Gerenciamento do Tempo ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|---|
| - Planejamento | Definição de Atividades Seqüenciamento de atividades Estimativa de durações das Atividades Desenvolvimento do Cronograma |
| - Controle | Controle do cronograma |

Definição de Atividades: Identifica e documenta as atividades específicas listadas na Estrutura Analítica do Projeto.

Seqüenciamento de atividades: Identifica e documenta as interdependências entre as atividades para o desenvolvimento de cronogramas realistas para o projeto.

Estimativa de durações das Atividades: Estima o período de tempo necessário para cada atividade do projeto. Utilizam-se diversos métodos como simulação, estimativas baseadas em experiências anteriores de projetos similares, modelos matemáticos e estatísticos.

Desenvolvimento do Cronograma: Define as datas de início e término das atividades e consequentemente das datas de início e término do projeto. Deste processo se originam os cronogramas Gantt e PERT-CPM.

A técnica de redes PERT-CPM (ou PERT somente) é um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um projeto. Apresenta como característica fundamental a indicação, dentre as várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias

ao desenvolvimento do projeto (Comitê Brasileiro nº14, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT).

Conforme Cukierman (2000), a rede PERT caracteriza-se pela abordagem sistêmica de um projeto, pois fornece uma visão da totalidade do projeto ; resalta as entradas (diretrizes e recursos), o processo (o desenvolvimento das ações de acordo com as relações de correspondência entre elas) e as saídas (resultado final desejado) ; é uma ferramenta interdisciplinar e de comunicação e estabelece claramente as relações entre clientes e fornecedores (internos e externos).

A Tabela 3.4 representa os conceitos básicos de uma rede PERT

Tabela 3.4 - Conceitos básicos da rede PERT [Cukierman, 2000]

| Nome | Conceito | Representação Gráfica |
|------------------|--|--|
| Projeto | Conjunto de ações e processos envolvendo recursos humanos, materiais, financeiros, organizados para realização de um objetivo, concretamente definido, a partir de uma situação inicial conhecida. | Rede, diagrama ou grafo. |
| Atividade | Identificação de uma etapa do projeto que consome tempo e recursos, estabelecida em nível compatível com as necessidades e possibilidades de sua mensuração. | <p style="text-align: center;">Setas →</p> Nome ou código da atividade |
| Evento | Início ou término de uma ou mais atividade. | Círculo ○ |
| Atributo | É toda característica quantitativa específica de uma atividade, (tempo, material, mão-de-obra, equipamento, etc). | numérico |

A representação de uma rede ou grafo é baseada na Estrutura Analítica do Projeto previamente definida (como a da Fig. 3.3) e mostra as interdependências entre um conjunto de atividades, além de verificar a duração do projeto a ser realizado conforme a Figura 3.6.

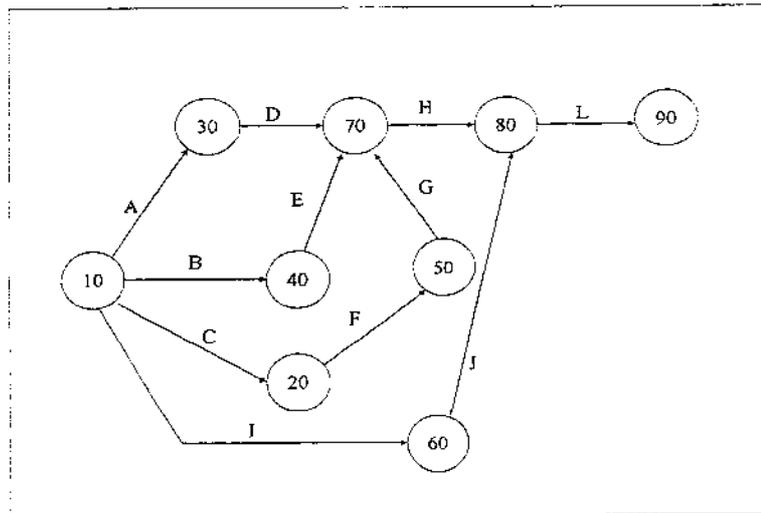


Figura 3.6 - Exemplo de grafo representativo de atividades [Cukiernann, 2000]

O caminho entre dois pontos para o qual a soma dos tempos de todas as atividades seja máxima, é chamado de *Caminho Crítico*. As atividades que fazem parte do caminho crítico devem ser monitoradas com mais atenção, pois qualquer atraso em uma delas irá representar o correspondente atraso no cronograma geral.

O cronograma PERT mostra a relação de ordem das atividades, as interdependências entre atividades e o mais importante o tempo total do projeto; permite a tomada de ações em tempo certo para compensar eventuais atrasos ocorridos nas atividades.

Controle do cronograma: Concentra-se na avaliação dos fatores que podem levar à mudanças de prazo, de modo a garantir que estas mudanças, se inevitáveis, não sejam prejudiciais ao resultado final do projeto.

3.4 O Gerenciamento de Riscos do Projeto

Conforme Carbone & Tippet (2004):

Existe certamente um número de fatores que determinam se um projeto será um sucesso, mas parece provável que falhas no desempenho adequado do gerenciamento de riscos aumentará a possibilidade de falhas. O axioma “falhar em planejar é planejar para falhar” aparentemente aplica-se a riscos. Tendo um método efetivo para planejar e gerenciar os riscos de um projeto que seja fácil para o grupo de projetos entender, usar, e aplicar, é crítico. Como os projetos

aumentam em complexidade e tamanho, a adoção de uma abordagem multidisciplinar para o gerenciamento de um projeto requer especial atenção ao gerenciamento de riscos.

Os projetos executados com sucesso dependem em grande parte da identificação dos riscos imediatos (Datta & Mukerjee, 2005). Identificá-los consiste em descobrir, definir e documentar estes fatores e suas características gerais. Trata-se de um processo investigativo, que requer informações confiáveis por meio de registros e documentos, entrevistas e técnicas de trabalho em grupo como “*brainstormings*”, projetos anteriores, fluxogramas, listas de verificação, técnica Delphi, análise SWOT, FMEA (Dinsmore, 2003). O gerenciamento de Riscos é definido por seis processos identificados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5-Gerenciamento de Riscos ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|--|
| - Planejamento | Planejamento de Riscos Identificação de Riscos Análise Qualitativa de Riscos Análise Quantitativa de Riscos Planejamento de Respostas aos Riscos |
| - Controle | Monitoramento e Controle dos Riscos |

Planejamento de Riscos: Ações relacionadas ao gerenciamento dos riscos no projeto.

Identificação de Riscos: Identifica os riscos que podem afetar o sucesso do projeto.

Análise Qualitativa de Riscos: Avalia e determina o impacto dos riscos e a probabilidade dos riscos identificados.

Análise Quantitativa de Riscos: Análise numérica de cada risco e suas conseqüências aos objetivos do projeto

Planejamento de Respostas aos Riscos: Resposta aos riscos qualificados e quantificados nos processos anteriores.

Monitoramento e Controle dos Riscos: Acompanhamento dos riscos identificados, monitoramento dos riscos residuais e identificação de novos possíveis riscos e implementação de planos de contingência.

3.5 O Gerenciamento da Qualidade do Projeto

O gerenciamento da qualidade de um projeto deve incluir processos que assegurem a satisfação das necessidades dos interessados ou envolvidos no referido projeto (*stakeholders*). Com este propósito, inicialmente é preciso identificar os padrões relevantes e como estes serão atendidos (Gasnier, 2000). O gerenciamento da Qualidade é desmembrado em 3 fases conforme representado na Tabela 3.6

Tabela 3.6-Gerenciamento da Qualidade ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|------------------------------|
| - Planejamento | Planejamento da Qualidade |
| - Execução | Garantia da Qualidade |
| - Controle | Controle da Qualidade |

Planejamento da Qualidade: Identifica os padrões de qualidade relevantes para o projeto em conjunto com os outros processos de planejamento.

Garantia da Qualidade: Engloba todas as atividades para assegurar que o projeto irá satisfazer os mais importantes padrões de qualidade.

Controle da Qualidade: Concentra-se no monitoramento dos resultados do projeto. Utiliza diversas ferramentas dentre elas os gráficos de controle, o gráfico de Pareto, os fluxogramas e a análise de tendências

3.6 O Gerenciamento da Aquisição do Projeto

Conforme Valeriano (2005), no que se refere a serviços, esta gestão abrange a contratação de pessoas como consultores, incluindo aquelas que devem integrar a equipe do projeto. O correto levantamento de necessidades, características do projeto, suas restrições e limitações existentes, hipóteses adotadas e a identificação de recursos para supri-las dependem fortemente das informações e experiências pregressas e da análise e opiniões de especialistas. O gerenciamento da Aquisição se desmembra em seis processos conforme a Tabela 3.7.

Tabela 3.7-Gerenciamento de Aquisição ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|---|
| - Planejamento | Planejamento de Suprimentos Planejamento do Processo de Requisição |
| - Execução | Processo de Requisição Seleção de Fornecedores Administração de Contratos |
| - Encerramento | Encerramento do Contrato |

Planejamento de Suprimentos: Identifica as necessidades do projeto que são realizadas com mais propriedade por elementos externos à organização. Define o que, como e quanto será contratado.

Planejamento do Processo de Requisição: Prepara os documentos necessários para suportar todo o processo de requisição, incluindo os critérios de avaliação de fornecedores.

Processo de Requisição: Obtenção de cotações e propostas de fornecedores

Seleção de Fornecedores: Avaliação das cotações e propostas recebidas segundo critérios definidos no plano de aquisição. As propostas selecionadas são convertidas em contratos.

Administração de Contratos: Assegura que o desempenho do fornecedor esteja em conformidade com os parâmetros estabelecidos

Encerramento do Contrato: Verifica e documenta os resultados obtidos em uma determinada fase e formaliza o seu fechamento. As informações para uso futuro, arquivadas

3.7 O Gerenciamento de Recursos Humanos do Projeto

O Gerenciamento dos Recursos Humanos tem como objetivo central fazer o melhor uso dos indivíduos envolvidos no projeto. Como se sabe, as pessoas são os elos principais dos projetos e seu recurso mais importante (Vargas, 2002). Galbraith(1995 apud Vargas,2002) afirma que o sucesso ou fracasso de um projeto dependem do gerenciamento de Recursos Humanos;duas premissas asseguram esta afirmativa segundo ele: 1) Pessoas influenciam o sucesso ou fracasso do projeto, 2) Os problemas do projeto somente podem

ser resolvidos por pessoas. O gerenciamento de RH se desdobra em três processos conforme a Tabela 3.8:

Tabela 3.8-Gerenciamento de Recursos Humanos ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|------------------|--|
| - Planejamento | Planejamento Organizacional Recrutamento de Pessoal |
| - Execução | Desenvolvimento da Equipe |

Planejamento Organizacional: Identifica e documenta as responsabilidades e as relações hierárquicas entre as pessoas do projeto. O plano de gerenciamento de equipes, o organograma do projeto, bem como as atribuições de responsabilidades são produtos deste processo.

Cleland & Ireland (2000) definem o Mapa de Responsabilidade Linear (MRL) como uma junção dos pacotes de trabalho do projeto com pessoas na organização. Estes mapas são uma alternativa necessária para suprir as deficiências do mapa típico da organização piramidal, que não especifica de maneira detalhada os papéis individuais e coletivos.

Para a definição precisa da autoridade e responsabilidade das tarefas de um projeto utiliza-se o referido conceito representado graficamente pela Figura 3.7.

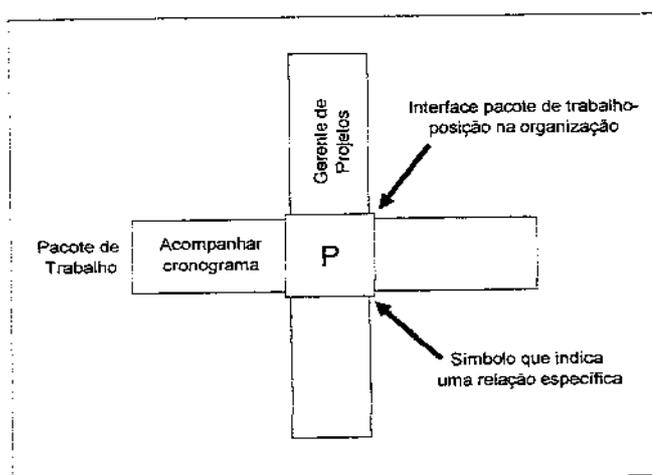


Figura 3.7-Estrutura de um Mapa de Responsabilidade Linear [Cleland, 1999, p.240]

Recrutamento de Pessoal: Envolve recrutar os recursos humanos necessários para os trabalhos do projeto, tanto interna com externamente à organização. A lista dos membros da equipe e suas funções é um dos produtos desse processo.

Desenvolvimento da Equipe: Este processo promove a potencialização (*empowerment*), ferramenta do arsenal do gerenciamento de pessoas, que consiste em um conjunto de medidas e atitudes que visam a reforçar, em todos os membros das equipes, o sentido de eficiência e eficácia no desempenho de suas funções, atribuindo-lhes autoridade e poder de decisão, encorajando-os e recompensando-os pelas iniciativas e resultados obtidos. Isso adiciona valor às equipes, tornando-as mais capazes, multiplicando potenciais em sua sinergia que conduz a excelentes resultados (Valeriano, 2005).

3.8 O Gerenciamento da Comunicação do Projeto

Existem vários fatores que contribuem para o fracasso de um projeto segundo Cleland (2000). Na relação apresentada nota-se a alta porcentagem de itens relacionados à comunicação deficiente ou mesmo inexistente (40% do total de fatores listados):

- Relatórios inadequados de status/progresso.
- Acompanhamento insuficiente da alta administração.
- Não há visão do projeto como um todo.
- Má relação com os envolvidos (*stakeholders*) de projeto.
- Má relação com o cliente.
- Falha em manter a alta administração informada.
- Definição eficiente de autoridade e responsabilidade para a equipe de projetos.

A gestão da Comunicação visa a assegurar que, no tempo oportuno, as informações de interesse do projeto sejam geradas, coletadas, disseminadas, armazenadas e descartadas (Valeriano, 2005). Cleland & Ireland (2000) afirmam que a comunicação pode ser a habilidade mais importante a ser exigida do gerente de projeto e dos membros da equipe.

O gerenciamento da Comunicação se desdobra em quatro processos listados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9-Gerenciamento da Comunicação ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|-------------------------------|
| - Planejamento | Planejamento das Comunicações |
| - Execução | Distribuição das Informações |
| - Controle | Relatórios de Desempenho |
| - Encerramento | Encerramento Administrativo |

Planejamento das Comunicações: Determina as necessidades de informações de cada envolvido no projeto, como esta informação será levada ao envolvido, e qual será o nível de detalhe dado a cada informação.

Distribuição das Informações: Disponibiliza as informações destinadas aos envolvidos no projeto, a tempo e hora. Valeriano (2005) lembra que se deve atentar para a tecnologia das comunicações e levar em conta, desde o intercâmbio informal até sofisticados equipamentos e softwares especializados.

Relatórios de Desempenho: Coleta e dissemina as informações relativas ao desempenho do projeto para avaliação.

Encerramento Administrativo: Verifica e documenta os resultados obtidos em cada fase. Avalia os resultados obtidos e arquiva as informações do projeto para uso futuro.

3.9-O Gerenciamento de Custos do Projeto

O gerenciamento de Custos tem como objetivo assegurar que o capital disponível será suficiente para obter todos os recursos para se realizarem os trabalhos do projeto (Vargas, 2000). A Tabela 3.10 representa os quatro processos como segue:

Tabela 3.10-Gerenciamento de Custos ao longo das fases de projeto

| Fases do Projeto | Descrição do Processo |
|-------------------------|------------------------------|
| - Planejamento | Planejamento de Recursos |
| - Execução | Estimativas de Custos |
| - Controle | Orçamentação |
| - Encerramento | Controle de Custos |

Planejamento de Recursos: Determina os recursos físicos (pessoas, equipamentos e materiais) e em que quantidade serão utilizados para realizar as atividades do projeto. O produto deste processo é a lista dos recursos alocados para cada item da Estrutura Analítica de Projeto.

Estimativa de Custos: Estima os custos dos recursos do projeto. O resultado deste processo é o custo de cada elemento da Estrutura Analítica do Projeto (EAP).

Orçamentação: Alocação das estimativas de custos a cada item de trabalho para medir o desempenho do projeto. A projeção do fluxo de caixa é determinada neste processo.

Controle de Custos: Avaliação dos fatores que criam mudanças nos custos de modo a garantir que essas mudanças sejam benéficas.

No próximo capítulo, serão definidas as rotinas e técnicas de cada processo para a implantação ou redirecionamento da FMEA sob a ótica do Gerenciamento de Projetos.

Capítulo 4

A Implantação da FMEA pelo Gerenciamento de Projetos

A revisão bibliográfica nos capítulos anteriores servirá de subsídio para a implantação da FMEA conforme os processos da metodologia de Gerenciamento de Projetos.

4.1 As ações definidas para Gerenciar a Integração

Como estratégia para promover a integração do projeto FMEA, nomeou-se um gerente de projetos, reportando-se diretamente ao responsável pelo sistema de garantia da qualidade; criou-se concomitantemente uma estrutura organizacional Matricial Balanceada especificamente para o projeto FMEA, conforme o modelo da Figura 4.1.

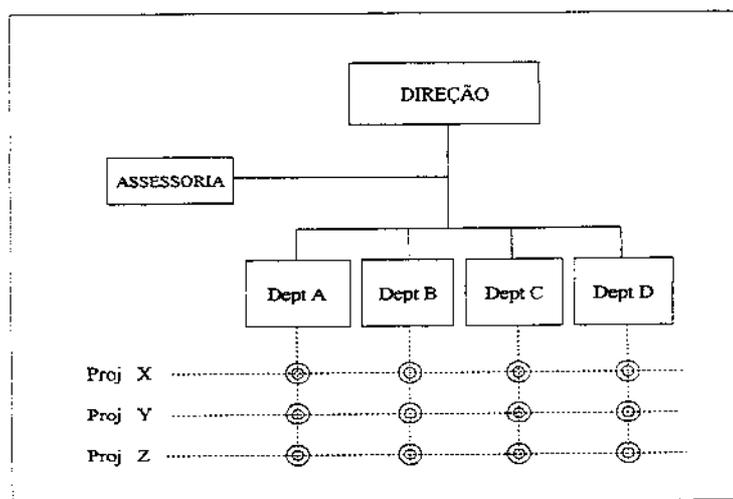


Figura 4.1 - Estrutura organizacional matricial [Valeriano, 2005].

Galbraith (1973 apud Vasconcelos, 2003, p.53) define a matriz Balanceada como aquela que divide a autoridade entre os gerentes de projetos e os gerentes funcionais. Isto não significa que ambos decidem sobre qualquer assunto com mesmo poder de decisão, mas sim que a área de decisões de um é igual à do outro.

O gerente da FMEA deve ser capaz de se relacionar e interagir com os gerentes funcionais de todos os departamentos envolvidos, coordenando todos os processos para assegurar o sucesso do projeto. Por ser um integrador do projeto, é desejável que o gerente tenha habilidades de liderança, facilitação, coordenação de tarefas, comunicação e conhecimento de gerência de projetos (Valeriano, 2005). As funções principais de um gerente de projetos são representadas pela Figura 4.2.

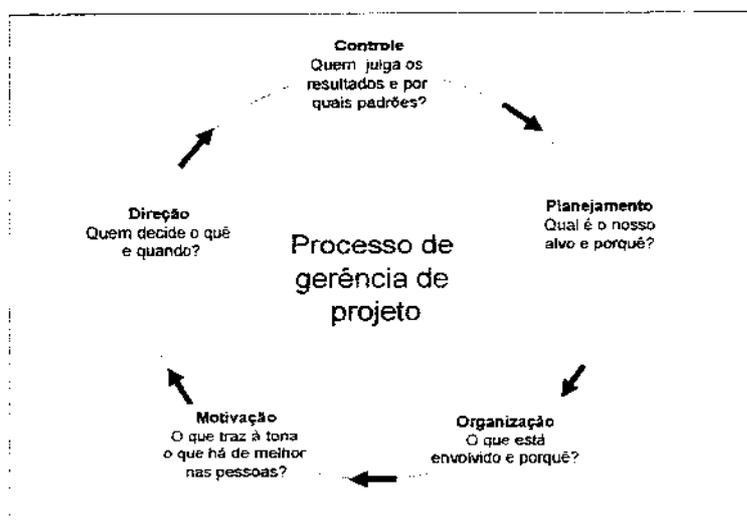


Figura 4.2-Funções principais na gerência de projetos [Cleland & Ireland, 2000]

Cleland & Ireland, 2000 (apud Bennis, W., 1984 pp. 7-11) propõe uma distinção entre os dois papéis, como transcritos a seguir: “ Um líder faz as coisas certas(eficácia) ,e um gerente faz as coisas de forma certa(eficiência)”. Os autores complementam a seguir que os gerentes de projetos devem tanto liderar, quanto gerenciar um projeto.

Justifica-se, pelo exposto, observar na tabela 4.1 algumas particularidades dos conceitos de eficiência e eficácia já que os mesmos serão explorados posteriormente neste trabalho.

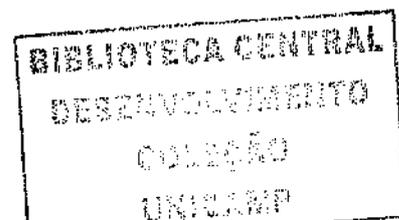


Tabela 4.1- Características de um líder e de um gerente [Cleland & Ireland, 2000]

| Eficácia (Liderança) | Eficiência (Gerência) |
|--|---|
| Desenvolve e vende uma visão do projeto. | Enfrenta a complexidade de desenvolver e implementar um sistema gerencial para o projeto. |
| Confronta as mudanças operacionais e estratégicas do projeto. | Mantém uma visão geral sobre o uso eficiente e eficaz dos recursos destinados ao projeto. |
| Constrói rede de troca de informações recíprocas com os envolvidos. | Planeja e desenvolve as funções de planejamento, organização, motivação, direção e controle do projeto. |
| Estabelece a direção geral do projeto, em colaboração com os envolvidos. | Reprograma os recursos, na medida do necessário, para manter o equilíbrio do apoio ao projeto. |
| Entende as grandes questões que tendem a impactar o projeto. | Monitora a competência dos membros do projeto, busca aprimoramento do conhecimento, habilidades e atitudes. |
| Torna-se símbolo do projeto e seu propósito. | Assegura a eficácia nos processos de comunicação que envolvem o projeto. |
| Torna-se principal defensor do projeto em contato com os envolvidos. | Acompanhamento, a fim de que os processos de avaliação do monitoramento e controle sejam feitos. |
| Faz as coisas certas. | Faz as coisas da forma certa. |

4.2 As ações ditadas pelo Escopo

A Estrutura Analítica do Projeto FMEA será a base para a definição das atividades essenciais do projeto FMEA. Após a elaboração, passa a ser base de referência para todas as ações requeridas pelo projeto. O Gerente de Projetos FMEA estabelece como níveis básicos para a elaboração da EAP, o treinamento e motivação, a estruturação, os recursos necessários, e a operacionalização.

É de suma importância para o melhor entendimento do projeto, a decomposição dos quatro níveis escolhidos em atividades de modo mais detalhado. A Figura 4.3 mostra o modelo da estrutura básica da EAP que será decomposta no estudo de caso no capítulo 5.

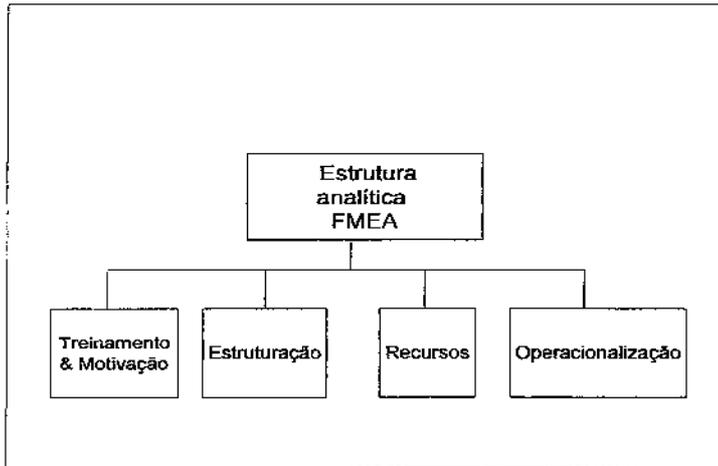


Figura 4.3-Estrutura Analítica do Projeto FMEA proposta

4.3 As ações definidas para controlar os Prazos

Todas as atividades da FMEA que tem relação de ordem com outras atividades no desenvolvimento de um novo produto, serão monitoradas com o uso de um software de gerenciamento de projetos (MS-Project), que usa o conceito de rede PERT.

Àquelas atividades da FMEA que não se relacionam diretamente com as atividades de desenvolvimento do produto, como serviços externos de consultoria e treinamento, ou para produtos correntes, será feito o monitoramento por um diagrama de barras (Gantt) com uma planilha Excel.

4.4 O método para avaliação de Riscos

A priori optou-se pela análise qualitativa dos riscos associados à FMEA a construção de uma matriz com base nas escalas de probabilidade e impacto cujo produto permite estabelecer um “*ranking*” de riscos, como mostrado na Tabela 4.2. A definição das áreas de baixo, médio ou alto risco é prerrogativa do gerente de projetos FMEA consideradas as suas expectativas ou necessidades.

A priorização dos riscos com base na análise qualitativa permite identificar quais riscos deverão ser submetidos à análise e maiores cuidados com os que requerem resposta imediata. Estabelece o “*ranking*” global de riscos do projeto, útil para comparação entre projetos, subsidiando as análises de custo-benefício (Dinsmore, 2003).

Tabela 4.2-Matriz de “ranking” de Riscos [Dinsmore, 2003]

| Pontuação de um Risco Especifico | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------|------|------------|------|
| Probabilidade | Pontuação = P x I | | | | |
| 0,9 | 0,05 | 0,09 | 0,18 | 0,36 | 0,72 |
| 0,7 | 0,04 | 0,07 | 0,14 | 0,28 | 0,56 |
| 0,5 | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,40 |
| 0,3 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,12 | 0,24 |
| 0,1 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,08 |
| | 0,05 | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,80 |
| Impacto sobre um objetivo-escala | | | | | |
| Baixo Risco | | Médio Risco | | Alto Risco | |

Em segunda instância, observou-se sua similaridade com o modelo da FMEA definida na revisão bibliográfica e defendida por Palady (1995), que recomenda priorizar o produto dos índices de Ocorrência (probabilidade de ocorrência) e da Severidade (impacto da falha).

A similaridade de conceitos motivou a utilização da própria metodologia FMEA para analisar as suas falhas enquanto projeto [A FMEA de um projeto FMEA].

A Tabela 4.3 mostra o formulário de concepção do projeto FMEA, que será utilizado como ferramenta para identificar os riscos do processo.

Tabela 4.3 - A FMEA de concepção do projeto FMEA.

| Funções | Modo Potencial de Falha | Efeito Potencial de Falha | Sever. | Causa Potencial da Falha | Ocorr. | Critic. | Ações | Responsável |
|--|-------------------------|---------------------------|--------|--------------------------|--------|---------|-------|-------------|
| <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; display: inline-block;"> S X O = Crit </div> | | | | | | | | |

4.5 As ações definidas para gerenciar a Qualidade

Chiavenato (1987) define eficácia como uma medida normativa do alcance de resultados, enquanto eficiência é uma medida normativa da utilização dos recursos nesse processo; enfatiza que ambas devem ser consideradas simultaneamente em uma organização. A eficiência preocupa-se com os meios, com os métodos e procedimentos mais indicados, que precisam ser devidamente planejados e organizados, a fim de assegurar a otimização da utilização dos recursos disponíveis. A eficiência não se preocupa com os fins, mas simplesmente com os meios. O alcance dos objetivos visados não entra na esfera de competência da eficiência; é um assunto ligado à eficácia.

Estabeleceu-se em consenso que a qualidade da FMEA será avaliada por indicadores de desempenho de Eficiência e Eficácia, conforme definidos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Indicadores de eficiência e eficácia da FMEA

| | |
|------------|---|
| Eficiência | -Cumprimento aos cronogramas das sessões de FMEA. -Presença efetiva de todos os membros da equipe nas sessões. |
| Eficiência | -Redução dos tempos das sessões de FMEA. |
| Eficácia | -Correlação com o Índice de Satisfação dos Clientes. |
| Eficácia | -Correlação com % de Conformidade do Produto. |
| Eficácia | -Custos de Qualidade x Vendas |

4.5.1-O monitoramento da Eficiência da FMEA

A Eficiência de cada sessão FMEA programada será feita com base na Tabela 4.5 que especifica os pesos para cada tipo de demérito atribuído. O Gerente de Projetos monitora a eficiência da FMEA comparando-a com as metas traçadas, divulga para a organização, promove as ações preventivas e corretivas e registra os responsáveis pelas ações, assim como o prazo das execuções.

Tabela 4.5-Deméritos para avaliação da eficiência da FMEA

| Demérito | Peso |
|---|------|
| Cancelamento de sessão FMEA programada | 12 |
| Ausência de mais de um membro titular da equipe | 8 |
| Ausência por membro titular da equipe (sem substituto) | 6 |
| Ausência por membro da equipe (com substituto) | 4 |
| Adiamento da FMEA dentro da semana | 4 |
| Atraso no início das sessões FMEA (acima de 15 minutos) | 2 |
| Atraso no início da sessão (acima de 15 minutos) | 2 |

O cálculo para o valor da eficiência de uma sessão FMEA é definido como:

$$\text{Eficiência} = (100 - \sum \text{deméritos}) / 100$$

A evolução da eficiência das sessões FMEA será representada por pontos que representam a média aritmética dos valores obtidos em um determinado período conforme a Figura 4.4.

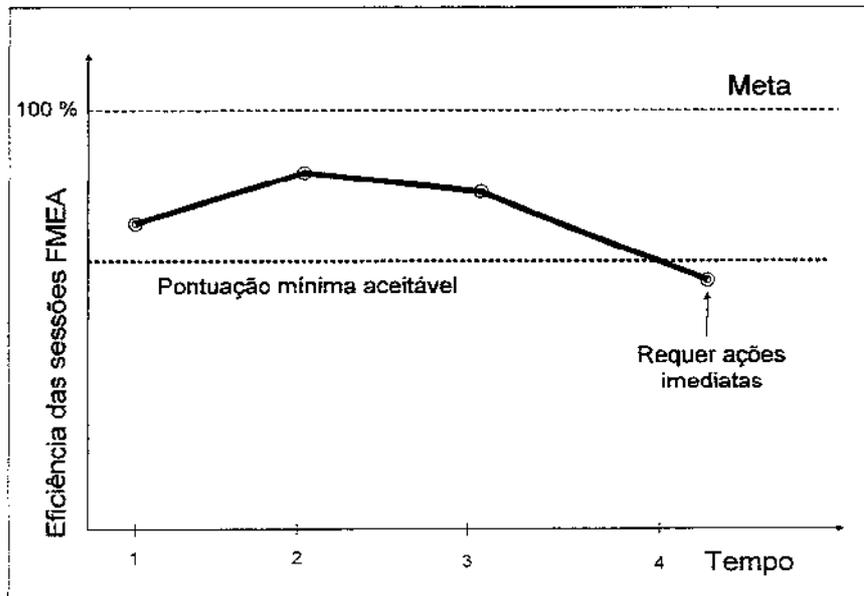


Figura 4.4-Gráfico de tendências da eficiência da FMEA

4.5.2-O monitoramento da Eficácia da FMEA

Propôs-se o monitoramento da evolução da FMEA comparando-a com os índices de Satisfação dos Clientes, Conformidade do Produto, e dos Custos de Qualidade. Embora a FMEA não seja a única variável de influência, uma maior eficácia na sua implantação deverá contribuir para melhorar os referidos índices.

Satisfação dos Clientes

O índice de Satisfação dos Clientes é definido pela empresa A considerando o desempenho em Vendas, Qualidade, Logística, Assistência Técnica, Tecnologia e Comunicação. Os questionários são preenchidos pelos clientes e compilados para verificação dos resultados e planejamento para a tomada de ações.

Propuseram-se a criação, registro, acompanhamento e divulgação de um gráfico de tendências mostrando a evolução dos índices ao longo da implantação do projeto FMEA.

Conformidade do Produto.

O índice de Conformidade do Produto é definido em auditorias internas segundo um procedimento que pontua os deméritos observados nos produtos escolhidos aleatoriamente conforme a gravidade. De maneira idêntica ao tópico anterior será feito o monitoramento destes índices com gráficos de tendência ao longo da implantação do projeto FMEA.

Os Custos de Qualidade em função de Vendas (Faturamento Bruto)

Os objetivos da FMEA se atingidos devem causar uma redução nos Custos da Qualidade. Para avaliar a eficácia da FMEA no que se refere a redução de custos propôs-se o acompanhamento dos custos de qualidade com um gráfico seqüencial a partir das ações sugeridas pelo Gerenciamento de Projetos.

4.6 As ações definidas para gerenciar a Aquisição

O Gerente de Projetos FMEA deverá baseado na Estrutura Analítica do Projeto FMEA, elaborar uma lista dos recursos necessários internos ou externos à organização e em conjunto com todos os gerentes funcionais envolvidos consolidar os contratos e aquisições.

O acompanhamento da matriz de conhecimentos e habilidades passa a ser a fonte para o gerenciamento da Aquisição no tocante a necessidade de treinamentos.

Em conjunto com o Gerente de Recursos Humanos (funcional), o gerente de projetos FMEA controla a qualidade dos serviços de consultoria e treinamento com o uso de avaliações periódicas envolvendo todos os colaboradores, principalmente os membros das equipes FMEA.

4.7 As ações definidas para gerenciar os Recursos Humanos

Bell et al (1992) afirmam que a qualidade da FMEA varia e depende bastante da capacidade e experiência de quem a analisa. Recomendam que nenhuma etapa de um projeto seja delegada para indivíduos que não tenham conhecimento técnico e habilidade para influenciar os projetos.

Levando em conta a afirmação acima propõe-se a criação de um mapa de responsabilidades tomando como base o exemplo da Tabela 4.6, para a definição clara e precisa das responsabilidades dos elementos das equipes FMEA.

Tabela 4.6-Mapa Linear de Responsabilidades sugerido

| Atividade | Gerente Geral | Executivo de Projetos | Gerente de projetos | Gerente Funcional |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| Integração dos projetos | 2 | 1 | 3 | 3 |
| Direção do projeto | 4 | 2 | 1 | 3 |
| Estrutura Analítica do Projeto (EAP) | 4 | 6 | 1 | 3 |
| etc.... | | | | |
| Legenda | | | | |
| 1-Responsabilidade | 4-Pode ser consultado. | | | |
| 2-Supervisão Geral | 5-Deve ser notificado. | | | |
| 3-Deve ser consultado. | 6- Autoridade p/ aprovação. | | | |

Propõe-se também a criação da matriz de conhecimento / habilidades conforme a Tabela 4.7 que procura assegurar o domínio de conhecimentos, estabelecer o comprometimento na capacitação profissional da mão de obra, e promover a execução do projeto de modo mais eficiente.

Tabela 4.7-Matriz de Conhecimentos e Habilidades sugerida

| Nome | Conhecimentos | | | | | Habilidades | | | | |
|------|---------------|-----------|--|--|--|-------------|----------|--|--|--|
| | Técnica 1 | Técnica 2 | | | | Tarefa 1 | Tarefa 2 | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

| | | | |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|
| <input type="checkbox"/> | Necessidade de treinamento | <input type="checkbox"/> | Habilitado |
| <input type="checkbox"/> | Não necessita de treinamento | <input type="checkbox"/> | On the job / Executa |
| <input type="checkbox"/> | Curso concluído | <input type="checkbox"/> | Não habilitado |

4.8 As ações definidas para gerenciar a Comunicação

A comunicação é considerada de vital importância para o sucesso de um projeto e, para tanto, todos os processos devem ter a responsabilidade endereçada; caberá ao responsável de cada área responder ao gerente de projetos FMEA por todas as ações correlatas, incluindo o monitoramento dos índices de desempenho de eficiência e eficácia.

O Plano de Gerenciamento de Comunicação considera o acompanhamento das etapas do projeto FMEA, e a divulgação “*on line*” por todos os canais de comunicação disponíveis. Far-se-á uso do jornal interno, quadro de Gestão à Vista, reuniões periódicas conduzidas pela Diretoria, e-mail, faixas e “*banners*”, INTRANET, SITE FTP em comunicação com todos os clientes (Informação do Produto), Internet, EDI (*Electronic Data Interchange*), fax e telefone. Os produtos do gerenciamento de Recursos Humanos também contribuem para uma melhor comunicação, quando efetivamente divulgados.

4.9-As ações definidas para gerenciar os Custos

Para os produtos correntes ou novos, os gastos de desenvolvimento da FMEA já são alocados como Custos de Prevenção da Qualidade, ou seja, as horas produtivas que os integrantes das equipes consomem nas sessões são ressarcidas pela referida conta. Os custos associados à FMEA são considerados irrisórios e não serão focos de atenção neste trabalho; o retorno sobre o investimento, este sim, pode causar um impacto significativo no

desenvolvimento do projeto conforme as referências bibliográficas. De fato especialistas em custos de Qualidade estimam a perda monetária na faixa de 20 a 30% das vendas brutas por produtos defeituosos ou insatisfatórios (Ritzman & Krajewsky, 2004)

Vargas (2000) justifica a proposta a seguir:

O gerenciamento de custos não pode considerar apenas os custos incorridos no próprio projeto. Muitas vezes, o projeto está desenvolvendo um produto, ou serviço, com interesse comercial, e esse produto, por sua vez, estará recompensando financeiramente a empresa, retornando tanto o dinheiro investido, quanto o lucro desejado, estabelecido na concepção do projeto.

Propôs-se o monitoramento dos custos de Qualidade comparados com Vendas (Faturamento Bruto) prevendo uma correlação favorável durante a implementação dos processos propostos pelo Gerenciamento de Projetos. Os Custos de Qualidade se desdobram em quatro tipos (Feigenbaum, 1983):

- **Custos de Avaliação:** Testes e inspeção, Auditorias;
- **Custos de Prevenção:** Planejamento da Qualidade, Treinamento, Controle do Processo, Desenvolvimento e Gerenciamento de Sistemas;
- **Custos Internos:** Refugos, Retrabalhos, Ações corretivas;
- **Custos Externos:** Despesas de Garantia, Serviços aos Clientes.

Estima-se que a implantação do projeto FMEA irá acrescer os Custos de Prevenção, mas oferece também maiores chances de reduzir os Custos Internos e Externos, que proporcionalmente são muito maiores que o primeiro em uma organização (Cleland, 2000).

Por sua vez, os Custos Externos (Garantia) são proporcionalmente muito maiores que os Custos Internos (DeVor et al, 1992 apud Kmenta, 2000), e a melhoria contínua que o processo todo desencadeia, pode representar um grande impacto nos custos totais.

Capítulo 5

O Estudo de Caso

5.1 Introdução

Este trabalho foi desenvolvido com a colaboração da empresa, denominada de empresa A, localizada a 100 km a sudeste da capital do Estado de São Paulo. Trata-se de um fabricante de sistemas de transmissão de força (transmissões, caixas de direção, eixos motrizes) para o mercado nacional e exportação.

Neste capítulo, serão definidos os passos para a implantação do modelo proposto.

5.2 Apresentação da Empresa

A empresa A tem aproximadamente 2000 empregados e uma área construída de 65000 m² numa área total de 600.000 m². É composta de quatro unidades, conforme a tabela abaixo:

Tabela 5.1 - Produtos da empresa A

| Unidade | Produtos |
|---------|--|
| I | Transmissões, eixos agrícolas e reversores marítimos. |
| II | Caixas de direção, bombas, componentes de suspensão e sistemas de eixos. |
| III | Amortecedores, peças de metal, borracha. |
| IV | Embreagens automotivas |

5.3 Motivo da escolha da Empresa A

5.3 Motivo da escolha da Empresa A

A empresa A é do segmento automotivo, e fornece conjuntos ou subconjuntos de extrema responsabilidade para veículos automotores. Opera no Brasil desde 1959, agregando à certificação ISO-9000 a certificação ISO 14001 em 1999.

Embora contasse com uma boa estrutura organizacional, instalações modernas e os recursos necessários, a empresa ainda era penalizada por deméritos nas auditorias do sistema de garantia da qualidade, razão pela qual assentiu em utilizar o gerenciamento de projetos para diagnóstico e intervenções no processo.

5.4 Histórico da FMEA na Empresa A

A empresa A utilizou a FMEA como um simples formulário até 2001, quando, então, em análise crítica com os envolvidos, considerou-a deficiente.

Em 2003, concomitante com a exigência da adoção da especificação técnica ISO/TS-16949:2002, adotou um software de gerenciamento da FMEA, com o objetivo de padronizar o fluxo de informações, de reduzir o tempo das atividades de registro e controle das sessões de FMEA e também perpetuar, em arquivo eletrônico, as informações de sessões anteriores; contava que com esta medida solucionaria os problemas observados.

Auditorias realizadas, entretanto, ainda apontavam sérios problemas, como os listados:

- A integração da metodologia entre as áreas era deficiente porque não existiam definições dos indicadores de desempenho das áreas e, quando existiam, eram conflitantes ou não havia pleno comprometimento das áreas em cumpri-los;
- A comunicação das atribuições e responsabilidades era praticamente inexistente;
- Baixa motivação causada pela maior atenção em assuntos considerados mais urgentes;
- O treinamento enfatizava somente o preenchimento do formulário FMEA;
- A FMEA de Processos era concluída com a de Projetos ainda em andamento;
- Características com alto índice de severidade sem símbolos de Característica Especial;
- Falta de preenchimento de todos os campos do formulário FMEA;

- Integração de documentos (Fluxogramas, FMEA e Planos de Controle) com falhas;
- Foco somente na produção e nas ações corretivas;
- Definição feita das características críticas baseadas na capacidade do processo e não pela sua relevância;
- Alta rotatividade da mão-de-obra, causando a desagregação das equipes;
- Não divulgação de requisitos governamentais ou especiais para as equipes FMEA;
- Clientes não sabiam relacionar ou justificar as suas próprias exigências quanto ao produto;
- Muitos dos problemas citados em relatórios de não-qualidade, como refugos, retrabalhos e custos de garantia interna e externa, não eram levados em conta nas sessões de FMEA.

5.5 O Enfoque na Integração da FMEA

O Diretor Industrial é responsável por administrar o sistema de garantia da qualidade ISO/TS-16949:2002. Trata-se de uma estrutura organizacional funcional, na qual cada departamento procura atingir as suas próprias metas de desempenho, por vezes conflitantes. A FMEA, neste contexto, é mais uma tarefa concorrendo com tantas outras importantes.

Acatada a sugestão de nomeação imediata de um gerente de projetos, para se concentrar especificamente no desempenho da FMEA, adotou-se uma estrutura organizacional matricial balanceada conforme representado pela Figura 5.1.

O gerente de projetos FMEA definiu o Plano do Projeto em toda a sua totalidade conforme segue, e os detalhes são distribuídos conforme as áreas pertinentes.

- A visão geral dos objetivos;
- Metas e escopo do projeto;
- Definição das equipes FMEA;
- Principais marcos com suas datas;
- Estrutura Analítica do Projeto;
- Utilização de recursos;
- Necessidade de contratação e treinamento de pessoal;
- Avaliação dos índices de qualidade e desempenho

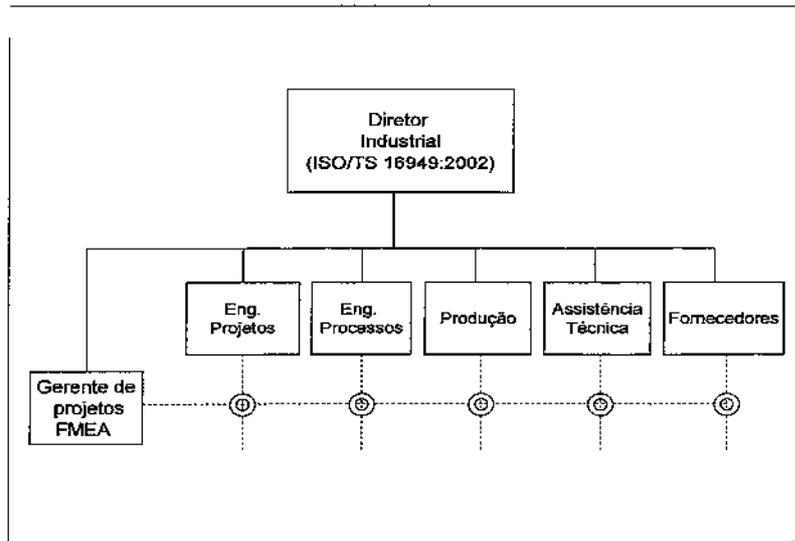


Figura 5.1 - Estrutura matricial do Projeto FMEA - Empresa A

5.6 O Enfoque no Escopo da FMEA

Definiu-se a criação de uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP) para relacionar as atividades essenciais para o sucesso da FMEA, que foi divulgada a toda a organização e é monitorada pelo gerente de projetos FMEA, conforme a Fig. 5.2.

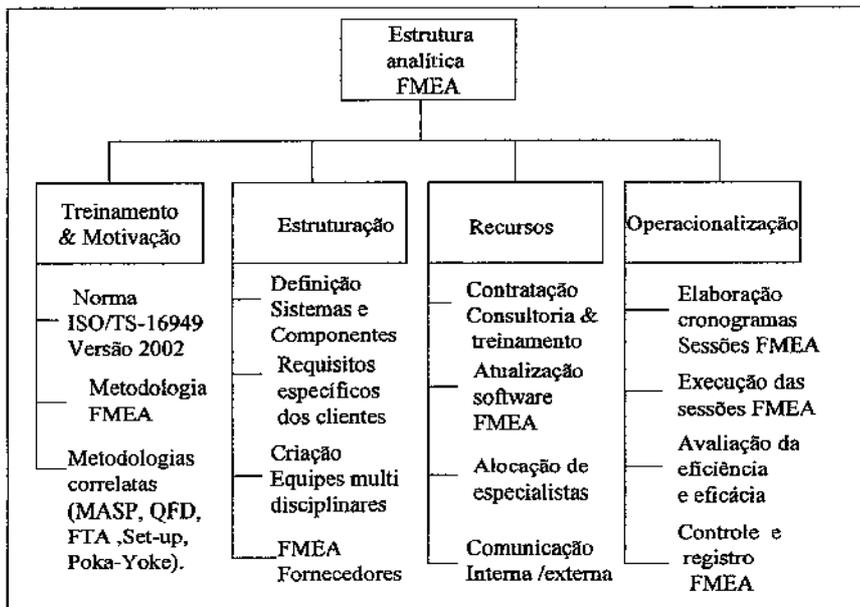


Fig. 5.2 - Estrutura analítica do projeto FMEA – Empresa A

5.7 O Enfoque no Tempo da FMEA

Os cronogramas operacionais da FMEA passam a ser vinculadas aos cronogramas dos produtos novos como atividades, cumprindo a relação de ordem, ou seja, desenhos finais de engenharia de projetos ou processos, assim como a execução de ferramentais somente são liberados após o aval do término das atividades da FMEA. A Figura 5.3 mostra a FMEA de Projetos e Processos inseridas no desenvolvimento de um produto novo

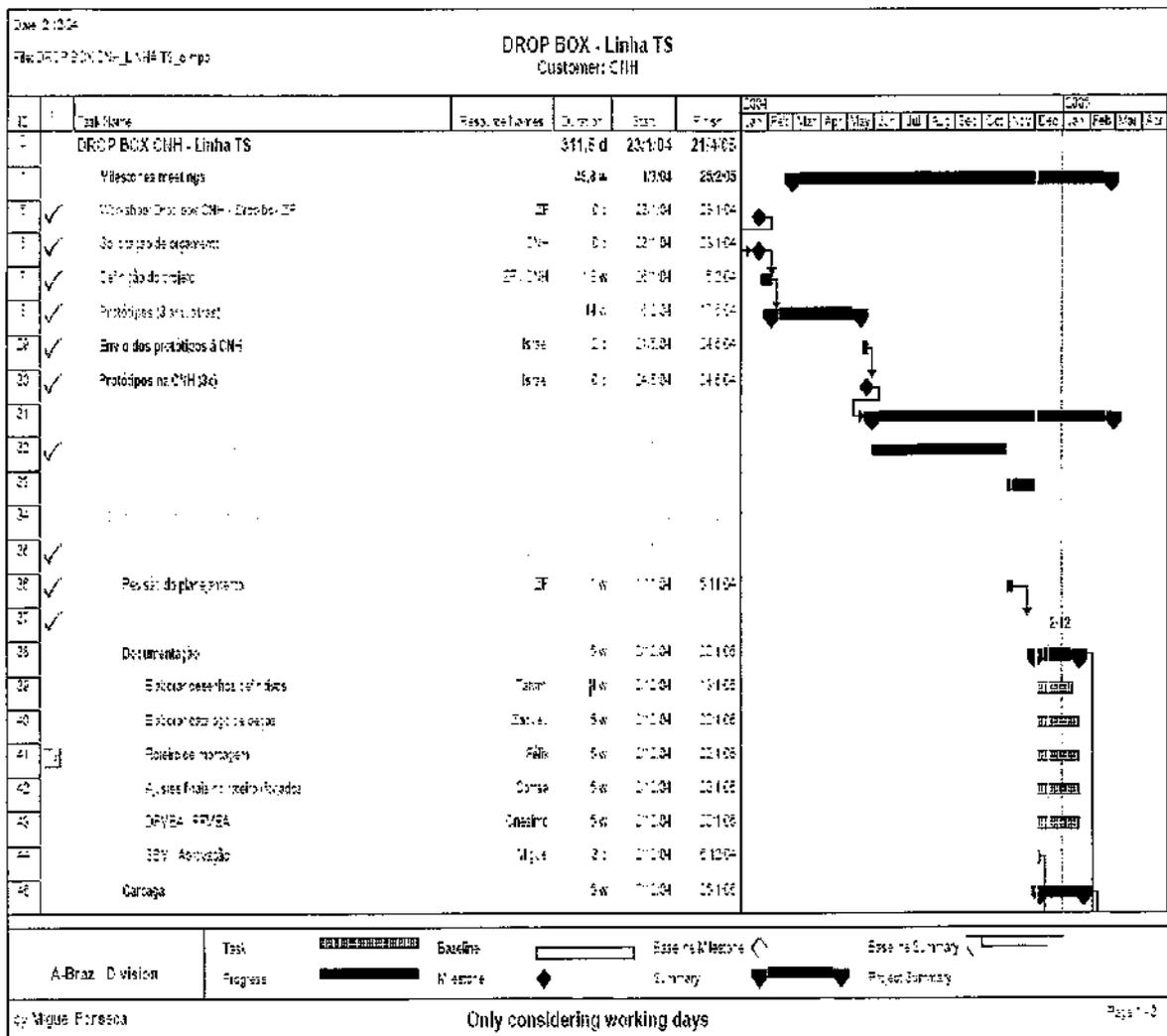


Figura 5.3 - Inclusão da FMEA no cronograma de produtos novos

Para os produtos correntes o objetivo da FMEA é cumprir a filosofia de melhoria contínua com retroalimentações (*feed-back*) nos processos de conceito, de manufatura, ou de projeto. Os produtos correntes não estão mais atrelados a um projeto específico e por isso, optou-se por monitorar as sessões FMEA por um diagrama de Gantt, como a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Diagrama de Gantt – FMEA Produtos Correntes -Empresa A

| REVISÃO - FMEA | | Produto | Prior. | Status | | | | | Janeiro | | |
|---|---------------------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|---|---------|---|--|
| Atividades | | | | DFMEA | PFMEA | Processo | TT | 3 | 4 | 5 | |
| Itens Relevantes - Manufaturados | | | | | | | | | | | |
| 01.290 | Eixo de ligação | Eixos | - | Victor | Anísio | Ronaldo | Yoshida | X | | | |
| 01.010 | Carcaça Central | Eixos | 2 | Victor | Anísio | Sola | - | X | X | X | |
| 02.010 | Coroa e Pinhão | Eixos | 3 | Victor | Anísio | Scabar | Picci | | X | X | |
| 03.010 | Carcaça | Eixos | 4 | Victor | Anísio | Sola | - | | | | |
| 03.570 | Gaiola Diferencial | Eixos | 5 | Victor | Anísio | Sola | - | | | | |
| 01.010 | Ponte 1 | Eixos | 6 | Victor | Anísio | Sola | - | | | | |
| 01.020 | Ponte 2 | Eixos | 7 | Victor | Anísio | Sola | - | | | | |
| | Montagem | 3MD30 | | | Anísio | Felix | - | | | | |
| | Montagem | S800 | | | Anísio | Felix | - | | | | |
| | Montagem | Drop | | | Anísio | Felix | - | | | | |
| | Montagem | T3500 | | | Anísio | Felix | - | | | | |
| Avulsos | Engrenagem | Agco | | | Anísio | | | | | | |
| Avulsos | Engrenagem | Agco | | | Anísio | | | | | | |
| Avulsos | Luva de Arraste | Agco | | | Anísio | | | | | | |
| Avulsos | Engrenagem | Valtra | | | Anísio | | | | | | |
| Avulsos | Coroa e Pinhão | Agco | | | Anísio | Scabar | Picci | | | | |
| Avulsos | Eixo de ligação | CNH | | | Anísio | | | | | | |
| Avulsos | Portador Planetário | ZFI | | | Anísio | | | | | | |
| Avulsos | Coroa e Pinhão | ZFI | | | Anísio | Scabar | Picci | | | | |

| | |
|----------|--------------------|
| | Finalizado |
| | Em processo |
| | Atrasado |
| | Planejado |
| X | Real |

5.8 O Enfoque nos Riscos da FMEA

Optou-se pela adoção da FMEA para reconhecer e minimizar os riscos relativos ao projeto FMEA (A FMEA da FMEA). A responsabilidade sobre as ações a serem tomadas

para manter a sua efetividade é atribuída ao Gerente de Projetos FMEA e ao responsável pelo sistema de garantia da qualidade. A cada quadrimestre o Gerente de Projetos, em função da experiência vivenciada, refaz a FMEA do projeto FMEA para possíveis redirecionamentos.

Observa-se que as falhas relatadas na Tabela 5.3 se confundem com a maioria das falhas relatadas na referência bibliográfica. Embora os modos típicos de falhas da FMEA sejam praticamente os mesmos nas organizações, é importante que o gerente de projetos FMEA monitore as causas mais prováveis, considerando as peculiaridades do seu sistema em particular.

Tabela 5.3 – A FMEA de concepção do projeto FMEA

| Funções | Modo Potencial de Falha | Efeito Potencial de Falha | Sev | Causa Potencial da Falha | Ocorr | Critic | Ações | Respons |
|---|---------------------------------|---|-----|----------------------------------|-------|--------|---|-------------|
| Prover o maior número possível de modos de falhas | Lista de falhas precária | Produto inseguro Aumento Custos de Qualidade | 9 | Equipe não multi disciplinar | 8 | 72 | Monitorar eficiência FMEA | V/R |
| | | Insatisfação do cliente | 8 | Equipe desmotivada | 8 | 64 | Monitorar programa treinamento | GP /RH |
| Definir prioridade de ações | Ações não implantadas | Riscos maiores de falhas | | Falta de conhecimento do produto | 7 | 56 | Designação gerente projetos | Dir |
| Divulgar ações recomendadas e tomadas | Respons. por ação não informado | Ação não implantada | 9 | Falta de integração entre dept. | | | Intranet Matriz de Responsab. | GF RH |
| | Não acumula dados | Riscos de Repetição de falhas em produtos novos | 6 | Sistema de Comunicação precário | 6 | 54 | Monitorar mapa Competências e habilidades | GF RH GP |
| Registrar Histórico FMEA | | | | Falta de treinamento | 8 | 48 | | |

5.9 O Enfoque na Qualidade na FMEA

A adoção de indicadores de eficiência e eficácia alinha-se com a própria exigência da norma ISO/TS-16949:2002 que afirma que todos os processos dentro de uma organização devem ter os seus próprios indicadores de desempenho

5.9.1 A Evolução da Eficiência da FMEA

O referido projeto iniciou-se a partir do último quadrimestre do ano de 2004 e terminou o seu ciclo no primeiro quadrimestre de 2006, razão pela qual a unidade de tempo adotada foi quadrimestral. A carta de tendências (Figura 5.4) reflete melhoria na eficiência, significando que as sessões estão sendo cada vez mais realizadas em tempo certo e pela equipe titular que detêm o conhecimento para extrair o máximo da FMEA.

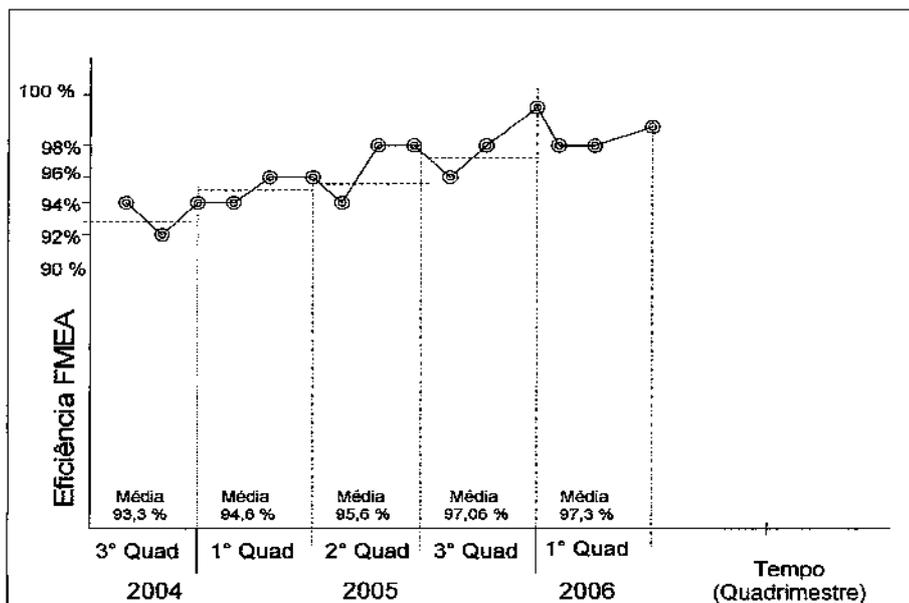


Figura 5.4 - Evolução da eficiência da FMEA

Ainda como parte do monitoramento da eficiência da FMEA, a Figura 5.5 representa um gráfico de evolução do tempo médio das sessões FMEA desde a implantação do Gerenciamento de Projetos. Atribui-se, baseados em entrevistas informais realizadas internamente, a redução nos tempos das sessões a um maior comprometimento, entendimento e motivação das equipes, a utilização mais adequada do software FMEA, e a melhoria na comunicação.

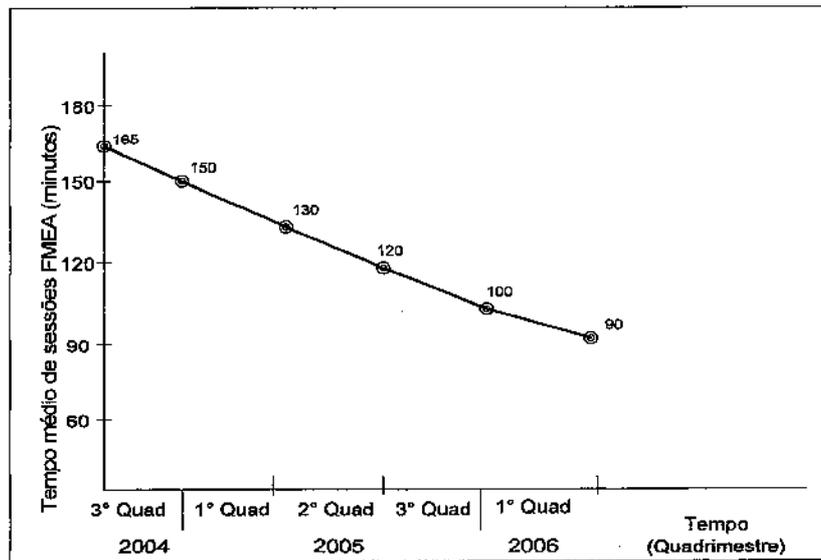


Figura 5.5 Evolução da produtividade das sessões FMEA

5.9.2 A Evolução da Eficácia da FMEA

A eficácia do projeto FMEA é medida como a sua correlação com os índices seguintes:

- Satisfação dos Clientes;
- % de Conformidade do Produto.
- Custos da Qualidade x Vendas

A evolução da Satisfação dos Clientes é fruto da compilação dos dados colhidos por questionários aos clientes conforme a Tabela 5.4. O valor do índice de Satisfação dos Clientes é a média aritmética das cinco áreas estratégicas consideradas que são Vendas, Logística, Qualidade, Tecnologia e Assistência Técnica, cada qual com sua bateria de questões específicas. O formulário mostrado é um condensado dos formulários originais pela inviabilidade de apresentá-los por completo.

Tabela 5.4-Avaliação da Satisfação dos Clientes-Empresa A

| Cliente: | | | | | | | | | Vendas | |
|--|-----------|---|---|---|---|------------------------------|---|------------|------------------------|--|
| Contato: | | | | | | | | | Logística | |
| Cargo: | | | | | | | | | Qualidade | |
| Departamento: | | | | | | | | | Tecnologia | |
| Data: | | | | | | | | | Assistência Técnica | |
| Questões | Pontuação | | | | | Em relação ao concorrente é: | | | Quem é o Benchmarking? | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Pior | = | Me lhor | | |
| São realizados em tempo hábil ? (ex.: rapidez no atendimento, cumprimento dos prazos estabelecidos, etc) | | | | X | | | X | | E | |
| Atendem a qualidade estabelecida ? (ex.: atendimento e serviços realizados com consistência, eficácia e eficiência) | | | | | X | | | X | E | |
| Está claramente definido seus contatos na A ? (ex.: definição de responsáveis, funções, departamentos, etc) | | | | | | | | | | |
| Os documentos e informações A necessários ao processo estão disponíveis ? (ex.: e-mail, internet, etc) | | | | | | | | | | |
| Você considera-se satisfeito com os produtos e serviços fornecidos por A ? | | | | | | | | | | |
| Os documentos e informações A necessários ao processo são consistentes ? (ex.: cotações, documentação de engenharia, documentação técnica de assistência técnica. | | | | | | | | | | |

Observa-se na tabela que os clientes avaliam a questão específica, e depois comparam a empresa A, com o concorrente mais forte, considerados por eles o “*benchmarking*”. Para avaliar as questões utiliza-se o critério mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5-Critério de avaliação da Satisfação dos Clientes

| Pontuação | Critério |
|-----------|--|
| 1 | <u>A</u> não atende as necessidades e expectativas do Cliente |
| 2 | <u>A</u> atende parcialmente as necessidades e expectativas do Cliente |
| 3 | A atende as necessidades e expectativas do Cliente |
| 4 | A atende muito bem as necessidades e expectativas do Cliente |
| 5 | A supera as necessidades e expectativas do Cliente |

Os resultados obtidos no período considerado mostram tendência de melhoria conforme a Figura 5.6. Atribui-se a melhoria do índice global de Satisfação dos Clientes aos índices relativos às questões de Qualidade, Logística e Assistência Técnica.

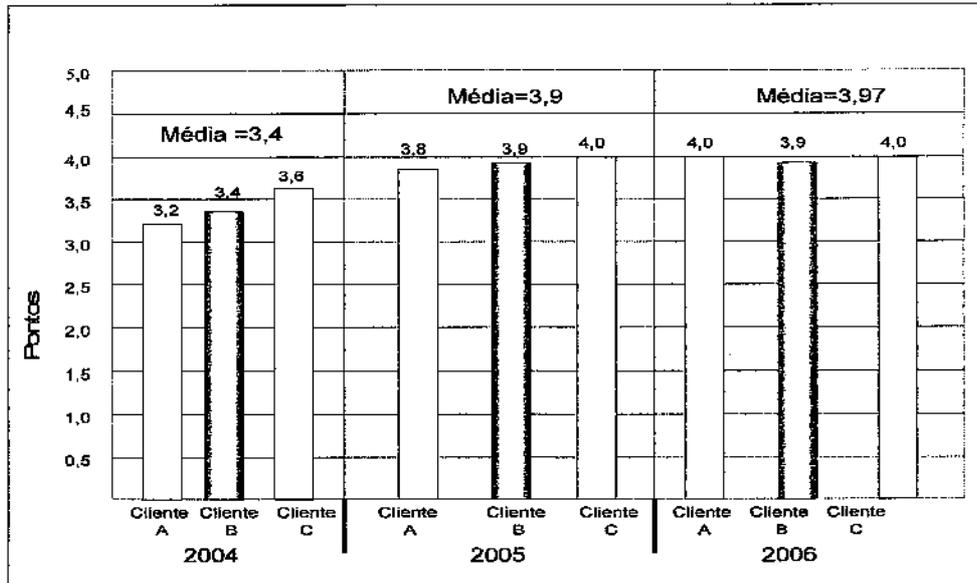


Figura 5.6-Evolução nos índices de Satisfação dos Clientes – Empresa A

A Figura 5.7 identifica as porcentagens de conformidade dos produtos (média geral) observadas em auditorias internas. Para cada tipo de defeito, atribuem-se deméritos padronizados conforme a gravidade, não apresentados aqui, que irão ser descontados do objetivo de 100% de conformidade do produto.

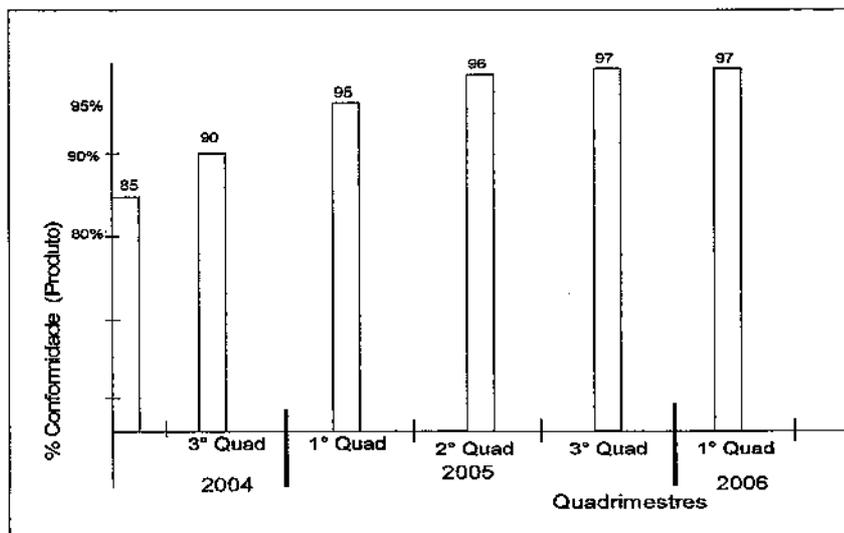


Figura 5.7 – Evolução nos índices de Conformidade do Produto – Empresa A

Os registros dos relatórios de qualidade apontam como fator preponderante para o melhor desempenho na conformidade dos produtos, o incremento na implantação de dispositivos a prova de erros.

A Figura 5.8 comprova a afirmação acima mostrando a correlação entre os índices de auditoria interna do produto e a implantação dos dispositivos à prova de erros sugeridos nas sessões FMEA.

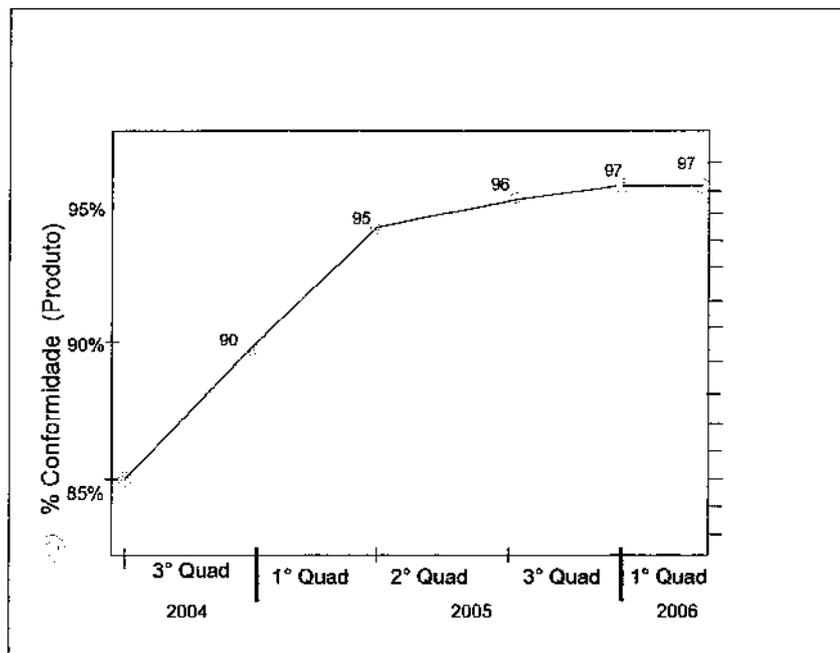


Figura 5.8 - Correlação Conformidade do Produto x Dispositivos a prova de erros

5.10 O Enfoque na Aquisição na FMEA

As seguintes medidas foram tomadas pelo gerente de projetos FMEA em conjunto com os gerentes funcionais e a administração no tocante à aquisição:

- Atualização do software de gerenciamento de projetos para interface com os fornecedores e clientes, melhorando a comunicação.
- Adição de módulos no gerenciamento de projetos, que permitem a integração de metodologias diversas com a FMEA, reduzindo o tempo de registro e melhorando a rastreabilidade das sessões de FMEA.

- Contratação de consultoria especializada para a reciclagem periódica no treinamento de todas as técnicas relacionadas ao projeto FMEA.

5.11 O Enfoque nos Recursos Humanos na FMEA

Criou-se um modelo conforme a matriz de conhecimentos e habilidades mostrada na Tabela 5.6 para assegurar o domínio sobre o corpo de conhecimentos e estabelecer o comprometimento na capacitação profissional da mão de obra, executando assim, de maneira mais eficiente, as funções dos processos a todos os elementos envolvidos no processo, principalmente as equipes FMEA.

Tabela 5.6 Matriz de Conhecimentos e Habilidades - Empresa A

| Nome | Conhecimentos necessários | | | | | Atividades e habilidades | | | | | |
|-------------|---------------------------|------|---------------------------|---------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| | INASP | FMEA | Gerenciamento de Projetos | ISO/TS 16949 : 2002 | Software FMEA | CEP | Participa de sessões FMEA | Desenvolve cartas de controle | Controla as etapas da ISO/TS : 16949 | Elabora planos de processo | Define características especiais |
| V.Rosales | | | | | | | | | | | |
| J.Moura | | | | | | | | | | | |
| J. Ruiz | | | | | | | | | | | |
| M. Nunes | | | | | | | | | | | |
| T. Gonzales | | | | | | | | | | | |

| | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Necessidade de treinamento | <input type="checkbox"/> Habilitado |
| <input type="checkbox"/> Não necessita de treinamento | <input type="checkbox"/> "On the job" / Executa |
| <input type="checkbox"/> Curso concluído | <input type="checkbox"/> Não habilitado |

5.12 O Enfoque na Comunicação na FMEA

Dada a importância da comunicação preconizada pelo Gerenciamento de Projetos, utilizou-se a infra-estrutura já existente de jornais, quadros de gestão à vista, reuniões periódicas conduzidas pela diretoria, e-mails, faixas e INTRANET *Internet Explorer*, para incorporar e divulgar todas as informações pertinentes à FMEA, com acesso irrestrito de leitura.

Como parte das ações para melhorar a comunicação, definiu-se uma matriz de atribuição de responsabilidades relativas à FMEA que é divulgada para toda a organização, conforme a Tabela 5.7. A própria matriz de competências e habilidades apresentada como ferramenta de Recursos Humanos é considerada como elemento importante de comunicação.

Tabela 5.7-Atribuição de responsabilidades da FMEA

| Responsável pela Gestão | Equipe FMEA Projetos | Equipe FMEA Processos | Definição de características especiais | Informações de garantia | Treinamento | Programa Melhoria Contínua | Objetivos de qualidade |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|--|-------------------------|-------------|----------------------------|------------------------|
| Engenheiro de produtos | R | P | R | I | P | P/R | R |
| Engenheiro de processos | P | R | R | I | P | P/R | R |
| Lider da produção | P | P | P | I | P | P/R | I |
| Supervisor de vendas e pós vendas | P | P | I | R | P | I | P/I |
| Supervisor de qualidade | P | P | I | P | P | P/I | P |
| Gerente de projetos FMEA | R | R | R | P/I | R | I | P |
| Operadores de máquinas | I | P | I | - | P | P | I |
| Coordenador de RH | I | I | - | - | R | I | I |

R – Responsável P – Participa I - Informado

5.13 O Enfoque nos Custos na FMEA

O enfoque proposto não foi nos custos do projeto FMEA, mas no seu impacto nos custos de Qualidade. O acompanhamento dos custos de qualidade ao longo da implementação da FMEA sob a ótica de gerenciamento de projetos apresentou a evolução conforme mostrado na Figura 5.9. Comparando os valores da relação custos / faturamento bruto com a faixa média das empresas mencionadas na revisão bibliográfica a empresa ainda se coloca acima da faixa do mercado (de 5 a 20% conforme revisão bibliográfica), motivando-a a iniciar mais um ciclo dentro do conceito de melhoria contínua.

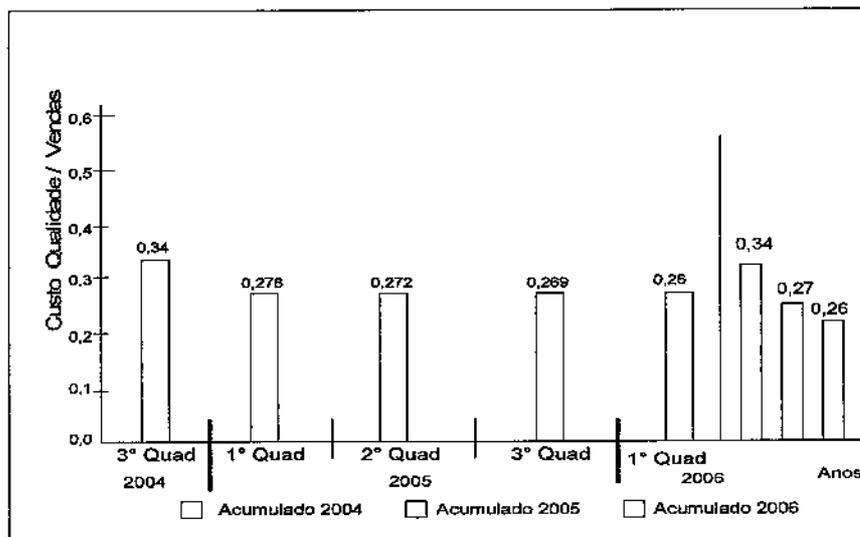


Figura 5.9-Evolução dos Custos de Qualidade x Vendas-Empresa A

5.14 Resultados e Análises do projeto FMEA

A implantação e monitoramento da FMEA sob a ótica de projetos no período de análise considerado de dois anos, se refletiram na evolução mostrada na Tabela 5.8:

Tabela 5.8-Evolução dos índices de desempenho FMEA – Empresa A

| Índices de desempenho | Ano 2004 | Ano 2005 | Ano 2006 | % melhoria |
|--|----------|----------|----------|------------|
| Eficiência sessões FMEA (em tempo certo) | 93,30 % | 95,75 % | 97,30% | 4,3 |
| Produtividade sessões FMEA (minutos) | 165” | 125” | 90” | 54,5 |
| Eficácia (Custos Qualidade / Vendas) | 34 % | 27 % | 26 % | 23,5 |
| Eficácia (Conformidade do Produto) | 87,5 | 96,0 | 97,0 | 11,0 |
| Eficácia (Satisfação dos Clientes) | 3,40 | 3,90 | 3,97 | 17,0 |

O acréscimo já previsto nos Custos de Qualidade de Prevenção apresentou-se irrisório em comparação com a redução dos Custos de Qualidade Internos e Externos extrapolando a relação de retorno sobre o investimento de 100 unidades monetárias para cada unidade gasta. De fato, o Retorno sobre o Investimento do projeto FMEA se fez em seis meses após implantação do Gerenciamento de Projetos, ou seja, tudo o que foi gasto foi pago neste período.

A Tabela 5.9 identifica as ações mais importantes que contribuíram para a evolução demonstrada na tabela acima.

Tabela 5.9-Ações recomendadas pelo gerenciamento de projetos – Empresa A

| | Problemas observados | Ações propostas pelo GP |
|------------------|--|--|
| Integração | - Dispersão de foco da FMEA devido a outras atividades importantes. | - Maior foco na FMEA pela nomeação de um Gerente de Projetos (GPFMEA). |
| Escopo | - FMEA considerada como um mero formulário. - Equipe não multidisciplinar. - Desconhecimento requisitos específicos. | - Geração de uma Estrutura Analítica de Projetos administrada pelo GPFMEA. - Formação de equipes multidisciplinares. - Inclusão de fornecedores no processo. |
| Qualidade | - Deficiente em todas as nove áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos. | - Adoção de índices de desempenho de Eficiência e Eficácia da FMEA. - Monitoramento da satisfação de clientes. |
| Tempo | - Finalização da FMEA após lançamento dos produtos novos. | -Inserção de cronogramas FMEA ligados ao PERT-CPM de produtos novos. |
| Aquisição | - Treinamento feito por multiplicadores internos, porém com dificuldades em atender toda a grade de treinamentos. | - Contratação de consultoria para a FMEA. - Atualização de software para melhorar comunicação. |
| Custos | - Horas gastas nas sessões FMEA eram lançadas como improdutivas, gerando conflitos com metas departamentais. | -Horas são pagas pela conta Custos de Prevenção da Qualidade. - Maior enfoque Custos de Qualidade x FMEA. |
| Recursos Humanos | - Deficiência nas habilidades e competências dos colaboradores. | - Criação de Matriz de Conhecimentos e Habilidades com treinamento integrado. |
| Comunicação | - Desconhecimento das funções relativas à FMEA. -Informações sobre o “ <i>status quo</i> ” de cada FMEA inexistente. | -Criação de Matriz de Responsabilidades. -Inserção da FMEA no sistema Intranet / Internet. -Divulgação dos indicadores de Eficiência e Eficácia das FMEA. |
| Riscos | Falta de conhecimento da importância da análise de riscos | -Mudança de paradigma. A empresa está treinando o pessoal em Gerenciamento de Projetos. - Execução da FMEA de concepção da FMEA. |

A empresa A baseada nos resultados obtidos decidiu pela continuidade do ciclo e decidiu adotar a metodologia de Gerenciamento de Projetos para a implantação de outros empreendimentos na organização.

Capítulo 6

Conclusões

Em função dos objetivos propostos de melhorar a efetividade da FMEA pela aplicação do Gerenciamento de Projetos na sua implantação e monitoramento pode-se concluir que o trabalho cumpriu o seu objetivo visto que:

- Após a implantação da metodologia, a produtividade das sessões FMEA aumentou em mais de 50%;
- A implantação da técnica FMEA com os processos do gerenciamento de projetos permitiu atender plenamente aos requisitos exigidos pelo sistema de garantia da qualidade;
- A maior eficácia representada pela melhoria nos índices de Satisfação dos Clientes, de Conformidade do Produto e dos Custos da Qualidade pode ser correlacionada com a maior efetividade da FMEA.
- A implantação da técnica FMEA não é simples. É sim, bastante complexa pela multidisciplinaridade, e exige motivação e comprometimento de toda a organização.
- A técnica FMEA exige o domínio completo de um corpo de conhecimentos e habilidades que transcendem o perfeito preenchimento do formulário, não somente das equipes como de todos os envolvidos no processo, significando a necessidade de treinamento maciço dos funcionários.
- A utilização inédita da metodologia de Gerenciamento de Projetos na implantação da FMEA se mostrou eficaz e bastante satisfatória tendo em vista as melhorias verificadas.

Com base nos resultados deste trabalho, recomendam-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- A adoção da metodologia de Gerenciamento de Projetos como base para a implantação da FMEA em setores que demandem características peculiares, como a área de serviços, saúde, produtos hospitalares, etc.
- O estudo da utilização da metodologia de Gerenciamento de Projetos como subsídio para a definição do planejamento estratégico da ISO 9000 ou equivalente, contribuindo, além da certificação, com melhores padrões de qualidade dos produtos ou serviços em uma organização.
- O estudo da influência do nível de maturidade em gerenciamento de projetos de uma organização, para a implantação de qualquer “projeto”, não somente a FMEA.
- O estudo de outros indicadores de desempenho de eficiência e de eficácia que possam monitorar e extrair da metodologia FMEA resultados ainda mais profícuos.

Referências Bibliográficas

- APQP (1994), "**Advanced Product Quality Planning and Control Plan**". Daimler Chrysler Company, Ford Motors Company, General Motors, Southfield, MI.
- AIAG (1996), "**QS-9000, Quality System Requirements**". Daimler Chrysler Company, Ford Motors Company, General Motors, Southfield, MI.
- AIAG (2000), "**Production Part Approval Process**". 3d ed. Daimler Chrysler Company, Ford Motors Company, General Motors, Southfield, MI.
- AIAG (2001), "**Potential failure mode and effect analysis**" 3d ed. Daimler Chrysler Company, Ford Motors Company, General Motors, Southfield, MI.
- AMERMAN, M. (1998), "**The Root Cause Analysis Handbook - A Simplified Approach to Identifying, Correcting, and Reporting Workplace errors**", Productivity Inc. Portland, OR.
- ANDREWS, J. D., MOSS, T. R. (1993), "**Reliability and Risk Assessment**". Longman Scientific, London.
- BARBIER, R (2002), "**A Pesquisa-Ação**", v. 3 , Série Pesquisa em Educação, Brasília: Plano Editora.
- BARNARD, S. (1996), "**Linkages between QFD and FMEA**", ASI Quality Systems, QFD User Group.
- BASS, L. (1986), "**Products Liability: Design and Manufacturing Defects**". Colorado Springs, CO: Sheppard's/McGraw-Hill.
- BASS,L. (1991), "**Cumulative Supplement to Products Liability: Design and Manufacturing defects**". Colorado Springs, CO: Sheppard's/McGraw-Hill.
- BELL,D.,COX,L.,JACKSON,S.,SHAEFERR,P. (1992),"**Using Causal Reasoning for Automated Failure Modes&Effects Analysis(FMEA)**",Proceedings of the 1992 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium,pp.343-353.
- BEN-DAYA, M., RAOUF, A. (1996), "**A revised failure mode and effects analysis model**", **International Journal of Quality & Reliability Mangement**, vol.13, nº1, pp. 43-7.
- BENNIS, Warren,"**Good Managers and Good Leaders**",Across the Board, October, 1984, pp. 7-11
- BONGIORNO, J., "**Use FMEA's to Improve Your Product Development Process**", PM Network,15:5, may 2001, pp. 47-51.

- BOWLESS, J. (1998), **"The New SAE FMECA Standard"**, Proceedings of the 1998 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 48-53.
- BRAGLIA, M. (2000), **"MAFMA: multi-attribute failure mode analysis"**, International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 17, n° 9, pp. 1017-33.
- BROWN, K. S. (1990), **"Evaluating Fault Tree (AND & OR gates only) with Repeated Events"**, IEEE Transactions on Reliability, vol.39, pp. 226-35.
- BROWN, P.G. (1991). **"QFD:echoing the voice of the customer"**,AT&T Technical Journal,March/April pp. 18-32.
- BURTON, D. (1995),**"The ideal lunch, building the heart of quality, the complete 'how to QFD"**,Workshop Conference, Bradford Management Centre, University of Bradford,28 June.
- CAMPOS,V.F. (1999), **Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**,MG; Desenvolvimento Gerencial.
- CARBONE, T. A., TIPPET, D. D (2004), **"Project Risk Management Using the Project Risk FMEA"**, Engineering Management Journal; dec.; 16, 4; ABI/Inform Global.
- CASAROTTO Filho, N., FÁVERO J. S. CASTRO J. E. E. (1999) **"Gerência de Projetos / Engenharia Simultânea"**, São Paulo: Atlas S.A..
- CASTRO, C. de M. (1997), **"A prática de pesquisa"**, McGraw-Hill: São Paulo.
- CHANG, C. L., WEI, C., LEE, Y. H. (1999), **"Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Method and Grey Theory"**, The International Journal of Systems & Cybernetics, vol. 28, n° 9, pp. 1072-80.
- CLELAND, D.I., IRELAND,L.R.(2000), **"Gerência de Projetos"**, Reichmann&Affonso Editores.RJ.
- CUKIERMAN, Z. S. (2000), **"O modelo PERT-CPM aplicado a projetos"**, Reichmann & Affonso Editores, RJ.
- DALE, B., SHAW, P. (1990), **"Failure Mode and Effect Analysis in the UK Motor Industry: a state- of- the- art study"**, Quality and Reliability Engineering International, vol. 6, pp. 179-88.
- DATTA, S., MUKERJEE, S. K., **"Developing a Risk Management Matrix for Efective Project Planning - An Empirical Study"**, Project Management Journal, 32:2, jun. 2001, pp. 45-57
- DENSON, W. K. (1992), **"The use of failure mode distributions in reliability analyses"**, RAC Newsletter (Reliability Analysis Center), a department of Defense Information Analysis Center (spring): 1-3.
- DEROSIER J., STALHANDSKE, E., BAGIAN, J. P., NUDELL, T. (2002), **"Using Health Care Failure Mode and Effect Analysis"**, Joint Comission on Accredittation of Health care Organizations.
- DHILLON, B. S. (2003), **"Methods for Performing Human Reliability and Error Analysis in Health Care"**, International Journal of Health Care Quality Assurance 16/6, pp. 306-17.
- DINSMORE, P. C. (2003) **"Como se tornar um Profissional em Gerenciamento de Projetos; livro base de preparação para certificação PMP-Project Management Professional"**, 1° ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 452 p.

- EISENHARDT, K. M. (1989), "**Building theories from case study research**", Academy of management Review, v. 14, p. 532-50.
- FEIGENBAUM, A. V. (1983), "**Total Quality Control**" 3 ed. New York, McGraw Hill.
- FORD FMEA HANDBOOK (with Robustness Linkages)**, Ford Design Institute, 2004.
- GASNIER, D. G. "**Guia Prático para Gerenciamento de Projetos; manual de sobrevivência para os profissionais de projetos**". 2º ed., São Paulo: IMAN, 2000, 165 p.
- GILCHRIST, W. (1993), "**Modelling Failure Modes and Effects Analysis**", International Journal of Quality Reliability Management, vol. 10, nº 5, pp. 16-23.
- GINN, D. M.; JONES, D. V.; RAHNEJAT, M.; ZAIRI, M. (1998), "**The "QFD/FMEA Interface**", European Journal of Innovation Management V. 1 N. 1 pp. 7-20, MCB University Press
- HAWKINS, P. G., WOOLLENS, D. J. (1998), "**Failure Modes and Effects Analysis of Complex Engineering Systems Using Functional Models**", Artificial Intelligence in Engineering, Elsevier Science Limited, Oxford, 12(4), pp. 375-97.
- HUMPHRIES, S. (1994), "**Murphy's Law Overruled: FMEA in Design, Manufacture and Service**", B & N Humphries Learning Service Pty. Ltd, Victoria, Australia.
- ISO 9001 (2000), "**Quality systems-model for Quality Assurance, Design, Development, Production, Installation and Servicing**". Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO/TS 19649 (2002), "**Quality management systems-Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations**", 2o. ed. Daimler Chrysler Company, Ford Motors Company, General Motors, Southfield, MI.
- JOSHUA, S. C, GARBER, N. J. (1992), "**A Causal Analysis of Large Vehicle Accidents through Fault Tree Analysis**", Risk Analysis, vol. 12, pp. 173-87.
- KARA-ZAITRI, C., KELLER, A., BARODY, I., FLEMING, P. (1991), "**An Improved FMEA Methodology**", Proceedings of the 1991 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 248-52.
- KECECIOGLU, D. (1991), "**Reliability Engineering Handbook - vols. 1 and 2**". Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- KMENTA, S. (2000) **Advanced Failure Modes and Effects Analysis: A Method For Predicting and Evaluating Failures in Products And Process**, Stanford University. 125 p. Dissertação Doutorado em Engenharia Mecânica.
- KOCZA, G., BOSSCHE, A. (1999). "**Application of the Integrated Reliability Analysis System (IRAS)**," Reliability Engineering & System Safety, vol. 64, nº 1 pp. 99-107.
- KOLKA, J. W., SCOTT, G. G. (1992). "**Product Liability and products safety directives**", Fairfax, VA: CEMM Information Services
- LEE, D., THORNTON, A. C., "**Enhanced key characteristics identification methodology for agile design**", Agile Manufacturing Forum, mar. (1996), Boston, MA.
- MCDERMOTT, R. E, MIKULAK, R. J., BEAUREGARD, M. R. (1996), "**The Basics of FMEA**", Productivity Inc, Portland, OR.

- McKINNEY, B. (1991), “**FMECA, The right way**”, Proceedings of the 1991 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 253-259.
- MIL-STD-1629A, 1980. FMEA. 24 nov. Washington, D. C.: Department of Defense.
- MODARRES, M., CHEON, S. W. (1998), “**Function-centered Modeling of Engineering Systems Using the Goal Tree-Success Tree Technique and Functional Primitives**”, Reliability Engineering and Systems Safety Journal, Special Edition on Functional Modeling.
- MONTGOMERY, T. A., PUGH, D., LEEDHAN, S., TWITCHETT, S. (1996), “**FMEA Automation for the Complete Design Process**”, Proceedings of the 1996 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 30-6.
- NBR ISO 9001 (2000), “Sistemas de gestão da qualidade-Requisitos”, ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, (www.abnt.org.br)
- OMDAHL, T. P. (1988), “**Reliability, availability, and maintainability dictionary**”. Milwaukee: ASQC Quality Press.
- ORMSBY, A., HUNT, J., LEE, M. (1991), “**Towards an Automated FMEA Assistant**”, Artificial Intelligence in Engineering, Computational Mechanics Publications, Boston, MA, pp. 739-52.
- PALADY, P. (1995), “**Failure Modes and Effects Analysis: Predicting & Preventing Problems Before They Occur**”, PT Publications, West Palm Beach, FL.
- PMBOK GUIDE (1996) “**A guide to the project management body of knowledge**”, PMI Standards Committee, Project Management Institute, 130 South State Road, Upper Darby, PA 19082, USA.
- PRITCHARD, C. (2001), “**Risk Management, Concepts and Guidance**”, 2nd ed., ESI International.
- RAHEJA, D. (1981), “**Failure Mode and Effects Analysis - Uses and Misuses**”, ASQC Quality Congress Transactions, San Francisco, CA, 1981, pp. 374-9.
- REID, D., “**TS 16949 - Where Did It Come From?** Quality Progress; mar. 2005: 38,3; ABI/INFORM Global p. 31.
- RITZMAN, L., P.; KRAJEWSKY, L. J. (2004), “**Administração DA Produção e Operações**” Pearson-Prentice Hall, São Paulo.
- ROY, R. K. (2001), “**Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement**”, John Wiley & Sons, New York, NY.
- SHINGO, S. (1986), “**Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System**”, Productivity Inc., Norwalk.
- SINGH SOIN, S. (1992), “**Total Quality Control Essencials**”, McGraw-Hill, New York, NY, p. 156
- SLOANE, J. P. (1986), “**Broadband LANs**”, Journal of Information Systems Management, (summer): 49.
- SMITH P. G., MERRITT, G. M. “**Proactive Risk Management: Controlling Uncertainty in Product Development**”

- STÄLHANE, T., WEDDE, K. J. (1998), “**Modification of Safety Critical Systems: An Assessment of Three Approached**”, *Microprocessors and Microsystems*, vol.21, n° 10, pp. 611-19 .
- STAMATIS, D. H. (2003), “**Failure Mode and Effect Analysis-FMEA from Theory to Execution**”, American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee, 2003.
- STAMATIS, D. H. (1989, 1991, 1992) - “**FMEA Training Manual**”, Southgate, MI: Contemporary Consultants.
- STOCO, R. (2004) - “**Tratado de Responsabilidade Civil**”, Ed. Revista dos Tribunais p. 1838.
- TAGUCHI, G. (1986), “**Introduction to Quality Engineering**”, Asian Productivity Organization (Distributed by American Supply Institute Inc., Dearborn, MI).
- TENG S. H. e HO S. Y. (1996), “**Failure mode and effects analysis – An integrated approach for product design and process control**”, *International Journal of Quality & Reliability Management* , vol. 13, n° 5 , pp. 8-26.
- TENG S.H., HO, S. Y. (1995), “**Reliability analysis for the design of an inflator**”, *Quality and Reliability Engineering International*”, vol. 11, pp. 203-14.
- VALERIANO, D. (2005), “**Moderno Gerenciamento de Projetos**”, Prentice Hall, S.P., 2005.
- VERZUH, E. (2000), “**MBA compacto, Gestão de Projetos**” , Campus,R.J,2000.

Anexos

Anexo I – Índice de Severidade (S)

| Efeito | Severidade do Efeito | Pontuação |
|--|--|-----------|
| Compromete a segurança sem nenhum alerta | Índice de severidade muito alto. A falha em potencial afeta a segurança do usuário e /ou envolve não atendimento às normas governamentais, sem alerta. | 10 |
| Compromete a segurança com sinal de alerta | Índice de severidade muito alto. A falha em potencial afeta a segurança do usuário e /ou envolve não atendimento à normas governamentais, porém dá sinal de alerta. | 9 |
| Muito alto | Item inoperante, com perda de função primária. | 8 |
| Alto | Item operante, com nível reduzido do desempenho. Cliente muito insatisfeito. | 7 |
| Moderado | Item operante, mas com requisitos conforto e conveniência inoperantes. O cliente fica insatisfeito. | 6 |
| Baixo | Item operante, mas com o conforto e conveniência a um nível reduzido de desempenho. O cliente experimenta alguma insatisfação. | 5 |
| Muito Baixo | Item com montagem, acabamento ou nível de ruído objectionável. Defeitos são observados pela maioria dos usuários (mais de 75%). | 4 |
| Pequeno Problema | Item com montagem, acabamento ou nível de ruído não conforme. Defeitos notados por 50 % dos usuários. | 3 |
| Muito Pequeno | Item com montagem, acabamento ou nível de ruído não conforme. Defeitos notados por uma parcela dos usuários (menos de 25%) | 2 |
| Nenhum | Não se consegue discernir um efeito | 1 |

[Ford FMEA Handbook, 2004]

Anexo II – Índice de Ocorrência (O)

| Probabilidade de Falha | Índice provável de falhas | Pontuação |
|--|----------------------------|-----------|
| Muito alta: Falhas persistentes | ≥ 100 por 1000 itens | 10 |
| Muito alta: Falhas persistentes | ≥ 50 por 1000 itens | 9 |
| Alta: Falhas freqüentes. | 20 por 1000 itens | 8 |
| Alta: Falhas freqüentes. | 10 por 1000 itens | 7 |
| Moderado: Falhas ocasionais | 5 em 1000 itens | 6 |
| Moderado: Falhas ocasionais | 2 em 1000 itens | 5 |
| Moderado: Falhas ocasionais | 1 em 1000 itens | 4 |
| Baixo: Poucas falhas relativamente | 0,5 por 1000 itens | 3 |
| Baixo: Poucas falhas relativamente. | 0,1 por 1000 itens | 2 |
| Remoto: Falha é improvável | $\leq 0,01$ por 1000 itens | 1 |

[Ford FMEA Handbook, 2004]

Anexo III – Índice de Detecção (D)

| Detecção | Probabilidade de detecção pelo Controle de Projetos | Pontuação |
|----------------------|--|-----------|
| Incerteza Absoluta | O Controle de Projetos não detectará causas ou mecanismos Potenciais e o modo de falha subsequente; não existe Controle de Projetos. | 10 |
| Muito Remota | Chance <u>muito remota</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente. | 9 |
| Remota | Chance <u>remota</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potencial e o modo de falha subsequente. | 8 |
| Muito Baixa | Chance <u>muito baixa</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente. | 7 |
| Baixa | Chance <u>baixa</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente | 6 |
| Moderada | Chance <u>moderada</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente | 5 |
| Moderadamente alta | Chance <u>moderadamente alta</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente | 4 |
| Alta | Chance <u>alta</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas e mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente | 3 |
| Muito Alta | Chance <u>muito alta</u> de que o Controle de Projetos irá detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente | 2 |
| Quase que Certamente | O Controle de Projetos irá quase que certamente detectar as causas /mecanismos potenciais e o modo de falha subsequente. | 1 |

[Ford FMEA Handbook, 2004].

Anexo IV – Verbos e nomes utilizados para definir funções

| Verbos | | | | Nomes | | |
|-------------|------------|-------------|------------|--------------|--------------|-----------------|
| Atuar | Permitir | Minimizar | amplificar | Corrosão | volume | peso |
| Aplicar | Descartar | Modificar | mudar | Corrente | aparência | poeira |
| Conduzir | Dirigir | Produzir | conter | Esforçar | contatos | Energia, |
| Controlar | Comprimir | Receber | criar | Eletricidade | contaminação | características |
| Diminuir | Secar | Reduzir | emitir | Energia | isolação | fluxo |
| Estabelecer | Terminar | Remover | apertar | Ferramentas | corrente | força |
| Fechar | Cozinhar | Mover | juntar | Movimento | circuito | efeito |
| Filtrar | Inflamar | Resistir | segurar | Torque | danos | forma |
| Induzir | Friccionar | Selecionar | aumentar | Material | ruído | radiação |
| Interromper | Formar | Armazenar | limitar | Decoração | pistão | corrosão |
| Localizar | Gerar | Suportar | manter | Potencia | torque | interruptor |
| Melhorar | Melhorar | Formar | isolar | Fornecimento | fricção | pintura |
| Modular | Acomodar | Transmitir | montar | Formato | voltagem | calor |
| Mover | Conservar | Transportar | evitar | Ambiente | liquido | proteção |
| Proteger | Entregar | Pesar | retificar | Equipamento | oxidação | painel |
| Segurar | Absorver | Restringir | impedir | Força | densidade | Luz |

[Ford FMEA Handbook, 2004].

