

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Curso de Pós Graduação – *Lato Sensu*  
Gestão da Produção

ERLON CELSO DE SOUZA VIEIRA

**METODOLOGIA**  
**FMEA – ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE**  
**FALHA E ORIENTAÇÕES ESTRATÉGICAS**

Monografia apresentada no curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* da Universidade Federal de São Carlos, como requisito parcial para conclusão do curso de Gestão da Produção.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Carlos de Toledo

São Paulo  
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

## **DADOS CURRICULARES**

### **ERLON CELSO DE SOUZA VIEIRA**

NASCIMENTO 08.04.1977 – OSASCO / SP

FILIAÇÃO Domingos de Souza Vieira

Esther Araújo Vieira

1993 – 1996 Curso Técnico em Mecânica Geral.

Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo.

1997 – 2004 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

com ênfase e Engenharia de Produção

Mecânica.

UNESP – Campus de Guaratinguetá

2007 – 2008 Curso de Pós-Graduação em Gestão da Produção - UFSCar

Dedico este trabalho

Aos meus pais,  
Domingos de Souza Vieira e Esther Araújo Vieira,  
que plantaram a semente da busca do conhecimento  
e não mediram esforços para que eu realizasse meus  
sonhos e viesse alcançar todo o sucesso, pois sempre  
dedicaram amor e confiança para comigo.

Aos meus irmãos,  
e a todos os meus familiares, que sempre acreditaram  
em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, porque Sua Palavra mais uma vez se cumpriu e se fez verdadeira em minha vida.

Ao Prof. Dr. José Carlos de Toledo, pela paciência, dedicação e principalmente, o incentivo à auto-estima ao me orientar, que no decorrer do trabalho, da simples relação entre orientador e orientado, tornou-se admiração e respeito de minha parte, resultando em sólida amizade.

Ao Prof. Dr. Júlio César Donadone, responsável pelo do curso de Pós-Graduação em Gestão da Produção e à Universidade Federal de São Carlos, por viabilizar a execução deste trabalho.

Aos professores da UFSCar, pela dedicação demonstrada durante a convivência nos cursos por eles administrados.

Aos funcionários do ETAPA, pela atenção, dedicação e prestatividade com que sempre me foi dada.

Aos amigos que sempre incentivaram com tamanho companheirismo em todos os momentos.

Agradecimento a todas as pessoas que, de uma forma direta ou indireta, através de um simples sorriso, ou mesmo um bom dia, a troca de informações e discussões, contribuíram com o enriquecimento deste trabalho.

Muitos há, entre nós, e em toda parte, que põem a crença em que ser líder é mostrar, a cada tíquete, o seu poder na fraqueza daqueles que lhe estão subordinados; é aplicar os dispositivos dos regulamentos em consonância com a sua simpatia ou antipatia e não segundo os sagrados ditames da justiça e da razão; é fazer-se obedecer pelas insígnias e posições de elevado status; é malferir, por palavras, ou por atos, os fracos e os pequenos.

Eu porém, graças dou, não penso assim. Ser líder, a meu juízo, é ser bondoso, sem fraqueza; é ser enérgico, sem bruteza; é ser fraco, sem agravos; é ser justo, com equidade; é ouvir atentamente os que são mister de ser ouvidos, sem fazer conta do lugar em que se encontram na hierarquia; é partilhar, sem a falsidade, dos prazeres e pesares dos irmãos de sangue e de não-sangue; é dar exemplo, de amor ao local que habita e a sociedade que te acolhe. Pois a autoridade de Líder que se funda no temor das punições e das violências, é autoridade vacilante, é autoridade fictícia, é autoridade que aos primeiros contratempos de guerra e de revolta se desfaz, qual tênue fumo ao sopro da rajada se finda. Evidentemente não é autoridade. Só a autoridade que se alicerça na estima e na confiança, só esta é positiva, só esta é duradoura, só esta é inabalável...

Lord Gangrel

## RESUMO

A crescente verticalização na indústria automotiva traz um grande desafio no que se refere ao gerenciamento de qualidade dos fornecedores. O maior impacto é sentido pelas empresas "Tier 1", ou seja, aquelas que fornecem diretamente às montadoras, uma vez que seus respectivos fornecedores de componentes nem sempre tem uma visão de qualidade focada no universo automotivo. Esta dificuldade, bastante característica do mercado brasileiro, faz com que as indústrias de autopeças e sistemistas desenvolvam novos métodos para garantir a qualidade com a devida competitividade de custos. O uso da consagrada ferramenta FMEA, dentro de uma nova concepção focada no gerenciamento de qualidade dos fornecedores, constitui eficaz método para suprir esta necessidade. A proposta deste trabalho é apresentar esta conceituação teórica e prática no uso da ferramenta na área de projetos, com as peculiaridades em que ela difere das variantes triviais dentro do projeto, tanto do ponto de vista da aplicação do método em si quanto da sua inter-relação com outras ferramentas e processos da cadeia de fornecimento. Através do desenvolvimento de exemplo é possível perceber as particularidades e, principalmente, os benefícios desta metodologia de trabalho aplicada ao gerenciamento de qualidade dos fornecedores.

Esse trabalho propõe a utilização da metodologia de FMEA – ANÁLISE DO MODO E EFEITOS DE FALHA – para a identificação, análise do FMEA de Projetos, apresentando checklists para facilitar e ajudar na organização de um FMEA assim como na sua elaboração. Esta ferramenta vem sendo utilizada, desde os anos 60 em diversas indústrias (aeronáutica, automotiva, etc.) e atualmente faz parte da lista de documentos exigidos pela norma ISO/TS 16949:2002.

Palavras-chave: ISO TS 16949; FMEA – ANÁLISE DO MODO E EFEITOS DE FALHA; Severidade; Ocorrência; Detecção; Checklists.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Engate do Trinco .....	pág 20
Figura 3.2 – Planilha de Função .....	pág 21
Figura 6.1 – Formulário Padrão de FMEA (IQA, 2001) .....	pág 39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Importância Relativa das Funções .....	pág 21
Tabela 3.2 – Escala de Severidade (IQA, 2001) .....	pág 23
Tabela 3.3 – Escala de Ocorrência (IQA, 2001) .....	pág 25
Tabela 3.4 – Escala de Detecção (IQA, 2001) .....	pág 27
Tabela 3.5 – Escala de NPR (IQA, 2001) .....	pág 28
Tabela 4.1 – Checklist para início dos trabalhos de FMEA .....	pág 30
Tabela 4.2 – Conceituação e Objetivos dos Atributos no FMEA .....	pág 31
Tabela 4.3 – Situação dos Controles Atuais .....	pág 32
Tabela 4.4 – Recomendações para Redução de um Atributo .....	pág 32
Tabela 4.5 – Checklist de FMEA de Projetos .....	pág 34



## SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução .....	pág. 10
Capítulo 2 – Conceitos Básicos do FMEA .....	pág 15
Capítulo 3 – FMEA de Projeto .....	pág 18
Capítulo 4 – Estratégias no FMEA de Projeto .....	pág 30
Capítulo 5 – Conclusão e Considerações Finais .....	pág 36
Capítulo 6 – Referências Bibliográficas .....	pág 38
Anexo A – Exemplo de FMEA e seu Preenchimento .....	pág 39
Anexo B – Exemplo de FMEA (IQA, 2001) .....	pág 41

## 1. INTRODUÇÃO

A metodologia designada FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas), como é conhecida no meio industrial, é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas em potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas oriundas do projeto do produto ou do planejamento e execução do processo. É derivada da Teoria e de Engenharia da Confiabilidade, e tem por objetivo aumentar a confiabilidade dos produtos, ou seja, reduzir a taxa de falhas dos produtos. (TOLEDO, 2002)

Este é o objetivo básico desta técnica, ou seja, detectar falhas antes que se produza, ou distribua um produto. Pode-se dizer que, com sua utilização, se está diminuindo as chances do produto ou processo falhar, ou seja, estamos buscando aumentar sua confiabilidade. Esta dimensão da qualidade dos produtos, a confiabilidade, tem se tornado cada vez mais importante para os consumidores, pois, a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência técnica e totalmente coberta por termos de garantia, causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Além disso, cada vez mais são lançados produtos em que determinados tipos de falhas podem ter conseqüências drásticas para o consumidor, tais como aviões e equipamentos hospitalares nos quais o mau funcionamento pode significar até mesmo um risco de vida ao usuário.

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada também para diminuir as falhas de produtos e processos existentes e para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos. Mas tem sido crescente a sua incorporação e aplicação nos modelos dos processos de desenvolvimento de novos produtos, visando assegurar a confiabilidade do produto já durante as suas fases de desenvolvimento e projeto. Tem sido empregada também em aplicações específicas tais como análises de fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de alimentos, para assegurar que a segurança do alimento esteja em níveis aceitáveis de contaminações de ordem física, química ou microbiológica. (TOLEDO, 2002)

Após o início de sua aplicação, o FMEA deve transformar-se num documento

vivo que deverá ser atualizado e revisto sempre que necessário, uma vez que ao longo do tempo mudam os critérios de percepção e avaliação da qualidade pelos clientes, mudam os fornecedores de componentes e insumos, mudam as aplicações e usos do produto e aprende-se, por meio de dados da área de Assistência Técnica, sobre novas falhas que anteriormente não eram conhecidas e previstas. Isto confere a este método um grande dinamismo, e utilidades nas mais diversas áreas empresariais. (ROZENFELD ET AL., 2005)

Atualmente, por exemplo, o FMEA faz parte da lista de documentos exigidos pela norma ISO/TS 16949:2002.

A ISO/TS 16949:2002 é uma norma técnica e de gestão que combina os atuais requisitos mundiais da indústria automotiva (VDA 6.1 – Alemanha, QS-9000 – EUA, EAQF – França e AVSQ – Itália) para sistemas de Gestão da Qualidade. Esta norma foi elaborada com base na ISO 9001:2000, sendo cada elemento suplementado com requisitos específicos para a indústria automotiva e incluindo-se alguns anexos de orientação para implantação de ferramentas da qualidade, dentre elas o FMEA. (IQA, 2001)

A norma TS 16949 especifica o FMEA como uma das práticas e dos documentos necessários para um fornecedor submeter uma peça ou produto à aprovação da montadora, no caso do setor automobilístico. Este é um dos principais motivos pela ampla divulgação e difusão desta ferramenta, tendo em vista a visibilidade e poder de difusão de novos conhecimentos e métodos adotados pela indústria automobilística. Deve-se, no entanto, implantar o FMEA nas empresas, de diversos setores industriais, visando-se os seus resultados (melhoria da confiabilidade) e a aprendizagem obtida pelos grupos de aplicação, e não simplesmente para atender de forma burocrática a uma exigência da montadora ou de outro tipo de cliente.

O objetivo da ISO/TS 16949:2002 é definir os requisitos fundamentais de qualidade dos fornecedores, internos ou externos, de peças, serviços e materiais, proporcionando melhoramento contínuo e enfatizando a prevenção de defeitos, a redução de variações, diminuição de refugos e a conseqüente redução de custos. Portanto a ISO/TS 16949:2002 é direcionada para garantir a qualidade mais alta possível com o menor aumento de custos que não agregam valor ao produto, homogeneizando os requisitos específicos das indústrias automotivas e dividindo por toda a cadeia produtiva a responsabilidade sobre a documentação e garantia da qualidade dos produtos (intermediários e finais). Na uniformização proposta através da

TS-16949 foram editados manuais de referência para os fornecedores. (ISO TS 16949, 2002)

A TS-16949 possui três pontos importantes que se seguem:

- Seção 1 - Requisitos Comuns: é constituída do texto exato da ISO 9001 com requisitos adicionais da indústria automobilística e dos fabricantes de caminhões;
- Seção 2 - Requisitos Adicionais: inclui requisitos além do escopo da ISO-9000 e que são específicos do setor automotivo como, por exemplo, o PPAP (Production Part Approval Process - Processo de Aprovação de Produção de Peça);
- Seção 3 - Requisitos Específicos dos Clientes: contém requisitos únicos, de cada montadora, que continuam existindo num nível inferior de informações como, por exemplo, símbolos de itens de segurança ou peças críticas. O Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP): estabelece as etapas, procedimentos e documentação necessários, durante o desenvolvimento do produto, para assegurar a qualidade exigida pelo cliente.

A APQP tem relação direta com a garantia e o controle da qualidade do desenvolvimento de produtos, pois, orienta os passos necessários no planejamento de um novo produto, e também prevê a utilização da metodologia FMEA, para projeto e processo, durante o desenvolvimento e homologação do produto.

Este trabalho de monografia foi desenvolvido, baseando-se na norma ISO TS-16949 e nos Handbooks (ou Manuais) do APQP, PPAP e FMEA, difundidos pela IQA (2001).

O objetivo deste trabalho é demonstrar essa metodologia (seus princípios, passos, documentos, etc), assim como os métodos e estratégias para a eliminação de dúvidas de interpretação nas interpretações de FMEA de Projetos, apresentando pontos vitais para facilitar a compreensão das pessoas que fazem uso desta ferramenta, para total compreensão e viabilização de sua implementação, facilitando assim a comunicação entre o corpo técnico e administrativo da empresa.

Para isto, o trabalho apresenta os chamados “checklists”, que são os formulários que facilitam a organização e a rápida identificação das ações a serem efetuadas e concluídas, dentro da operação, na utilização da ferramenta FMEA.

A ferramenta FMEA foi desenvolvida no meio militar americano nos finais dos anos 40. O procedimento original, MIL-P-1629, intitulado "Procedimentos de Segurança, Análise de Modos de Falha, Efeitos e sua Criticidade" foi usado como meio para uma

avaliação técnica de segurança para determinar as falhas e efeitos dos sistemas, equipamentos, subsistemas e componentes. Por este procedimento, as falhas eram classificadas de acordo com o seu impacto no sucesso da missão e na segurança do pessoal/equipamento. (ANDERY, 2002)

Na década de 1960, a NASA passou a utilizar o FMEA juntamente com as demais indústrias aeroespaciais durante o programa APOLLO.

Na década de 1970, a indústria automobilística passou a utilizar este método, com bons resultados. Para garantir a qualidade de seus produtos a indústria automobilística desenvolveu normas para seus fornecedores como, por exemplo, os procedimentos: Chrysler's Supplier Quality Assurance Manual, Ford's Q-101 Quality System Standards e General Motors' NAO Target for Excellence. A existência de inúmeras normas gerava, para os fornecedores, esforços desnecessários para atender a todos esses requisitos, dadas algumas diferenças específicas. Por exemplo, muitas vezes, duas normas exigiam praticamente o mesmo documento, porém com diferente formatação. Em outros casos algumas empresas exigiam procedimentos extremamente burocráticos sendo que outras já utilizavam soluções mais eficientes e ágeis. (IQA, 2001)

Em 1988, durante a conferência da Divisão Automotiva da ASQC (American Society for Quality Control), atualmente ASQ, foi criada uma equipe de trabalho para discutir as preocupações dos fornecedores com relação à duplicação de esforços e de documentação necessária para satisfazer às exigências das três maiores companhias automotivas norte-americanas. Este grupo trabalhou na harmonização dos procedimentos de qualidade das chamadas Big Three (Chrysler, Ford e GM) e desenvolveu a norma QS-9000 como uma interpretação e adequação da ISO-9000 para o setor automotivo.

A QS 9000 evolui para a ISO TS-16949, que é uma especificação técnica que combina e une os atuais, modernos e principais requisitos mundiais da indústria automotiva possibilitando uma padronização mundial para o mercado globalizado.

Este trabalho foi desenvolvido dentro de uma empresa no setor metalúrgico e fornecedora para o setor automobilístico, e conta com as experiências vividas, pelo seu autor, dentro e fora da empresa. Todas as descrições contidas neste trabalho são fundamentais para a plena compreensão da importância de cada passo que se segue, na aplicação do FMEA, e principalmente para assimilar o valor que os “checklists” possuem nesta nova metodologia.

O desenvolvimento do trabalho se deu com apoio teórico (bibliografia) e prático (experiência na empresa e no setor automotivo), sendo utilizado material didático utilizado pela empresa, e usando as instalações, equipamentos e corpo técnico da própria empresa.

## 2. CONCEITOS BÁSICOS DO FMEA

Para compreender o FMEA deve-se então entender duas definições básicas, conforme IQA (ano) que se seguem:

- **Falha:** Falta de capacidade de um item em atender a sua função (funcionar). Perde a função principal (ou função secundária ou de estima).
- **Defeito:** Causa um grau elevado de insatisfação, pois refere-se a uma não-conformidade do produto em relação aos requisitos do cliente, normalmente está associado a um problema (ou deficiência) no projeto do produto.

O FMEA pode ser descrito como uma metodologia sistemática que deve ser aplicada por grupos multidisciplinares, para aumentar, com a agregação e sinergia dos conhecimentos das pessoas envolvidas, o grau de percepção, de análise e de solução das falhas e defeitos. (TOLEDO, 2002).

Os objetivos do grupo, na aplicação do FMEA são:

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

Além disso, no caso de novos produtos, é um complemento ao desenvolvimento do projeto do produto, pois auxilia na definição do que realmente é importante e deve ser feito para satisfazer o cliente. Também é uma ferramenta complementar na prática de melhoria contínua de produtos já existentes (já manufaturados pela empresa). (ROZENFELD, 2005).

Os principais objetivos do FMEA são:

- Identificar as possíveis falhas do produto e classificar seus efeitos.
- Identificar as Características Especiais (Significativas e Críticas).
- Classificar as possíveis deficiências de projeto e de processo.

- Auxiliar a focar na prevenção e na eliminação de problemas de produto e processo.

A prevenção é um dos benefícios do FMEA e um dos pontos mais importantes para o sucesso na implantação de um programa de FMEA é realizá-lo no momento adequado. Isto significa “agir antes do evento acontecer” e não como um exercício “pós-fato”. Para colher os resultados positivos da ferramenta, o FMEA deve ser desenvolvido antes que o Modo de Falha, de projeto ou de processo, seja incorporado ao produto. Um FMEA desenvolvido no momento apropriado fará com que os gastos com mudanças no produto e no processo sejam bem menores e as modificações sejam identificadas o mais cedo possível e sejam mais fáceis de serem implementadas. Um FMEA pode reduzir ou eliminar a chance de implementação de uma modificação corretiva (por exemplo: um *recall* de produto), que poderia criar até uma situação mais grave e de maior custo para a empresa. Aplicado corretamente, este deve ser um processo iterativo sem fim, gerando a melhoria contínua do produto, particularmente numa dimensão da qualidade: a confiabilidade.

Segundo Nogueira; Toledo (2000), a ferramenta FMEA deve ajudar também no desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos. O método é o mesmo, entretanto, a máquina ou o equipamento que está sendo desenvolvido deverá ser considerado como o produto. Quando Modos de Falhas em potencial são identificados, as ações corretivas devem ser trabalhadas para eliminá-los ou, continuamente, reduzir sua probabilidade de Ocorrência. Os benefícios gerais são:

- Melhorar a qualidade, a confiabilidade e segurança dos produtos.
- Melhorar a competitividade e a imagem da empresa.
- Ajudar a alcançar e superar as expectativas dos clientes.
- Reduzir o custo e o tempo de desenvolvimento dos produtos.
- Documentar e acompanhar as ações tomadas com o objetivo de reduzir riscos.

Diante destes pontos, o FMEA garante à empresa que:

- Um Projeto de FMEA bem executado irá assegurar, ou melhorar, a robustez do produto e do processo.
- Durante a fase de produção, um FMEA incompleto aumenta o risco do projeto e do produto da empresa não ser capaz de cumprir as especificações de fabricação.
- Uma vez que o projeto do produto, os processos de fabricação e de montagem mudam durante o desenvolvimento, o FMEA e sua documentação passam por



uma série de revisões. A documentação é dinâmica, portanto reflete as mudanças significativas no produto e no processo para a memória histórica da corporação, rastreabilidade e aprendizagem organizacional.

- A documentação do FMEA “fecha o círculo de resolução do problema” assegurando que o que poderia dar errado foi reconhecido e ações de prevenção foram tomadas.

Isto será garantido se a equipe de FMEA assegurar as seguintes responsabilidades e funções (IQA, 2001):

- A abordagem de trabalho em equipe multidisciplinar é recomendada na preparação do FMEA.
- O engenheiro responsável pelo Sistema, Produto ou Processo de fabricação/montagem, objeto de estudo de FMEA, coordena a equipe de FMEA.
- É esperado que o engenheiro responsável pelo produto ou processo envolva representantes de todas as atividades afetadas. Devem estar inclusos na equipe pessoas das áreas de projeto, fabricação, montagem, qualidade, confiabilidade, manutenção, serviços, compras, testes, fornecedores, clientes e outros especialistas, conforme a necessidade.
- Os membros da equipe variam com a etapa do desenvolvimento do sistema, processo e produto, mas pode existir um núcleo central da equipe que se mantém ao longo do tempo.
- Os fornecedores são responsáveis por projetos que eles próprios desenvolvem. A responsabilidade da Empresa é aprovar a precisão e o detalhamento dos estudos de FMEA dos fornecedores.

### **3. FMEA DE PROJETO**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo irá descrever o formato e o processo do FMEA de projeto, resumir os objetivos e o cronograma do FMEA de Projeto, resumir as entradas, e resultados do FMEA de Projeto, apresentar o formulário do FMEA de Projeto e seus respectivos campos, definir o modelo de trabalho do FMEA de Projeto, identificar a necessidade de uma função bem redigida e clara, definir os termos Causa e Causa Raiz e descrever em que condições a Causa Raiz deve ser identificada, definir Ações Recomendadas e ordem de prioridade para as ações no projeto, definir o Controle de Projeto e explicar seus benefícios, relacionar o modelo de trabalho ao formulário do FMEA de Projeto, definir os parâmetros de Severidade (ou Gravidade), Ocorrência e Detecção e orientar as classificações baseadas em tabelas adequadas e customizadas, determinar o Número de Prioridade de Risco (NPR) e explicar o significado dos símbolos utilizados para marcar e classificar as Características Especiais.

#### **3.2 OBJETIVOS E CRONOGRAMA**

Os objetivos do FMEA de Projeto são (TOLEDO, 2002):

- Ajudar a identificar Modos de Falhas potenciais de produto na fase de desenvolvimento.
- Aumentar a probabilidade de que todos os Modos de Falha potenciais e seus Efeitos na montagem do conjunto sejam considerados.
- Ajudar a identificar possíveis problemas relacionados a itens de segurança do projeto do produto para que possam ser resolvidos ainda nesta etapa.
- Estabelecer prioridades para ações de melhoria do projeto.
- Documentar o raciocínio por trás das mudanças de projeto, para direcionar o desenvolvimento de futuras alterações do produto.
- Prover informações para o planejamento de um programa de verificação do projeto do produto.
- Ajudar na avaliação dos requisitos e alternativas para o projeto.
- Ajudar a identificar Características Especiais em potencial.

O cronograma do FMEA de Projeto, conforme ROZENFELD (2005) deve:

- O FMEA de Projeto deve ser iniciado após as definições das funções do produto, porém antes da definição do “hardware”.
- A Atualização do FMEA de Projeto deve ocorrer durante a Decisão do Assunto.
- O FMEA de Projeto deve ser finalizado ao término do Desenvolvimento do Protótipo.

### 3.3 FMEA DE PROJETO: ENTRADAS, RESULTADOS E ASSOCIAÇÕES

As entradas no FMEA de Projeto são:

- Exigências dos Clientes, requisitos de Segurança e das Regulamentações Governamentais.
- Histórico do Sistema e/ou Modos de Falhas provenientes de FMEAs de sistemas similares.
- Lista de Funções do produto de acordo com o FMEA de Sistema ou Subistema.
- Modos de Falhas do produto identificadas.

O uso dessas entradas permite atingir os seguintes resultados:

- Ações Recomendadas ao Projeto em nível de Produto.
- Controles (ou testes) de Projeto necessários para detecção/avaliação de Modos de Falhas/Causas.
- Histórico para a incorporação dos Modos de Falha do Produto, além de informações sobre causas e efeitos para futuros estudos de produtos semelhantes.
- Causas potenciais traduzidas em Modos de Falhas e transferidas aos FMEAs de Subsistemas/Componentes.
- Modos de Falhas potenciais do Produto, traduzidos em Efeitos e transferidos aos FMEAs de Processo.

### 3.4 EXEMPLO DE FMEA DE PROJETO

O desenho abaixo (Figura 3.1) representa o engate do trinco de uma porta (desenho O está fora de escala) de veículo. Este dispositivo de travamento faz parte de um mecanismo automático de fechamento da porta lateral de uma Mini-Van.

No fechamento da porta, o trinco passa por sobre a haste até manter o engate desejado.

O trinco é preso à porta através do furo esquerdo. O furo direito é conectado a um mecanismo que levanta e abaixa o trinco.

O mecanismo pode ser ativado na porta do motorista, pela parte externa da fechadura da porta lateral, ou por um sistema associado ao alarme, junto à chave do carro.

Há um sensor posicionado próximo à haste do engate para ser ativado ao contato do trinco. Isto transmite um sinal indicando que a porta está completamente fechada e travada com o objetivo de desativar o motor responsável pela movimentação da porta. Caso o sinal não seja recebido durante um tempo determinado, o motor mesmo assim é desligado por um dispositivo de segurança.

A peça detalhada tem apenas o propósito didático e não representa nenhum sistema existente ou proposto.

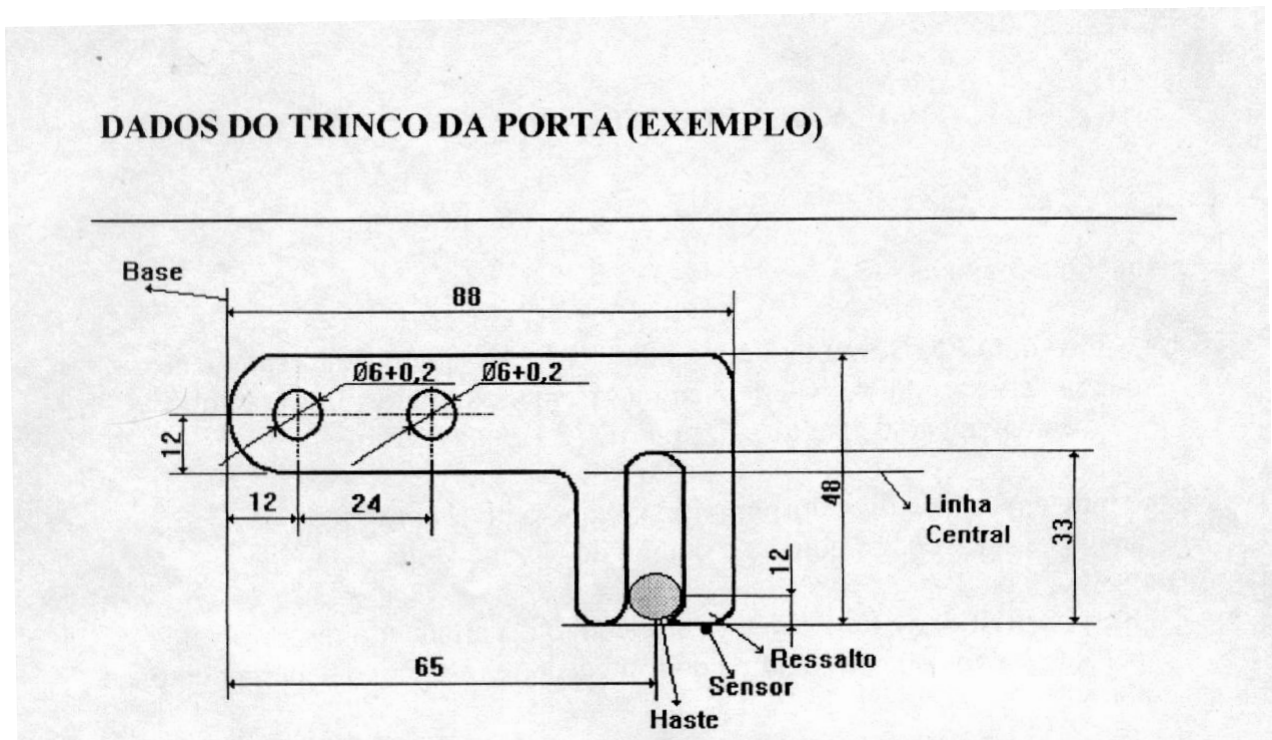


Figura 3.1 – Engate do Trinco

### 3.4.1 Características das Funções

Uma Função bem escrita deverá estar no formato verbo-substantivo, incluir Especificações de Engenharia e seus respectivos números e incluir condições de operação especiais mensuráveis, conforme a figura 3.2.

PLANILHA DA FUNÇÃO		
Número do Item:	Nome do Item:	
<b>FUNÇÃO</b>		
Listar todas as Funções	Especificações	
Descrição da Função:	<i>Quanto?</i>	
<i>Verbo-Substantivo</i>	<i>Quando?</i>	
1.	<i>Abrir a porta</i>	<i>30.000 vezes</i>
2.	<i>Abrir a porta</i>	<i>-45°C a 65°C</i>
3.		

Figura 3.2 – Planilha de Função

A Planilha de Função (Figura 3.2) deve ser preenchida de forma clara e objetiva e nela deve-se também constar todos os dados das funções seguindo as respectivas especificações e relevância de importância das funções (Tabela 3.1), como se segue:

Tabela 3.1 – Importância Relativa das Funções

FUNÇÕES	ESPECIFICAÇÕES	IMPORTÂNCIA
Encaixar-se na haste	Distancia de 12,00mm do ressalto (conforme desenho)	1
Permitir fixação à porta	Diâmetro de 6,00+-0,2mm localizado a 12mm da base e a 12mm da linha central do trinco	3
Ativar sensor de fechamento	Quando a distância entre a haste e o ressalto for equivalente a 12,00mm	5
Manter a porta travada	Em qualquer situação de movimento deve permanecer trancada.	2
Permitir encaixe do mecanismo que levanta e abaixa o trinco	Diâmetro de 6,00+-0,2mm localizado a 36mm da base e a 12mm da linha central do trinco	4

Portanto, deve-se iniciar com os Efeitos Potenciais de Falha, que são a descrição das conseqüências do modo de falha, isto é, o que o cliente sofre quando o modo de falha, definido no elemento anterior, ocorre.

Sempre que possível, ao descrever os efeitos resultantes de um modo de falha, a descrição deve refletir a experiência dos clientes através dos sentidos, isso minimizará o risco de subestimar a severidade do efeito. Deve-se lembrar que o cliente pode ser um cliente interno ou o cliente final (externo).

Essas experiências podem vir das áreas de Marketing ou da Assistência Técnica e talvez possam ser encontradas nos bancos de dados históricos de projetos semelhantes, já desenvolvidas pela empresa.

Geralmente os modos de falha apresentam uma cadeia de efeitos (ou causas e efeitos). Todos os efeitos devem ser escritos de forma seqüencial, desde a ocorrência da falha até o efeito final mais grave.

Para o Modo de Falha, deve-se atentar no que pode acontecer de errado, como:

- Função não Realizada
- Função Parcial
- Função Intermitente
- Função Degradada
- Função Exagerada

Se a função deste dispositivo é manter a porta fechada, ele pode assumir os seguintes Modos de Falha:

- Não mantém a porta travada
- Com o tempo deixa de manter a porta travada
- Mantém porta travada intermitentemente

Existem dois tipos de abordagem para o Modo de Falha: a funcional, como apresentada neste exemplo, e a física onde os Modos de Falhas são expressos em termos físicos como, por exemplo: fraturado, corroído, quebrado, oxidado e etc.

Diante disto, atenta-se para os Efeitos, organizando-os de acordo com:

- Pequena insatisfação do Cliente
- Insatisfação Significativa do Cliente/Performance do Veículo
- Não atendimento de Regulamentações governamentais/ Segurança do Veículo.

Os efeitos são classificados através da tabela de Severidade (Tabela 3.2). Prevalecerá a classificação maior entre todos os Efeitos resultantes de um Modo de

Falha. A severidade é normalmente medida em uma escala de 1 a 10. O número 1 indica que o efeito não é serio aos olhos do cliente ou que o cliente talvez nem perceba o efeito e o número 10 reflete os piores efeitos e conseqüências resultantes do modo de falha.

As definições correspondentes aos números na escala de severidade que aparecem na Tabela 3.2 servem como um guia para o desenvolvimento de uma escala específica à organização. Uma redução do índice de severidade somente ocorre com a revisão do projeto.

Tabela 3.2 – Escala de Severidade (IQA, 2001)

Efeito	Critério para severidade	Sev
Nenhum	Sem efeito perceptível.	1
Muito Menor	Falha no acabamento ou embalagem notada somente por clientes acurados (menos de 25%). Certamente o cliente não comentará com os amigos.	2
Menor	Falha no acabamento ou embalagem notada por parte dos clientes (em torno de 50%). Provavelmente o cliente não comentará com os amigos.	3
Muito Baixo	Falha no acabamento ou embalagem notada pela maioria dos clientes (mais de 75%). O cliente poderá comentar com os amigos.	4
Baixo	Produto ou item operável, mas com itens de conforto, conveniência ou comodidade com nível de desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação e comentará com os amigos.	5
Moderado	Produto ou item operável, mas com itens de conforto, conveniência ou comodidades inoperáveis. O cliente insatisfeito poderá contatar a central de serviços e comentará com os amigos.	6
Alto	Produto ou item operável, mas com nível de desempenho reduzido. O cliente insatisfeito com a necessidade de reparo.	7
Muito Alto	Produto ou item inoperável. O cliente insatisfeito com a necessidade de reparo.	8
Perigoso com Aviso Prévio	O grau de severidade é muito alto quando o efeito da falha, com aviso prévio, ocorre e afeta a segurança na operação do produto ou envolve o não cumprimento da legislação ou regulamentos governamentais.	9
Perigoso sem Aviso Prévio	O grau de severidade é muito alto quando o efeito da falha, sem aviso prévio, ocorre e afeta a segurança na operação do produto ou envolve o não cumprimento da legislação ou regulamentos governamentais.	10

Após a atribuição da Severidade em que prevemos o que pode dar errado, temos que prever quais os efeitos e as causas do descumprimento das funções que podem ser atribuídas ao produto/projeto.

As Causas Potenciais da Falha são as deficiências do projeto que podem resultar no modo de falha em questão e devem ser listadas de forma a permitir ações preventivas para cada uma delas.

Deve-se buscar e identificar todas as causas, independente da origem, que contribuem para o modo de falha. A origem das causas pode ser:

- O projeto;
- O fornecedor;
- O processo;
- O cliente;
- O ambiente;
- Qualquer local entre o projeto e o cliente.

Um mesmo modo de falha poderá ter causas distintas. Sendo assim, temos que presumir algumas suposições:

1. Assumir que a peça será fabricada/montada conforme especificações de Engenharia;
2. Assumir que o projeto da peça pode incluir uma deficiência que causa uma variação/dificuldade inaceitável no processo de fabricação ou de montagem.

Sendo assim, busca-se a Causa Raiz, que é a causa básica de um Modo de Falha, por outro lado, pode haver causas de primeiro grau que são aquelas analisadas imediatamente após a falha ser notada. Devemos determinar a Causa Raiz de uma falha quando uma das seguintes condições for verdadeira:

1. A classificação de Severidade for 9 ou 10;
2. A classificação da Severidade vezes a de Ocorrência for a maior deste estudo de FMEA;
3. A classificação do RPN for a maior deste FMEA.

Se for possível eliminar o Modo de Falha, então não é necessário chegar até a Causa Raiz.

Vamos admitir que o conjunto falhou (Modo de Falha – abordagem funcional) e notamos que um componente do conjunto estava quebrado (Modo de Falha – abordagem física). A causa de primeiro grau pode ser a má especificação do material do componente, sendo que a Causa Raiz pode ser a falta de atualização de documentos correspondentes à especificação do material em questão (Controle de Documentos).

Para facilitar a estimativa da ocorrência, podem ser feitas as seguintes perguntas:

- O componente é novo ou semelhante a outro existente?



- Qual a experiência com componentes ou sistemas similares?
- Quanto significativas são as modificações feitas?
- O componente é completamente diferente aos existentes?
- Quais são as modificações feitas em componentes similares?
- Qual é o histórico de peças semelhantes em campo?

A ocorrência é estimada através de uma escala de 1 a 10. O número 1 indica uma chance remota do modo de falha ocorrer e o número 10 reflete a ocorrência certa do modo de falha. Vários são os critérios de medição utilizados para definir a escala de ocorrência. As definições que aparecem na Tabela 3.3, servem como um guia para o desenvolvimento de uma escala específica à organização.

Uma redução no índice de ocorrência somente ocorre quando uma ou mais das causas do modo de falha são removidas ou controladas.

Tabela 3.3 – Escala de Ocorrência (IQA, 2001)

Ocorrência	Critério de aceitação	Oc
Extremamente Remota	Menos de 0,5 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	1
Remota	Entre 0,5 e 5 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	2
Mínima	Entre 5 e 50 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	3
Probabilidade Baixa	Entre 50 e 500 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	4
Baixa	Entre 500 e 5000 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	5
Moderada	Entre 5000 e 10000 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	6
Moderadamente Alta	Entre 10000 e 20000 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	7
Alta	Entre 20000 e 30000 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	8
Muito Alta	Entre 30000 e 40000 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	9
Extremamente Alta	Mais de 40000 defeitos por um milhão de produtos produzidos ou serviços executados.	10

Para a prevenção e detecção de cada modo de falha, utiliza-se de controles ao longo do processo, neste caso o processo de desenvolvimento de produto. Estes são estrategicamente posicionados no processo de desenvolvimento do projeto, a fim de detectar possíveis problemas que foram previstos pela equipe e impedir que estes evoluam para as fases subsequentes.

Existem dois tipos de controles do projeto a considerar:

- Prevenção – previne a ocorrência da causa ou do modo de falha, ou redução da frequência de ocorrência;
- Detecção – detecta a causa ou o modo de falha, tanto por métodos analíticos ou físicos.

Informações sobre os tipos de controles atualmente utilizados dentro da organização ajudam no preenchimento deste parâmetro no formulário FMEA. Exemplos de Controles de Projeto (métodos ou testes):

- Testes de rodagem;
- Revisões do projeto;
- Estudos matemáticos (exemplo: Elementos Finitos);
- Testes de laboratório;
- Simulações;
- Testes em protótipo, etc.

Os testes de especificação de engenharia ou inspeções, que fazem parte do processo de manufatura, não são aceitos como Controles de Projeto, pois eles são aplicáveis depois da peça ser liberada para a produção.

É necessário identificar os Controles de Projeto para aquelas combinações de Modo de Falhas/Causas que obtiveram as maiores classificações de Severidade e Ocorrência.

Os Controles Atuais são classificados através de tabelas que orientam a pontuação do grau de Detecção (vide Tabela 3.4).

Quando há mais de um Controle para uma mesma Causa ou Modo de Falha, prevalece o mais eficiente, ou seja, o de menor classificação de detecção.

Tabela 3.4 – Escala de Detecção (IQA, 2001)

Detecção	Probabilidade de Detecção	Det
Quase Certa	Possibilidade quase certa que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	1
Muito Alta	Possibilidade muito alta que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	2
Alta	Possibilidade alta que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	3
Moderadamente Alta	Possibilidade moderadamente alta que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	4
Moderada	Possibilidade moderada que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	5
Baixa	Possibilidade baixa que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	6
Muito Baixa	Possibilidade muito baixa que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	7
Remota	Possibilidade remota que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	8
Muito Remota	Possibilidade muito remota que o controle de projeto irá detectar a causa e subsequente o modo de falha.	9
Certeza Absoluta de não Detectar	Controle de projeto certamente não poderá detectar a causa e subsequente o modo de falha. Não existe controle de projeto.	10

A Detecção é entendida com uma estimativa da “probabilidade” de se detectar o modo de falha ou a causa, no ponto previsto e com a precisão e exatidão necessária, baseando-se nas formas de controle previstas.

Algumas perguntas ajudam na estimativa dos valores da pontuação sobre o grau de detecção:

- A verificação do modo de falha ou causa é barata?
- O modo de falha ou causa é óbvio?
- A verificação do modo de falha ou causa é fácil?
- A verificação do modo de falha ou causa é conveniente?

A detecção é estimada através de uma escala de 1 a 10. O número 1 sugere que esse modo de falha, ou suas causas, certamente serão detectados antes dos produtos chegarem ao cliente ou à operação seguinte, e o número 10 sugere que a forma mais

provável de a organização tomar conhecimento do problema ocorre somente a partir da reclamação do cliente.

Como ocorre em outras escalas, a escala de detecção que consta na Tabela 3.4 serve como um guia e deve ser ajustada a cada situação e tipo de negócio ou produto, a fim de se adequar a cada organização.

Para alcançar um índice de detecção menor, o planejamento do controle e revisões do projeto tem de ser melhorado.

Com posse das informações e suas respectivas correlações quantitativas, apuradas com apoio das tabelas de Severidade, Ocorrência e Detecção, devemos então calcular o Número de Prioridade do Risco (NPR) conforme a fórmula a seguir (IQA, 2001):

$$NPR = N_{severidade} * N_{ocorrência} * N_{detecção}$$

Onde:

- $NPR$  Número de prioridade do risco;
- $N_{severidade}$  Índice de severidade do modo de falha;
- $N_{ocorrência}$  Índice de ocorrência do modo de falha;
- $N_{detecção}$  Índice de detecção do modo de falha ou causa.

Dentro do escopo da FMEA este valor ficará entre 1 e 1000 e poderá ser usado para priorizar as deficiências do projeto e as ações de melhoria. Normalmente associa-se ao critério de priorização, para tomada de ação, as orientações que constam na Tabela 3.5:

Tabela 3.5 – Escala de N.P.R. (IQA, 2001)

N.P.R.	Critério de priorização para tomada de ação
Alto (acima de 100)	Prioridade zero. Item vulnerável e importante. Requer ações preventivas.
Médio (de 50 a 100)	Prioridade um. Item vulnerável. Requer ações preventivas ou corretivas.
Baixo (de 1 a 50)	Prioridade dois. Item pouco vulnerável. Podem ser tomadas ações preventivas ou corretivas.

O próximo passo é determinar as ações que devem ser tomadas para eliminar o que pode dar errado. Estas ações são recomendadas para prevenir os problemas

potências, reduzir a severidade ou a consequência (efeito) e aumentar a probabilidade de detecção desses problemas.

O objetivo primário das ações recomendadas é reduzir os riscos e aumentar a satisfação do cliente por meio do aperfeiçoamento do projeto. A prioridade é a eliminação do Modo de Falha.

As ações de melhoria devem ser primeiramente direcionadas aos casos de altas severidades (9 ou 10), mesmo sendo o NPR de prioridade menor, pois nesses casos o efeito do modo de falha pode colocar o usuário final em perigo, com consequências drásticas para a imagem da empresa e de sua marca. Este é o caso, por exemplo, dos itens e produtos sujeitos a rigorosas regulamentações governamentais e de segurança.

Todas as ações recomendadas devem ser implementadas e adequadamente abordadas. Deve-se atribuir adequadamente a responsabilidade a uma pessoa, equipe ou organização que executará a ação recomendada, no elemento anterior, dentro do prazo estabelecido pela equipe do projeto.

Deve-se também registrar os resultados das ações realizadas, com a data de sua efetivação e com os novos índices resultantes (severidade, ocorrência, detecção e novo nível de risco).

#### 4. ESTRATÉGIAS NO FMEA DE PROJETO

Este capítulo descreve como se deve utilizar os conceitos de Função, Efeito e Causas, e estabelecer sua relação com o formulário do FMEA de Projeto, facilitando a identificação de características especiais e seus controles especiais. Além de ligá-los aos Planos de Controle de Processo, e de estabelecer no mínimo duas suposições para as Causas dentro dos FMEAs de Projetos, e de também estabelecer a forma de aplicação dos controles atuais e determinar categorias de ações recomendadas. O capítulo também apresenta os problemas mais comuns que podem ocorrer na preparação e montagem de um FMEA de Projetos, os “Checklists” iniciais do FMEA e o apoio da técnica do “brainstorming” e do trabalho em equipe de forma efetiva.

A Tabela 4.1, apresenta o primeiro “Checklist” para o início dos trabalhos de FMEA:

Tabela 4.1 – Checklist para início dos trabalhos de FMEA.

<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>	<b>CHECKLIST INICIAL DE FMEA</b>
		A equipe foi montada com todos os envolvidos?
		A equipe foi avisada da data do encontro, local, hora, agenda e escopo?
		A equipe definiu um anotador?
		A equipe definiu um facilitador (caso necessário)?
		Os materiais de referência necessários estão em mãos?
		A equipe determinou as fronteiras (escopo) do sistema, subsistema, componente ou processo?
		O Diagrama de Blocos exigido no APQP já foi desenvolvido?
		A equipe revisou o Checklist de Projeto anterior?

Com a equipe formada, deve-se então repassar a idéia conceitual e objetiva do trabalho como se segue na Tabela 4.2, a qual resume de forma sucinta os objetivos e conceituações dos atributos da função com os efeitos e causas das falhas, direcionando aos resultados objetivos como ação recomendada:

Tabela 4.2 – Conceituações e Objetivos dos Atributos no FMEA de Projeto.

	<b>FUNÇÃO</b>	<b>EFEITO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>AÇÃO RECOMENDADA</b>
<b>FMEA DE PROJETO</b>	Defina o mais concisamente possível, a função do item que está sendo analisado para atingir o objetivo do projeto. Inclua informações relacionadas ao ambiente no qual o sistema opera (ex.: defina temperatura, pressão, variações de umidade). Se o item possui mais de uma função com diferentes modos potenciais de falha, liste todas as funções separadamente.	Efeitos Potenciais de Falhas são definidos como os efeitos do Modo de Falha da função, como são percebidos pelos clientes.	Causa Potencial de Falha é definida como um indicador da fragilidade do projeto, em consequência da qual ocorre o Modo de Falha.	Ações de mudança e melhoria de projeto, tomadas para reduzir as classificações de Severidade, Ocorrência, e/ou Detecção.

A equipe então deve identificar as características especiais do projeto ou produto e suas conseqüências, ou seja, como as variações das características afetam a segurança do produto, e entram em conflito, por exemplo, com requisitos do cliente e ou das Regulamentações Governamentais. Assim como também, aquelas características do produto que podem requerer controles especiais como, por exemplo, na fabricação, montagem, embarque, manuseio e etc, com o objetivo de reduzir a Ocorrência e/ou de melhorar a capacidade da Detecção de Modos de Falhas do produto.

A equipe que está aplicando o FMEA deve então apoiar-se na técnica do “brainstorming” para geração e análise de idéias, mas estas idéias devem seguir também a regra de atribuição de no mínimo duas suposições para o fato. Utilizando-se do exemplo do capítulo 3, apresenta-se uma forma de prosseguir:

- Suposição 1 – Assuma que a peça é manufaturada e montada dentro das especificações de engenharia, sendo assim as trincas na peça, podem ser causadas, por exemplo, pelo material mal especificado para a função.
- Suposição 2 – Assuma que o projeto da peça possa ter uma deficiência que cause variação inaceitável no processo de fabricação e de montagem, sendo assim, as trincas podem ser causadas, por exemplo, pela tolerância especificada

que não pode ser produzida regularmente dentro de limites aceitáveis.

Para isto deve-se verificar e analisar os controles atuais, como apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Situação dos Controles Atuais

	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>EXEMPLOS</b>
<b>FMEA DE PROJETO</b>	Método ou teste utilizado para: (1) Prevenir a ocorrência de Causa/Modo de Falha/Efeito ou reduzir sua frequência; (2) Detectar a Causa e direcionar para ações corretivas; (3) Detectar um Modo de Falha.	Controles de Projeto podem incluir revisões de projeto, estudos analíticos, modelagem através de programas computacionais, simulações e etc. Assim como testes derivados de, ou equivalentes a, testes de verificação de projetos.

Para agir-se com maior objetividade e assim adquirir também maior agilidade através da focalização de análise do FMEA, a Tabela 4.4 resume os resultados a serem obtidos quando as ações são tomadas em cada critério de Severidade, Ocorrência e Detecção..

Tabela 4.4 – Recomendação para Redução de um Atributo.

<b>PARA REDUZIR:</b>	<b>CONSIDERE A AÇÃO DE:</b>	<b>PARA QUE ISTO OCORRA TEMOS QUE:</b>
<b>SEVERIDADE</b>	Modificar o projeto. Ex.: Geometria, material	Eliminar Modos de Falha
<b>OCORRÊNCIA</b>	Modificar o projeto e melhorar especificações de engenharia. Ex.: geometria, material, tolerância	Prevenir Causas ou reduzir sua taxa de Ocorrência.
<b>DETECÇÃO</b>	Adicionar ou melhorar os métodos de Controle de Projeto. Ex.: Realizar a avaliação do projeto o mais cedo possível, aumentar o tamanho de amostra, ou protótipos.	Melhorar a capacidade na detecção de um Modo de Falha ou Causa.



Por outro lado, ainda deve-se atentar para problemas que podem ocorrer na realização de um FMEA:

- Funções do produto não definidas perfeitamente, ou funções não mensuráveis e com interfaces vagas;
- Não consideração de todas as categorias dos Modos de Falhas (Função Não Realizada, Função Parcial, Função Degradada, Função Exagerada);
- Interpretação incorreta do significado e da relação entre Modos de Falhas, Causas e Efeitos;
- Estratégia de classificação para a Severidade, Ocorrência e Detecção deficientemente definida;
- Perda do escopo da análise;
- Dificuldades em reunir e manter a equipe multifuncional coesa;
- Falta de clareza com relação aos objetivos e ao escopo;
- Tempo insuficiente para a conclusão dos trabalhos;
- Iniciar os trabalhos de FMEA em momento não apropriado.

Para garantir a aplicação de forma organizada, a Tabela 4.5 ajuda a checar se o FMEA foi realizado de modo completo.

Tabela 4.5 – Checklist do FMEA de Projetos

<b>Preliminaridades</b>	As funções da peça estão listadas? Foi formada uma equipe multifuncional? Há evidências de que as informações de suporte foram pesquisadas?
<b>Informações Cabeçalho</b>	Todas as informações do cabeçalho foram preenchidas?
<b>Propósito/Função</b>	O objetivo ou propósito do projeto está claro? As funções estão descritas num formato claro (verbo-substantivo)?
<b>Modos de Falhas</b>	Os Modos de Falha estão relacionados às funções da peça?
<b>Efeitos de Falhas</b>	Os Efeitos na Segurança do Equipamento e nas Regulamentações Governamentais foram considerados? Os Efeitos na peça, na montagem, no sistema e no cliente foram considerados?
<b>Causas de Falhas</b>	As Causas Raízes foram identificadas? Foi levado em consideração que as deficiências de projeto podem resultar na variação de fabricação/manufatura? As Causas foram descritas em termos de características da peça, onde for apropriado?
<b>Controles Atuais</b>	Os Controles de Projeto listados podem detectar as Causas ou os Modos de Falhas antes da liberação da engenharia?
<b>Classificação de Severidade</b>	As classificações foram baseadas no mais grave Efeito do Modo de Falha?
<b>Classificação de Ocorrência</b>	As classificações foram baseadas na Ocorrência de Causas de primeiro grau?
<b>Classificação de Detecção</b>	As classificações foram baseadas na probabilidade da detecção do Modo de Falha antes da liberação da engenharia?
<b>Classificação</b>	Características críticas correspondem a uma característica da peça? Características críticas foram comunicadas à equipe do FMEA de Processo?
<b>Número de Prioridade de Risco (NPR)</b>	Os Números de Prioridade de Risco (NPRs) foram ordenados do maior para o menor?
<b>Ações Recomendadas</b>	As ações estão direcionadas às Características Críticas potenciais? Foram listadas ações corretivas que reduzem o RPN dos Modos de Falha de maior pontuação? Foram listados as responsabilidades e cronograma para as Ações Recomendadas? Onde apropriado estão listadas ações preventivas ao invés de corretivas? Há ações destinadas a fazer com que o projeto seja mais robusto? As ações listadas são ações de projeto e não de controles de fabricação e montagem?
<b>Acompanhamento</b>	O FMEA foi atualizado (e foram calculados os novos valores associados ao risco) depois que as Ações Recomendadas foram implementadas?

Outros aspectos a serem considerados para a eficácia do trabalho em equipe, durante a aplicação do FMEA, são (IQA, 2001):

- Determinar os papéis de cada integrante da equipe;
- Deixar clara a logística das reuniões: hora, dia, local e duração;
- Estabelecer regras de trabalho para a equipe, considerando os fatores de como se dirigir as reuniões e como se discordar de idéias e exposições;
- Estabelecer o escopo do FMEA;
- Estabelecer os objetivos do FMEA e das reuniões;
- Estabelecer agendas das reuniões e divulgá-las a todos.

Quando se utilizar da técnica de “brainstorming” deve-se atentar para:

- Definir a questão ou tópicos para o quais se aplicará a técnica;
- Esforçar-se mais em função da quantidade de idéias do que em função da qualidade das mesmas;
- Não avaliar nem atacar idéias e exposições alheias;
- “Pular a vez” é uma frase aceitável, “Pegar o gancho” nas respostas anteriores é recomendável;
- Continuar tentando obter mais uma resposta até que o tópico esteja esgotado.

As quatro características mais importantes para a obtenção da eficácia da equipe são:

1. Determinar objetivos efetivos:
  - Específicos para um período de tempo determinado mensurável;
  - Consenso de todos os membros da equipe dentro da área de atuação de equipe.
2. Comportamentos afetivos aceitáveis:
  - Criar um clima de muita intimidade pode prejudicar a equipe.
3. Papéis efetivos:
  - Equipes eficazes procuram equilibrar os papéis desempenhados. Muitos papéis podem ser desempenhados nas equipes, mas todos podem ser categorizados como: Papéis Orientados às Tarefas, Papéis Orientados à Manutenção da Equipe e Papéis Individuais.
4. Comunicação afetiva.
  - Não devem existir comportamentos anti-éticos, clima ofensivo e antipatia entre membros da equipe.

## 5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O FMEA é uma abordagem sistemática que aplica um método baseado em formulários, que sintetizam a seqüência de raciocínio lógico, e tabelas para identificar potenciais Modos de Falhas e seus Efeitos, a fim de melhorar a confiabilidade do produto. Assim com a utilização dos “checklists” apresentados no Capítulo 4 deste trabalho e das demais estratégias desta metodologia, concluiu-se que:

- A primeira preocupação com a Ação Recomendada é sempre Eliminar Modos de Falhas.
- É recomendado o trabalho em equipe para os trabalhos do FMEA.
- Os “checklists” do FMEA, apresentados no capítulo 4, auxiliam na criação de uma aplicação de FMEA completa e bem elaborada.
- As ferramentas utilizadas para a elaboração dos FMEAs incluem no modelo de trabalho: Diagrama de Bloco Funcional do Sistema, o “checklist” de início dos trabalhos da equipe e o “checklist” dos trabalhos recomendados.
- É importante que a equipe determine um escopo apropriado para o FMEA. Se for muito abrangente, o FMEA pode acabar confundindo ou consumindo muito tempo para compreensão, definição e consenso sobre o foco de atuação. A falta de um escopo é um dos principais inibidores do sucesso da equipe. O escopo deve ser estruturado graficamente, testando a inclusão ou exclusão dos itens em consideração.
- Identificar os principais elementos do Sistema (produto) de forma organizada, a fim de conectar as informações apropriadamente, com setas, indicando como os elementos se interagem e onde ocorrem as interfaces. Desenhar uma caixa com linhas tracejadas ao redor dos componentes do Sistema considerado, para indicar os limites.

A forma de trabalho apresentada e efetuada conforme sugerido nesta monografia permite a proposição de que estes “checklists” podem ser utilizados para simplificar o processo de raciocínio para o desenvolvimento de um FMEA, auxiliando os usuários e facilitando o reconhecimento do problema em questão, principalmente, munindo-os de controle sobre o desenvolvimento do FMEA. Evitam-se os problemas passados de erros que persistiam em reaparecer ou mesmo a permanecerem devido a etapas mal

executadas, ou seja, permite a aprendizagem a partir de experiências passadas. Com a utilização destes “checklists” aumenta-se a probabilidade de sucesso, principalmente pela compreensão geral de todos dentro da empresa, sobre os propósitos, a relevância e o método de trabalho, sejam do corpo técnico ou gerencial, o que facilita sua implementação, agilizando também a sua validação e reconhecimento na empresa e o alcance de seus resultados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGAMO FILHO, V. **Confiabilidade básica e prática**. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 108 p., 1997.

CLAUSING, D. (1994). **Better decisions. In: Total quality development: a step-by-step guide to world class concurrent engineering**. 2.ed., Nova Iorque, The American Society of Mechanical Engineers. Cap. 3, p.60-73. (t:322). (Disponível na biblioteca da EESC - USP).

CLAUSING, D. (1994). **The design. In: Total quality development: a step-by-step guide to world class concurrent engineering**. 2. ed., Nova Iorque, The American Society of Mechanical Engineers. Cap. 5, p.175-273. (t:322). (Disponível na biblioteca da EESC - USP).

HELMAN, H. e ANDERY, P.R.P. **Análise de falhas - aplicação dos métodos FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 145 p, 1995.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial FMEA**: Manual de Referência. 3ª Edição. São Paulo: [s.n.], 2003.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA **Análise dos Sistemas de Medição MSA**: Manual de Referência. 3ª Edição. São Paulo: [s.n.], 2006.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA **Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle APQP**: Manual de Referência. 1ª Edição. São Paulo: [s.n.], 1997.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA **Processo de Aprovação de Peça de Produção PPAP**: Manual de Referência. 4ª Edição. São Paulo: [s.n.], 2006.

NOGUEIRA, M.A. **FMEA: Implantação e resultados na manutenção preventiva em máquinas de abatedouro de frango**. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção. (Universidade Federal de São Carlos), 155p. 1998.

OLIVEIRA, C. B. M.; Rozenfeld, H. (1997). **Desenvolvimento de um Capítulo de FMEA num sistema comercial de CAPP**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,17., Gramado, 1997. Anais. Porto Alegre, UFRGS. (t :662).

PALADY, Paul. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes que Ocorram**. 3ª Edição. São Paulo: Instituto IMAM, 2004.

TOLEDO, J.C. **Metodologias para Análise e Melhoria da Qualidade**. Apostila, GEPEQ/DEP/UFSCar. São Carlos, 70 p., 2002.

TOLEDO, J. C. e NOGUEIRA, M. A. . **Uma abordagem para o uso do FMEA**. Revista Banas Qualidade, São Paulo, nov., p. 62-66, 1999.

## ANEXO A – EXEMPLO DE FMEA E SEU PREENCHIMENTO

Constituída basicamente por uma única tabela, o roteiro para seu desenvolvimento pode ser conhecido pela observação direta do formulário utilizado para seu registro.

Há vários formatos e versões de formulário no mercado, nesse trabalho foi destacado o formulário padrão proposto pelo IQA – INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA.

### ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA

Item: _____	Responsável pelo Projeto: _____	FMEA Número: _____
_____	Equipe: _____	Pág.: ____ de ____
_____	_____	Preparado por: _____
		Data Inicial: _____
		Data Revisão: _____

Item Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	S e v e r.	Causa(s) Potencial(is) da Falha	O c o r r.	Controles Atuais		D e t e c.	N. P. R.	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultados da Ação							
						Prevenção	Detecção					Ações Tomadas	S e v.	O c o.	D e t.	N. P. R.			

Figura 6.1 – Formulário Padrão de FMEA (IQA, 2001).

Para facilitar o entendimento da metodologia de FMEA e a sua execução, cada elemento do formulário será detalhado nos próximos tópicos. Um modelo de FMEA é apresentado no Anexo B.

### Cabeçalho – Descrição

Como mencionado anteriormente, o FMEA é um diário e pode ser desenvolvido para todos os projetos, processos ou serviços, por isso é importante o cabeçalho.

Segundo o formulário padrão de FMEA (IQA, 2001) o cabeçalho deve conter as seguintes informações:

- Item – são todas as informações necessárias para identificar e monitorar o assunto da FMEA. É importante que a descrição dessas informações esteja de acordo com o sistema utilizado pela organização.
- Responsável pelo Projeto – é o Gerente de Projeto, fabricante ou fornecedor dos produtos ou serviços, quando estes são adquiridos de terceiros.
- Equipe – são os membros da equipe do projeto que tem autoridade para identificar e realizar tarefas para a solução de problemas futuros.
- Número – é o número da FMEA. O seu objetivo é facilitar a rastreabilidade do documento.
- Responsável pela FMEA – é a pessoa responsável pela elaboração e revisão da FMEA.
- Data – São as datas iniciais do FMEA e da sua última revisão.



