

Capítulo 5¹

FMEA – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o FMEA, tendo como tópicos as definições, descrição da equipe responsável pelo desenvolvimento, procedimentos (etapas), as aplicações (projetos, processos, serviços), relacionamentos com outros FMEAs, quando executar e o respectivo formulário. Apresenta-se também a definição de Análise do Modo de falha, Efeitos e Criticalidade (FMECA) e seus relacionamentos com o FMEA.

4.2 Histórico

Não há se sabe a data em que surgiu o FMEA. Em alguns trabalhos não é possível saber se a data é referente ao FMEA ou ao FMECA. Por exemplo, analisando o texto a seguir:

“O FMEA teve sua origem nos Estados Unidos no dia 9 de novembro de 1949, como um padrão para as operações militares - *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (Military Procedure MIL-P-1629)*. Esta norma foi utilizada como uma técnica de avaliação da confiabilidade para determinar os efeitos nos sistemas e falhas em equipamentos. As falhas foram classificadas de acordo com seus impactos nos sucessos das missões e com a segurança pessoal/equipamento” (www.fmeca.com, 2000). A norma MIL-P-1629 executa a análise de criticalidade em seu procedimento, logo, não deveria ser FMEA, e sim FMECA.

O FMECA, atualmente, é denominado de *Military Standard MIL-STD-1629A* e teve o seu início na indústria automobilística nos anos 70. Em 1988, a Organização Internacional de Padronização (*International Organization of Standardization*) lançou a série ISO 9000, dando um impulso às organizações para desenvolverem um Sistema de Gerenciamento de Qualidade formalizado e direcionado às necessidades, desejos e expectativas dos clientes. A QS 9000 é um

¹ **SAKURADA, Eduardo Yuji.** As técnicas de Análise do Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos. **Florianópolis: Eng. Mecânica/UFSC, (Dissertação de mestrado), 2001.**

padrão da indústria automotiva análogo à ISO 9000. As empresas *Chrysler Corporation*, *Ford Motor Company* e *General Motors Corporation* desenvolveram a QS 9000 em um esforço para padronizar o sistema de qualidade fornecedor.

De acordo com a QS 9000, os fornecedores de automóveis devem utilizar o Planejamento de Qualidade de Produto Avançado (*Advanced Product Quality Planning – APQP*), incluindo FMEAs de projeto e de processo, e desenvolver um Plano de Controle. Atualmente um novo padrão está sendo desenvolvido pela SAE (*Society Automotive Engineering*) junto com as empresas: *General Motors Corporation*, *Ford Motor Company* e a *Chrysler Corporation* (www.fmeca.com, 2000).

4.3 Áreas de utilização do FMEA atualmente

O FMEA tem sido utilizado nas mais diversas áreas:

- Equipamentos de semicondutores (VILLACOURT, 1992);
- Sistemas hidráulicos e pneumáticos (LATINO, 1996), (BULL *et al*, 1995);
- Circuitos elétricos (PRICE, 1996);
- Desenvolvimento de reator termonuclear (PINNA *et al*, 1998).
- Indústrias siderúrgicas (CASTRO, 2000);

O FMEA é freqüentemente utilizado com a Análise da Árvore de Falhas (FTA), mas pode ser usado com outras ferramentas, por exemplo, com o QFD (Quality Function Deployment) (SOUZA, 2000), FCM (Mapas Cognitivos *Fuzzy*) (PELÁEZ, 1996).

Segundo HAWKINS e WOOLLONS (1998) uma das maiores críticas a respeito do uso do FMEA é o tempo consumido. Esse problema tem sido amenizado com o uso dos FMEAs automatizados.

O desenvolvimento dos computadores, das linguagens e das interfaces para programação, tem favorecido o desenvolvimento de FMEAs automatizados e vários autores (BULL *et al*, 1995; PRICE, 1996; PELÁEZ, 1996; RAIMOND *et al*, 1997) iniciaram o desenvolvimento de *softwares* para auxiliar nas atividades como: o preenchimento dos formulários, gerenciamento das reuniões e o cadastro das falhas. HUANG *et al* (1999) apresenta um protótipo de FMEA automatizado com suporte para *Internet*, isto é, os participantes de uma reunião poderiam estar em diversas partes do mundo executando o mesmo FMEA.

4.4 Definições

A Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994), adota a sigla originária do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e a traduz como sendo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Observa-se que a norma utiliza o termo pane para expressar falha. Ainda segundo a norma, o FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto. NBR 5462 (1994)

A *Military Standard* (MIL-STD 1629A) (1980), identifica como sendo um procedimento pelo qual cada modo de falha potencial em um sistema é analisado para determinar os resultados ou efeitos no sistema e para classificar cada modo de falha potencial de acordo com a sua severidade.

FMEA é uma técnica analítica utilizada por um engenheiro/time como uma maneira de garantir que, até a extensão possível, os modos potenciais de falha e suas causas/mecanismos associados tenham sido considerados e localizados. Na sua forma mais rigorosa, o FMEA é um sumário do conhecimento do engenheiro/time (incluindo uma análise de itens que poderiam falhar baseado na experiência e em assuntos passados) de como um produto ou processo é desenvolvido. Esta abordagem sistemática confronta e formaliza a disciplina mental que um engenheiro passa em qualquer processo de planejamento de manufatura (*Ford Motor Company*, 1997).

Um dos requisitos para a utilização da ferramenta é que se tenha total conhecimento do que é modo de falha e efeitos. Portanto, para iniciar o estudo foi feito o uso do dicionário MICHAELIS (2000), sendo consultado os seguintes termos: MODO, FALHA e EFEITO.

- MODO é a “Forma ou maneira de ser ou manifestar-se uma coisa”; “Maneira ou forma particular de fazer as coisas, ou de falar”; “Maneira de conseguir as coisas; meio, via”.
- FALHA: “Defeito”, “Desarranjo, enguiço” ou “ato ou efeito de falhar”, sendo que FALHAR está descrito como “Não dar o resultado desejado, não ser como se esperava”.

Desta forma, pode-se então começar a definir MODO DE FALHA como sendo: “a forma do defeito”, “maneira na qual o defeito se apresenta”, “maneira com que o item falha ou deixa de apresentar o resultado desejado ou esperado”, “é um estado anormal de trabalho, a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece as especificações”.

O modo de falha é uma propriedade inerente a cada item, visto que cada item tem suas características particulares como função, ambiente de trabalho, materiais, fabricação e qualidade. Por exemplo, para um eixo pode-se ter como modo de falha, ruptura, empenamento, desgaste e, para um filtro pode-se ter, rompido, entupido e assim por diante.

Existem duas abordagens para levantar os modos de falha: Funcional e Estrutural.

A abordagem funcional (Quadro 4.1) é genérica, não necessita de especificações de projeto ou de engenharia. Pode ser tratada como uma não-função. Por exemplo:

Quadro 4.1 – Modo de falha com a abordagem funcional.

Componente	Função	Modo de falha
Eixo	Transmitir movimento, torque.	Não transmite movimento, não transmite torque.

A abordagem estrutural necessita de informações de engenharia as quais muitas vezes não estão facilmente disponíveis. Tanto na abordagem funcional como na abordagem estrutural é muito importante que se tenha, bem definida, a função do componente, pois é a referência para se verificar quando o item está em falha ou não. O Quadro 4.2 apresenta os modos de falha para um eixo adotando a abordagem estrutural.

Quadro 4.2 – Modo de falha com a abordagem estrutural.

Componente	Função	Modo de falha
Eixo	Transmitir movimento, torque.	Ruptura, empenamento, desgaste...

- EFEITO: “Resultado produzido por uma ação ou um agente, denominados causa em relação a esse resultado”, “conseqüência, resultado”, “fim, destino” (MICHAELIS, 2000).

Pode se dizer que os EFEITOS do modo de falha são os resultados produzidos quando estes vêm a ocorrer, são as conseqüências do modo de falha. Em outras palavras, o efeito é a forma ou maneira de como o modo de falha se manifesta ou como é percebido em nível de sistema. O modo de falha ocorre internamente, em nível de componentes, subsistemas, gerando efeitos externos, Figura 4.1.

Na identificação dos efeitos, deve-se perguntar: O que pode acontecer com o desenvolvimento deste modo de falha? O que isto causa no sistema? O que o cliente vê? Quais os danos que isso pode causar ao ambiente?

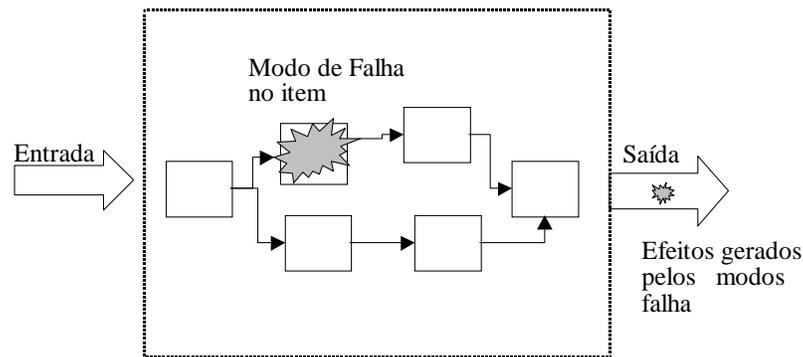


Figura 4.1 – Indicativo de que o Modo de falha é uma ação interna e efeito uma ação externa

- CAUSA: “Aquilo que determina a existência de uma coisa”; “O que determina um acontecimento”; “agente, motivo, razão”; “origem, princípio” (MICHAELIS, 2000).

As causas do modo de falha são os motivos que levaram o modo de falha a ocorrer, podem estar nos componentes da vizinhança, fatores ambientais, erros humanos, ou no próprio componente.

Em resumo, vale ressaltar, embora as definições sejam simples, nem todas as falhas poderão se ajustar a estas definições, podendo gerar muitas discussões em uma reunião de FMEA. Deve-se ter em mente que, um modo de falha é uma anomalia que ocorre em nível de componente e um efeito ocorre em nível de sistema. Esta anomalia deve ser caracterizada em termos de função ou especificações de projeto, processo ou uso.

Uma maior discussão pode ocorrer entre modo de falha e causa do modo de falha. Os membros da equipe devem ter consciência de que o importante é que a falha seja considerada na análise, para que posteriormente sejam tomadas as medidas necessárias para sua eliminação. Este problema voltará a ser discutido no estudo de caso realizado na bomba de engrenagens, que será discutido no capítulo 5.

4.5 O que é o FMEA

O FMEA é um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projetos e processos e os respectivos efeitos gerados por esses modos de falha. O modo de falha é a expressão utilizada para caracterizar o processo e o mecanismo de falha que ocorre nos itens. O efeito é maneira como o modo de falha se manifesta. Cada item pode ter diferentes modos de falha. Um determinado modo de falha vai se tornar mais ou menos evidente, dependendo da função que o item está desempenhando naquele caso específico. O efeito, por sua vez, segue a mesma sistemática.

A relação entre modo de falha e efeito, se bem controlada, pode tornar-se uma ajuda muito grande para a análise da confiabilidade e também para os processos de manutenção a serem adotados. A dificuldade é grande neste relacionamento dado que diferentes modos de falha podem se manifestar da mesma maneira, ou seja, apresentam o mesmo efeito. Essa complexidade torna-se ainda mais evidente quando da associação de um item a outro.

Por exemplo, um eixo enquanto um elemento de máquina isolado pode ter modos de falha do tipo: fratura abrupta, fratura por fadiga, empenamento. Se associado ao mancal, e o eixo estiver girando, pode-se considerar, ainda, os modos de falha: eixo trancado e eixo desalinhado. Tanto o modo de falha “empenamento” quanto eixo desalinhado tem como efeito, quando o eixo gira, a vibração. Esse efeito pode ser produzido também por problemas específicos dos mancais que suportam o eixo ou por outros componentes que estão montados no eixo.

Outro aspecto importante a ser abordado na análise do FMEA é a causa geradora do modo de falha. Embora muitos modos de falha sejam inerentes ao item em análise, o estudo das causas permite aprofundar a relação entre o item e a função e gerar procedimentos mais consistentes para aproveitar bem os efeitos, nas suas primeiras manifestações, no sentido de tomar as providências requeridas antecipando-se à perda da função devido à ocorrência do modo de falha.

Com base nas análises feitas sobre os modos de falha e seus efeitos, são tomadas ações que posteriormente sofrerão uma reavaliação e documentação. O material gerado pelo FMEA tem como função servir como uma ferramenta para prognóstico de falhas e auxiliar o desenvolvimento/análise de projeto de produtos, processos ou serviços.

O FMEA, por ser um registro, pode evitar que problemas passados venham a ocorrer novamente buscando a melhoria contínua, sendo um documento vivo, atualizado e representa as últimas mudanças realizadas do produto.

O conhecimento dos modos de falha dos itens, em qualquer fase do ciclo de vida do produto, permite tomar as providências aos técnicos, na fase do ciclo de vida que se está analisando, para evitar a manifestação daquele modo de falha. Assim, portanto auxilia nos aspectos da manutenibilidade e da confiabilidade. O material gerado pode também servir em programas de capacitação, proporcionando um melhor entendimento dos componentes e do sistema. Com isso, tem-se um maior conhecimento a respeito das falhas facilitando a escolha do tipo de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva), garantindo maior disponibilidade² do equipamento.

4.6 O que é o FMECA

A sigla FMECA tem origem da seguinte expressão em inglês *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis* e é ser traduzida como Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticalidade.

Muitos autores, KUME [1996], PALADY (1997), STAMATIS (1995), VILLACOURT (1992), propõem discutir a respeito do FMEA, mas na verdade se referem ao FMECA. MOHR (1994) apresenta a diferença entre FMEA e FMECA da seguinte maneira:

$$\text{FMECA} = \text{FMEA} + \text{C} \quad (4.1)$$

onde,

$$\text{C} = \text{Criticalidade} = (\text{Ocorrência}) \times (\text{Severidade}) \quad (4.2)$$

O índice Ocorrência é usado para avaliar as chances (probabilidade) da falha ocorrer, enquanto que a Severidade avalia o impacto dos efeitos da falha, a gravidade dos efeitos.

Todos os autores relacionam a severidade aos efeitos dos modos de falha. No entanto, a Ocorrência é relacionada, dependendo do autor, ao modo de falha ou às causas do modo de falha.

Existe ainda uma outra métrica do FMECA, que se chama índice de detecção das falhas, Figura 4.2. Este também é relacionado aos modos de falha ou às causas do modo de falha.

Em muitos trabalhos, não fica claro se estamos relacionando os índices ao modo de falha ou às causas do modo de falha, sendo encontrado frequentemente questões como:

² Disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (Dias, 1997).

- Quais são as chances da falha ocorrer?
- Quais são as chances de se detectar a falha antes que ela alcance o cliente?

Afinal, as duas questões referem-se ao modo de falha ou às causas da falha? Esta questão foi observada por PALADY (1997) e este afirma que, independente da abordagem, os resultados obtidos são os mesmos. As duas abordagens estão ilustradas na Figura 4.2.

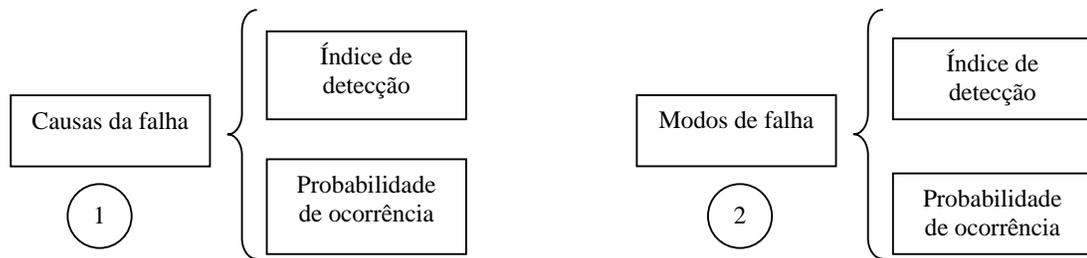


Figura 4.2 – (1) Índices baseados nas causas. (2) Índices baseados nos modos de falha.

No FMECA é calculado o Número de Prioridade de Risco (NPR) sendo que em algumas abordagens o valor é atribuído ao modo de falha e em outras a cada causa do modo de falha. A expressão (4.3) é bastante similar à expressão para o cálculo da criticalidade (4.2), diferenciando apenas pela parcela de detecção.

$$\text{NPR} = \text{Ocorrência} \times \text{Severidade} \times \text{Detecção} \quad (4.3)$$

Detecção é um valor que mostra a eficiência dos controles de detecção da falha (modo de falha ou causa do modo de falha). Quanto maior for o valor atribuído ao índice de detecção significa que maior será a dificuldade de detectar a falha.

A seguir são apresentados exemplos de tabelas utilizadas para estimar os índices de severidade, ocorrência e detecção.

Quadro 4.3 – Probabilidade de ocorrência (BEM-DAYA e RAOUF, 1996)

Probabilidade de ocorrência	Chances de ocorrência	Escore
Remota	0	1
Baixa	1/20,000	2
	1/10,000	3
Moderada	1/2,000	4
	1/1,000	5
	1/200	6
Alta	1/100	7
	1/20	8
Muito alta	1/10	9
	1/2	10

Quadro 4.4 – Severidade dos efeitos (BEM-DAYA e RAOUF, 1996)

Severidade	Escore
O cliente provavelmente não tomará conhecimento	1
Leve aborrecimento	2 - 3
Insatisfação do cliente	4 - 6
Alto grau de insatisfação	7 - 8
Atinge as normas de segurança	9 - 10

Quadro 4.5 – Índice de detecção das falhas (BEM-DAYA E RAOUF, 1996)

Probabilidade de não detectar a falha	Probabilidade (%) de um defeito individual alcançar o cliente	Escore
Remota	0 - 5	1
Baixa	6 - 15	2
	16 - 25	3
Moderada	26 - 35	4
	36 - 45	5
	46 - 55	6
Alta	56 - 65	7
	66 - 75	8
Muito alta	76 - 85	9
	86 - 100	10

Sistema: Mecanismo distribuidor de mudas		Participantes: Wanilson M. Carrafa Eduardo Y. Sakurada Acires Dias				Página: 1 de 1 Data original: 05/09/00 Data de revisão: 09/11/00							
1		2		3									
Componente	Função	Modo potencial de falha	Efeitos potenciais de falha	S e v	Causas potenciais / Mecanismos de falha	O c u r	Controles atuais	D e t e c t e	Ações recomendadas	Responsabilidade & data de conclusão limite	Resultado das Ações		
											Ações Tomadas	S O I D N e c e P v c t R	
1 – Alojador de mudas	– Alojjar a muda	Quebrado	Impede a colheita da muda		Material muito frágil, cargas dinâmicas		Testes, revisões de projeto.		– Utilizar um alojador mais resistente – Utilizar uma braçadeira – Incluir uma placa de polímero na mesa.	Wanilson	Incluir uma placa de polímero na mesa		
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
			Planto de muda danificada		Vibrações, cargas dinâmicas		Testes, revisões de projeto.		– Utilizar outro tipo de fixação para dobradiça – Incluir uma placa de polímero na mesa.	Wanilson	Incluir uma placa de polímero na mesa		

<p>1 – Identificar o nome do sistema ou o título de identificação do FMEA;</p> <p>2 – Nome das pessoas que estão participando da reunião;</p> <p>3 – Registrar a página do formulário, a data de início do projeto de FMEA e a data da reunião atual;</p> <p>4 – Nome do item (componente, subsistema);</p> <p>5 – A função que o item deve desempenhar;</p>	<p>11 – Controles atuais são os métodos para identificar e controlar as falhas.</p> <p>12 – Valor de 1 a 10 do índice de detecção da falha (modo de falha ou causa do modo de falha);</p> <p>13 – Número de prioridade de risco.</p> <p>NPR = (severidade) x (ocorrência) x (detecção);</p> <p>14 – Ações recomendadas pelo grupo para a eliminação da falha.</p>
<p>6 – Possíveis modos de falha;</p> <p>7 – Possíveis efeitos que podem ser causados no sistema.</p> <p>8 – Valor de 1 a 10 do índice de severidade dos efeitos;</p> <p>9 – As causas que podem ter desencadeado o modo de falha;</p> <p>10 – Valor de 1 a 10 do índice de ocorrência da falha (modo de falha ou causa do modo de falha);</p>	<p>15 – Nome da pessoa responsável em implementar a ação e data limite para conclusão das ações;</p> <p>16 – Ação que foi utilizada para a eliminação da falha.</p> <p>17 – Reavaliação dos índices e cálculo do novo NPR.</p>

Figura 4.3 – Formulário FMECA adaptado da SAE (2000).

Os leiautes dos formulários são desenvolvidos de acordo com o critério de cada empresa, não existindo uma padronização. A Figura 4.3 apresenta um formulário FMECA, com uma breve descrição de seus campos, e a Figura 4.4 um FMEA. Verifica-se que para executar um FMECA, é necessário que se tenha bem mais informações sobre o produto do que no FMEA, por exemplo, que permitam avaliar a probabilidade de ocorrência da falha, detecção e também informações que permitam avaliar o impacto da falha no cliente, no meio ambiente ou nas normas governamentais.

O formulário FMEA é bem mais simples e não possui os campos, 8 (índice de severidade), 10 (índice de ocorrência), 11 (controles atuais), 12 (índice de detecção), 13 (Número de prioridade de risco) e 17 (revisão dos índices).

A seguir, tem-se a descrição de cada um dos campos.

Identificação do sistema (1): Identificar o nome do sistema ou o título de identificação do FMEA. No caso de FMEA de processo, deve-se identificar o nome do processo, da montagem ou da peça.

Participantes (2): Nome das pessoas da equipe FMEA que estão presentes na reunião.

Página e datas (3): Número da página, datas de início (dia/mês/ano) das reuniões para o desenvolvimento do FMEA e data atual.

Componente (4): Nome dos componentes do sistema.

Função (5): O engenheiro escreve a intenção, propósito, meta ou objetivo do componente. A função deve ser escrita de uma maneira concisa e fácil de entender, usando termos específicos, preferencialmente com um verbo e um substantivo.

Modo potencial de falha (6): O problema, a preocupação, a oportunidade de melhoria, a falha. Quando alguém pensar nos modos potenciais de falha, deve pensar na perda da função do sistema – uma falha específica. Para cada função do sistema identificado na coluna 10 da planilha, deve-se listar a correspondente falha do sistema., podendo existir mais de uma falha por função.

Efeitos potenciais de falha (7): São as conseqüências que surgem no sistema causadas pelos modos de falha. Eles devem ser identificados, avaliados e registrados para cada modo de falha. As conseqüências podem ser para o sistema, produto, cliente ou para as normas governamentais. Deve-se descrever os efeitos em termos do que o usuário pode perceber ou sentir. O usuário tanto pode ser um cliente interno ou externo (montadora ou consumidor final).

Severidade do efeito (8): Severidade é um índice que indica o quão sério é o efeito do modo de falha potencial. A severidade sempre é aplicada sobre o efeito do modo de falha. Há

uma correlação direta entre o efeito e a severidade Quanto mais grave e crítico é o efeito maior é o índice de severidade. Severidade é revisada da perspectiva do sistema, outros sistemas, do produto, do cliente, e/ou normas governamentais. O índice de severidade só pode ser alterado mediante uma mudança no projeto. Pode assumir valores de 1 a 10.

Causas potenciais da falha (9): A causa do modo de falha é causa geradora do modo de falha. Pode estar no componente, nos componentes vizinhos, ambiente.

Ocorrência (10): Ocorrência é um índice que corresponde a um número estimado (algumas vezes um número cumulativo) das falhas que poderiam ocorrer. Deve ser baseado ou na causa ou no modo de falha. A ocorrência pode ser reduzida mediante melhorias nas especificações de engenharia e /ou nos requerimentos do processo com a intenção de prevenir as causas e reduzir suas frequências.

Controles atuais (11): Um método (procedimento), teste, revisão de projeto ou uma análise de engenharia. Eles podem ser muito simples, como por exemplo *Brainstorming* , ou bastante técnicos e avançados, como por exemplo, método dos elementos finitos, simulação computacional e testes de laboratório. O objetivo do método de detecção é identificar e eliminar as falhas antes que estas atinjam os clientes (externos ou internos).

Detecção (12): Detecção é a probabilidade de que os sistemas de controle detectem a falha (causa ou modo de falha) antes que esta atinja os clientes (internos ou externos). Para identificar um índice de detecção deve-se estimar a habilidade para cada um dos controles identificados no item 11 para detectar a falha antes que ela alcance o cliente. O índice de detecção pode assumir valores de “1” a “10”. O índice de detecção pode ser reduzido adicionando ou melhorando as técnicas de avaliação do projeto/processo, aumentando o tamanho das amostras.

Número de prioridade de risco (NPR) (13): É o índice resultado do produto do índice de ocorrência, de severidade e detecção. Este valor define a prioridade da falha. É usado para ordenar (classificar) as deficiências do sistema.

Ações recomendadas (14): Nenhum FMEA deve ser feito sem nenhuma ação recomendada. A ação recomendada pode ser uma ação específica ou pode ser um estudo mais adiante. A idéia das ações recomendadas é diminuir os índices de severidade, ocorrência e detecção.

Responsabilidade e data de conclusão limite (15): Deve-se eleger os responsáveis para as tomadas de ações e definir prazos para a entrega dessas ações.

Ações tomadas (16): Só porque algo foi recomendado, não significa que algo foi feito. É imperativo que alguém siga as recomendações para determinar se elas foram direcionadas adequadamente, e/ou se é necessário fazer atualizações nestas ações. Note que o FMEA é um documento vivo e como tal alguém deve ser responsável em atualizá-lo. Depois que as ações fossem tomadas, uma breve descrição da ação deveria ser feita.

Número de prioridade de risco revisado (17): Depois das ações estarem incorporadas no sistema, a equipe FMEA deveria reavaliar as conseqüências da severidade, ocorrência e detecção. Os resultados deveriam ser revisados pelo time FMEA e um novo NPR ser calculado e as falhas serem ordenadas. Este processo é repetido até o time de FMEA decidir que todas as informações relevantes foram cobertas. Se nenhuma ação for tomada, então estas colunas permanecerão em branco.

Nota-se que, muitas das informações requeridas no formulário FMECA são indisponíveis nas fases iniciais do processo de projeto, informacional e conceitual. Os formulários, contudo, apresentam uma série de requisitos que devem constar das matrizes de decisão utilizadas nos processos iniciais. Só será possível, verificar a comprovação de que os índices requeridos e o grau atribuído estão presentes no produto final, se houver um planejamento de um experimento voltado para este objetivo ou então, do acompanhamento do produto no uso. Observa-se que nestes casos, está se trabalhando na fase do projeto preliminar ou detalhado. Têm-se aí os conceitos bem definidos, e estão sendo analisados alguns aspectos destes conceitos, representados pelos seus modelos físicos, na forma de desenhos preliminares, modelos detalhados, protótipos ou “mocap”.

No FMECA, quando não se têm os índices de ocorrência da falha, deve-se recorrer a produtos similares no mercado para se obter uma estimativa, ou realizar testes com protótipos. A avaliação do índice de detecção vai depender dos sistemas de controle existentes, no projeto e no processo de fabricação de cada empresa.

Um formulário FMEA, de uma forma geral, apresenta o seguinte formato (Figura 4.4):

A Figura 4.5, exemplifica um fragmento da análise *Bottom up* em um compressor. O eixo de comando do cilindro está trancado. Este modo de falha pode gerar os seguintes efeitos no sistema: Compressor liga e desliga, o compressor simplesmente não parte ou o compressor não parte e proporciona fuga de corrente para a carcaça.

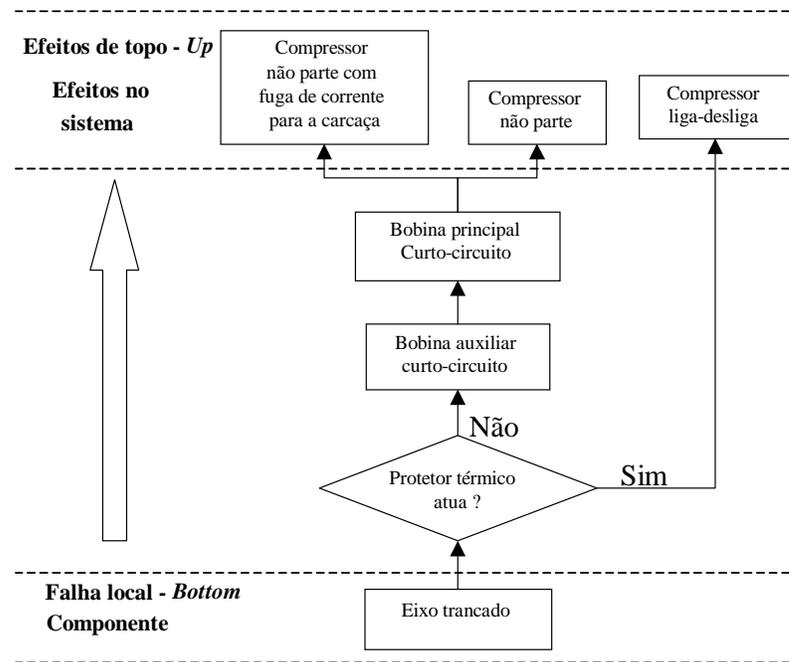


Figura 4.5 – Análise do tipo *Bottom-up* (SAKURADA, 1997).

No início do funcionamento, quando a rotação do eixo é baixa, uma corrente elétrica elevada, temporária, percorre a bobina auxiliar, chamada de corrente de partida. À medida que a rotação do eixo aumenta, a corrente elétrica diminui. Quando é atingida a rotação de trabalho, a corrente elétrica fica aproximadamente constante, neste momento deixa de passar pela bobina auxiliar e passa a percorrer a bobina principal.

Quando a rotação do eixo não atinge a rotação de trabalho, a corrente elétrica permanece elevada causando aumento da temperatura que pode fazer com que seus enrolamentos (bobinas) se alonguem ou pode deteriorar os seus isolamentos causando curto-circuito. Para evitar estes problemas os compressores são construídos com mecanismos protetores para desligar o motor, temporariamente, se houver aumento elevado de temperatura ou consumo elevado de corrente elétrica. Estes mecanismos são chamados de protetores térmicos.

Normalmente, o protetor térmico está ligado em série com a linha de alimentação de energia do compressor, de modo que toda a corrente passe através dele. Se houver aumento

excessivo de temperatura, tanto devido à temperatura ambiente como pela passagem de corrente elétrica, ocorre o corte do fornecimento de energia. Quando a temperatura reduzir, o protetor térmico fecha o circuito automaticamente e se o eixo estiver trancado ocorrerá a repetição deste processo. Desta forma, o compressor ficará ligando e desligando.

Quando ocorre algum problema com o protetor térmico e este não interrompe o circuito, ocorre curto-circuito na bobina auxiliar que causa degradação dos isolamentos que finalmente pode causar curto-circuito na bobina principal. O efeito percebido é que o compressor não parte (não liga) e algumas vezes além de não partir, proporciona fuga de corrente para a carcaça.

Esta é uma análise do tipo *Bottom up*, tem início com um modo de falha (trancado) no componente (eixo) e desenvolve-se até os efeitos no sistema (compressor). Observa-se que este tipo de análise pode ser feito ainda no final do projeto conceitual ou na fase do projeto preliminar.

4.8 Quando iniciar um FMEA/FMECA

Segundo VILLACOURT (1992), nos primeiros estágios do ciclo de vida do produto é onde se tem maior influência na confiabilidade do produto. À medida que o projeto amadurece, torna-se mais difícil para alterá-lo. Infelizmente, o tempo, o custo, e os recursos requeridos para corrigir um problema, detectado nas fases finais do processo de projeto, aumentam.

Como está evidenciado na Figura 4.6, nas primeira fases do processo de projeto, investe-se em torno de 15 % do custo total do projeto, mas decide-se sobre 95 % do custo do ciclo de vida do produto. Essa é uma constatação que evidencia a importância de investir-se em pesquisa e desenvolvimento, para que seja considerado o máximo de informação e técnicas, nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos.

Segundo DOWNEY, citado por BACK e FORCELLINI (1998), 80% do custo do produto fica comprometido com 20 % da fase do projeto realizado. Isso corresponde à fase de projeto conceitual concluída.

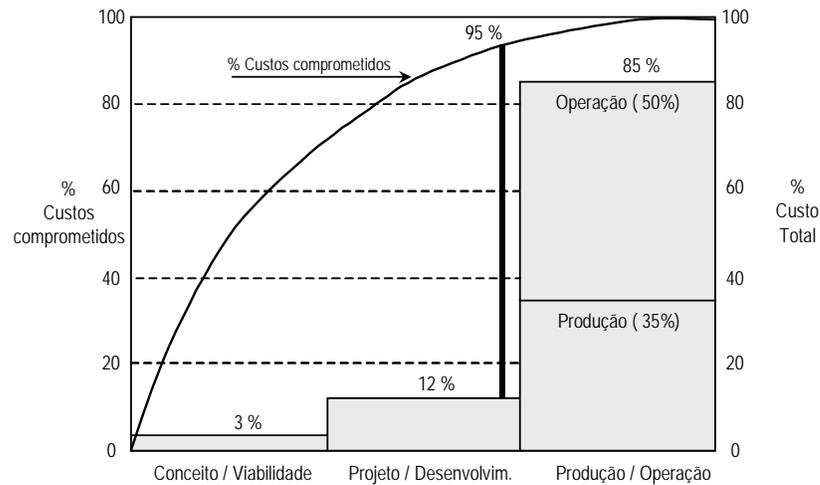


Figura 4.6 – Os custos comprometidos ao longo do desenvolvimento do produto (VILLACOURT, 1992).

A frase citada por TENG e HO (1996), “a melhor confiabilidade é a confiabilidade especificada no projeto do produto”, manifesta a importância da confiabilidade nas etapas do processo de projeto.

Por esses motivos o FMEA deve ser iniciado o mais rápido possível. Quanto mais cedo for feito o FMEA, mais fácil e barato serão as mudanças para a melhoria do produto. No entanto, nas fases iniciais de projeto (projeto conceitual) as informações são bastante reduzidas, sendo então utilizada a abordagem funcional para os modos de falha. Contudo, em tendo-se conhecimento da técnica de FMEA/FMECA e das métricas a ela vinculada, pode-se já nas primeiras fases iniciais, levantar todos os requisitos requeridos para considerar este processo de análise ao longo do projeto.

Após a fase do projeto detalhado, muitas características do produto já foram definidas. Nesta etapa é possível usar, como recomenda a norma americana MIL-STD 1629A (1980), tanto a abordagem funcional quanto estrutural.

Iniciar o FMEA na fase de projeto não garante que todas as falhas dos processos seguintes do desenvolvimento do produto serão evitadas. Segundo SOUZA (2000), devido à complexidade e dificuldade de prever as falhas, algumas podem ocorrer em campo. Conseqüentemente, o *feed back* de campo também é uma das etapas muito importantes em um programa de confiabilidade. LATINO (1996) propõe uma abordagem modificada de FMEA, em sua obra é possível perceber a importância dos históricos do produto colhidos durante a fase do uso, resultando em reduções no tempo gasto para o desenvolvimento do FMEA, redução do número de pessoas envolvidas e dos custos.

4.9 Aplicações do FMEA/FMECA

A literatura tem trazido exemplos de aplicação do FMEA em diferentes setores. Estes exemplos e recomendações não são consensuais. Neste texto será apresentada uma discussão geral sobre estas aplicações.

Estão presentes na literatura aplicações em sistema, projeto, processo e serviço. Esta é a classificação de STAMATIS (1995) e o autor entende que:

FMEA de Sistema – É usado para analisar sistemas e subsistemas nas fases iniciais de concepção e projeto. O FMEA de sistema enfoca os modos potenciais de falha entre as funções do sistema, causada por algumas deficiências do sistema. Ele inclui a interação entre os sistemas e os elementos do sistema.

FMEA de Projeto – É usado para analisar produtos antes que eles sejam liberados para a manufatura. O FMEA de projeto enfoca os modos potenciais de falha causados pelas deficiências do projeto.

FMEA de Processo – É usado para analisar os processos de manufatura e montagem. O FMEA de processo enfoca os modos de falhas causados pelas deficiências do processo ou montagem.

FMEA de Serviço – É usado para analisar serviços antes que eles alcancem o cliente. O FMEA de serviço enfoca os modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados pelas deficiências do sistema ou processo.

As interações entre as aplicações podem ser vistas na Figura 4.7.

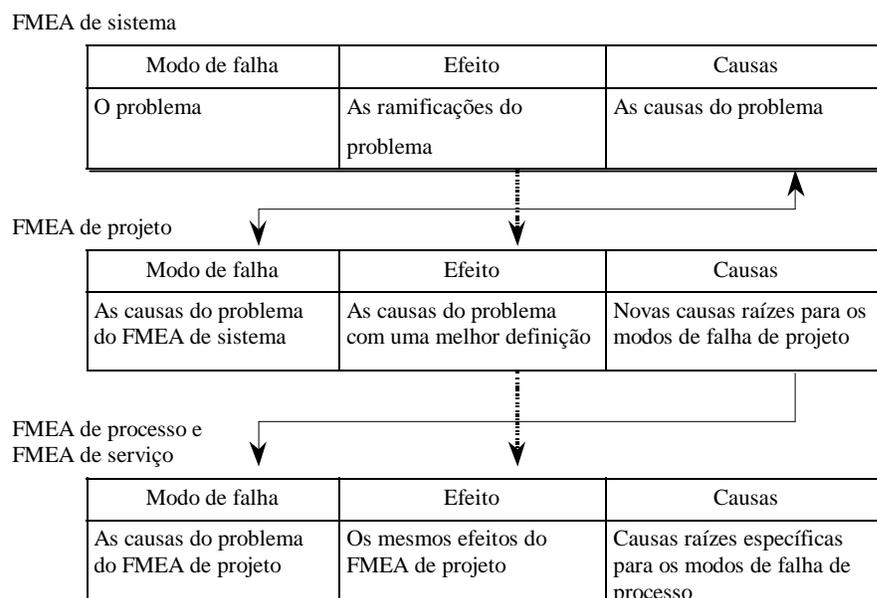


Figura 4.7 – Relacionamento entre os vários tipos de FMEAs (STAMATIS, 1995).

STAMATIS (1995) explica que os modos de falha do FMEA de sistema geram todas as informações essenciais para os FMEAs de projeto e processo, e embora os efeitos permaneçam os mesmos, as causas no FMEA de sistema tornam-se os modos de falhas no projeto, no qual geram suas próprias causas, que finalmente tornam-se os modos de falha no FMEA de processo.

A explicação não é clara, principalmente, no que se relaciona às causas que vão passando a ser modos de falha. O fato dos efeitos permanecerem os mesmos, leva a concluir que a análise está sendo feita considerando sempre o mesmo usuário, ou seja, o usuário final do produto, o cliente externo.

O guia desenvolvido pela *Ford Motor Company* (1997), apresenta apenas três áreas principais para as aplicações: Conceito, Projeto, Processo. O FMEA de Conceito apresenta-se semelhante ao FMEA de sistema de STAMATIS (1995), o qual é empregado para analisar as concepções de sistemas e subsistemas, nas fases iniciais de projeto. Essa aplicação focaliza os modos de falha potenciais associados às funções propostas, de um conceito adotado, pelas decisões de projeto. As definições de FMEA de projeto e processo também são semelhantes às definições adotadas por STAMATIS (1995).

Na Figura 4.8 são apresentadas as dez categorias de FMEA utilizadas pela Ford: Uma aplicação de conceito, três de projeto, três de montagem e três de manufatura.

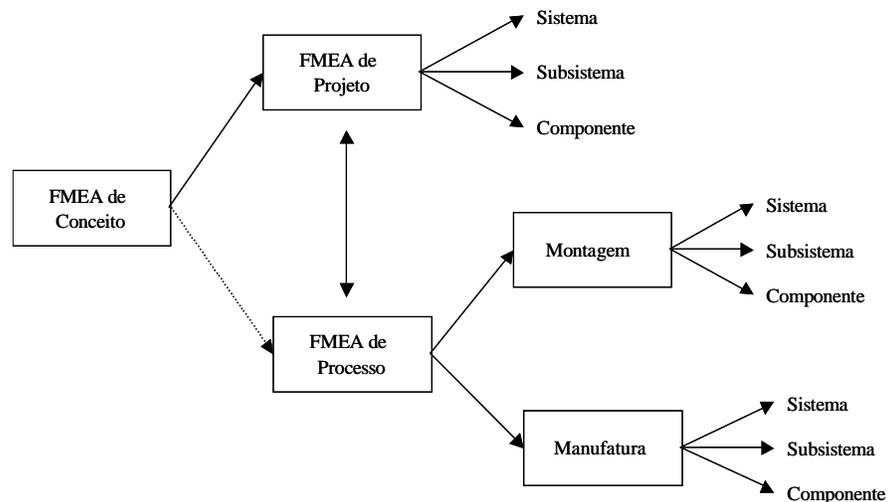


Figura 4.8 – Categorias de FMEA (FORD, 1997).

4.10 A equipe participante do FMEA/FMECA

Alguns autores como KUME [1996], STAMATIS (1995), VILLACOURT (1992) dizem que um FMEA deve ser desenvolvido por uma equipe. No entanto, PALADY (1997) diz que um FMEA pode e tem sido executado como um esforço individual, mas concorda que é mais eficiente quando aplicada em um esforço de equipe. Pode se afirmar que é preciso ter uma liderança e profissionais de área específica e correlata ao tema em análise requerendo do grupo objetividade e sinergia para atingir os objetivos propostos.

Não há uma regra para definir o número de participantes do FMEA. PALADY (1997) sugere um número de cinco a sete participantes, já STAMATIS (1995) diz que o número deve variar de cinco a nove pessoas, mas cinco é um bom número. O que se pode observar nas equipes é que os engenheiros de projeto e processo quase sempre devem estar presentes nas equipes.

PALADY (1997) recomenda que uma pessoa deve ser responsável pela duração do FMEA, pelo orçamento e pela eficácia do FMEA, enquanto que a equipe deve ser responsável em desenvolver a FMEA. O procedimento FMEA apresentado pela Ford tem um ponto de vista semelhante ao de PALADY (1997) e concordam que embora a preparação do FMEA seja designada a um indivíduo, a contribuição do FMEA deve ser um esforço de equipe.

A equipe deve estar selecionada pelas áreas envolvidas de modo que cada membro contribua com diferentes experiências e conhecimentos. A equipe define os pontos e problemas, identifica e propõe idéias, fornece e recomenda análises ou técnicas apropriadas, e toma uma decisão baseada num consenso, que é uma decisão coletiva alcançada através da participação ativa de todos os membros.

STAMATIS (1995) salienta que não é necessário que haja concordância das idéias em 100 por cento, mas todos os membros devem estar comprometidos com a decisão.

Tanto STAMATIS (1995) como PALADY (1997) concordam que não se deve usar como regra a decisão da maioria, pois isto não garante que esteja correta. Pode-se afirmar que os princípios democráticos são válidos para o relacionamento entre os membros da equipe, mas a decisão final deverá ser de consenso.

Para alcançar um consenso, cada membro do time deve estar disposto a:

- Receber idéias;
- Ter uma postura para contribuir e não defender;
- Ouvir ativamente os outros pontos de vista;
- Verificar e descobrir as razões das outras opiniões;

- Confrontar com as diferenças de maneira não agressiva;

Estes itens foram apresentados por STAMATIS (1995) e se assemelham bastante com as regras usadas no *Brainstorming*. Afinal, uma equipe de *Brainstorming* também é composta por pessoas de vários setores, que exercem diferentes funções e estão reunidas com um objetivo em comum. No anexo 3 são apresentadas algumas equipes FMEA sugeridas por STAMATIS (1995) e PALADY (1997).

A eficiência e a produtividade do FMEA pode ficar comprometido quando (STAMATIS, 1995):

- O propósito da reunião não estiver claro;
- A reunião for mantida apenas para “cumprir tabela”;
- Houver repetição de informações antigas;
- Forem tratados assuntos muito enfadonhos; assuntos triviais;
- O líder reprime o time;
- A equipe for constituída de membros despreparados;
- As tarefas forem definidas superficialmente;
- Existir pouco tempo ou vontade para tratar com situações inesperadas;

Quando a equipe continua a se reunir sem a verificação dos itens acima, erros ocorrem, como por exemplo:

- Erros causados por mal entendimento;
- Descoberta da necessidade de buscar informações adicionais;
- Dados incompletos porque o formulário é muito difícil de se completar;
- Falha no uso de dados existentes;

STAMATIS (1995) salienta que todos os membros da equipe devem ter algum conhecimento do comportamento do grupo, das tarefas, dos problemas a serem discutidos, das pessoas relacionadas direta ou indiretamente com o problema. Acima de tudo, eles devem estar dispostos a contribuir.

Uma equipe é um grupo de indivíduos que estão comprometidos em alcançar objetivos organizacionais em comum, que se encontram regularmente para identificar e resolver problemas, que buscam melhorar os processos, que trabalham juntos de maneira eficaz e interagem abertamente. As equipes multidisciplinares podem e devem fazer uso de ferramentas como, FTA, *Brainstorming* e QFD.

Na equipe é necessário que haja um coordenador que tenha conhecimento a respeito de FMEA para orientar as reuniões. Os membros da equipe são escolhidos em função do problema,

pois cada produto possui características particulares como função, projeto, materiais, fabricação, qualidade. É muito importante que os membros participantes tenham conhecimento das definições utilizadas no FMEA e também conhecimento do produto na respectiva área.

4.11 Procedimento geral para a execução do FMEA/FMECA

Os procedimentos descritos pelos autores são baseados na experiência de cada um. Estes procedimentos foram agrupados no Quadro 4.6. sendo possível verificar que as seqüências de algumas etapas são coincidentes e existe pouca variação entre um procedimento e outro. As etapas descritas são referentes ao FMECA. Para o FMEA, como foi discutido anteriormente, não existem as etapas referentes à avaliação da criticidade (NPR).

Quadro 4.6 – Procedimentos para o desenvolvimento do FMECA.

Etapas	TENG e HO (1996)	KUME [1996]	VILLACOURT (1992)	STAMATIS (1995)
1	Coleta de informações do componente e função do processo	Modos de Falha	Revisar as especificações e documentos de requerimentos do sistema	Selecionar a equipe e <i>Brainstorming</i>
2	Modos de falha	Efeitos	Coletar as informações	Diagrama Funcional de Blocos e ou Fluxograma do processo
3	Efeitos	Causas e Mecanismos das falhas	Diagrama Funcional de Blocos	Organizar os problemas por prioridade
4	Causas	Ocorrência	Modos de falha	Modos de falha
5	Controles atuais	Severidade	Efeitos	Efeitos
6	NPR (Número de prioridade de risco)	Deteção	Causas	Controles existentes
7	Ações Corretivas	NPR (Número de prioridade de risco)	Controles atuais, deteção das falhas.	Severidade, ocorrência, deteção.
8		Ações Corretivas, Melhorias recomendadas.	NPR (Número de prioridade de risco)	NPR (Número de prioridade de risco)
9		Distribuição de tarefas e prazo	Preparação dos formulários	Confirmar, Avaliar e mensurar a situação.
10		Reavaliar o NPR.	Revisão (Priorizar problemas)	Refazer todos os passos acima novamente
11			Ações corretivas	

Estudando as experiências transmitidas pelos autores STAMATIS (1995), VILLACOURT (1992), KUME [1996], PALADY (1997), FORD (1997), sentiu-se necessidade de aproximar o conhecimento apresentado, ao que se entende ser necessário aplicar, quando se vai iniciar um processo de FMEA/FMECA. Estas proposições são resultados das discussões feitas com os participantes dos processos de FMEA que serão apresentados no capítulo 5.

1. Escolha dos membros da equipe

Um dispositivo para desempenhar qualquer função, por mais simples que seja, requer itens caracterizados por: funções, materiais, acabamentos, tolerâncias e qualidade. A aplicação do FMEA a um desses itens, em qualquer fase do ciclo de vida, vai exigir diversidade, qualidade e profundidade de informações. Este grau de exigência só poderá ser suprido quando se dispõe de uma equipe de trabalho com especialistas das diversas áreas relacionadas comprometidos com o método e com o produto em análise.

No quadro 4.6 foi apontado ser obrigatório pelo menos a presença de um responsável pelo projeto e pelo sistema. Na experiência vivida percebeu-se que é preciso ter um responsável pelo projeto ou sistema que vai preparar os aspectos relacionados com o projeto, como modelo físico, modelo confiabilísticos, diagramas, fotografias, e vai implementar as decisões das reuniões. E também é necessário ter um líder de FMEA, ou especialista em FMEA para dirimir as dúvidas conceituais relativas ao que é modo de falha, efeito, função, causa, FMEA de componente, FMEA de sistema, além de organizar e registrar as informações nos formulários.

2. Definição do sistema e dos componentes

O sistema é definido nesta etapa e é feita a lista dos componentes que constituem o sistema. Um componente não precisa ser necessariamente uma peça do equipamento. Quando existirem muitos componentes, deve-se racionalizar a análise e procurar buscar os componentes que ao falharem podem comprometer a função, a segurança, a ergonomia, bem como aqueles que tem a taxa de falha mais elevada, componentes novos, componentes que sofreram manutenção, enfim deve-se analisar os pontos que sofreram mudanças.

Um subsistema também pode ser considerado como componente. Dependendo da complexidade do sistema agrupam-se os componentes em subsistemas tratando-os como um componente único. A definição do sistema e dos componentes é muito importante para a aplicação das definições dos modos de falha e dos efeitos. Os modos de falha estão associados

aos componentes, enquanto que os efeitos estão associados ao sistema. A preparação deste contexto pode ser feita pelo líder do projeto e pelo líder de FMEA.

3. Diagrama funcional de blocos, fluxogramas, modelos confiabilísticos

Os diagramas funcionais de blocos, fluxogramas ou modelos confiabilísticos são utilizados para mostrar como as diferentes partes do sistema interagem umas com as outras, facilitando a verificação dos caminhos críticos e o entendimento do sistema.

Os Diagrama funcional de blocos e fluxogramas são facilitam a análise dos sistemas, permitindo uma melhor visualização do problema. São etapas que aparecem formalmente nos procedimentos descritos por VILLACOURT (1992) e STAMATIS (1995), sendo que o último sugere o uso do diagrama funcional de blocos para os FMEAs de sistema e projeto e o fluxograma para o FMEA de processo.

É possível desenvolver o FMEA sem o auxílio dos diagramas, mas a análise do sistema se torna muito mais difícil e a chance de se esquecer de algum detalhe se tornam maior. Nesta fase, a participação de um especialista em confiabilidade e na ferramenta auxiliar de análise utilizada, torna-se recomendável.

4. Funções dos componentes

A descrição da função deve ser exata e concisa. As funções são muito importantes porque são uma grande referência para os modos de falha, especialmente quando se está utilizando a abordagem funcional. A descrição da função deve ser preparada pelo projetista e colocada em discussão para todos os membros do processo de análise de FMEA.

5. Modos de falha de cada componente

Modo de falha é um estado anormal de trabalho, uma anomalia apresentada pelo item que está sendo analisado.

Os componentes constituintes do sistema são analisados, sendo levantados todos os seus respectivos modos de falha. Deve-se perguntar quais as possíveis maneiras do componente em estudo se apresentar defeituoso? Como ele pode deixar de executar a sua função para o qual foi projetado?

A análise deve ser feita levando-se em consideração a função do componente e as especificações de projeto. Se existe um modo de falha, deve-se leva-lo em consideração, pelo menos no início do processo.

Se o modo de falha for tecnicamente possível de ocorrer, ele deve ser levado em consideração. A Figura 4.9 é usada para mostrar que a análise dos modos de falha é uma ação interna ao sistema, em última análise, está relacionado com o componente.

Nesta etapa, geralmente ocorrem discussões a respeito da classificação da falha. Vale ressaltar aqui que, nem sempre é possível classificar uma falha como modo de falha, causa ou efeito. Uma forma de

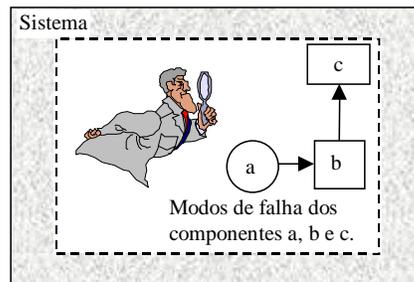


Figura 4.9 – Indicativo de que a análise dos modos de falha é uma ação interna ao sistema.

6. Efeitos causados no sistema

O estudo e a identificação dos efeitos é fundamental tanto para o projetista quanto para quem trabalha com processo. É um requisito fundamental para incorporar aos itens conceitos de manutenibilidade e processos de manutenção como manutenção centrada na confiabilidade e manutenção centrada na produtividade. Uma vez que se tem clareza de como os modos de falha se manifestam, pode-se projetar sensores para captar estas informações. Estes sensores vão anunciar quando se está iniciando um processo de falha, o que permitirá programar as ações corretivas. A análise dos efeitos requer aprofundar o conhecimento e a percepção sobre o sistema de um ponto de vista mais externo. Aqui interessa saber as informações que o sistema está emitindo.

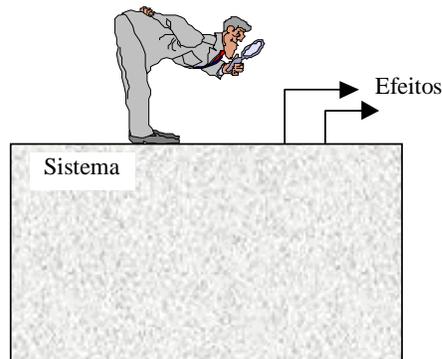


Figura 4.10 – Indicativo de que a pesquisa dos efeitos dos modos de falha é uma ação externa ao sistema.

É muito importante que se tenha à disposição uma lista de funções do sistema para auxiliar o desenvolvimento das listas de efeitos que podem ocorrer. Os efeitos dos modos de falha ocorrem ao nível de sistema e refletem sobre o cliente (externo ou interno). Quando chega a este ponto, ainda dentro do período de vida útil, tem-se um problema, cuja solução sempre é custosa, como visto na figura 4.6.

7. Avaliação dos efeitos e análise das causas dos modos de falha

Para a avaliação dos efeitos são usadas algumas escalas para estimar o impacto com relação à segurança do cliente, meio ambiente, normas governamentais, imagem da empresa ou custos. As escalas utilizadas para a avaliação não são precisas, variando com o autor, análise, tipo de produto, empresa. O Quadro 4.4 e Quadro 4.7 são exemplos de escalas de severidade utilizadas para a avaliação.

Quadro 4.7 – Categorias ou riscos para avaliar a gravidade da falha (DE CICCIO e FANTAZZINI, 1988).

Classificação	Tipo	Observação
I	Desprezível	A falha não irá resultar numa degradação do sistema, nem irá produzir danos funcionais ou contribuir com o risco ao sistema.
II	Marginal (ou limítrofe)	A falha irá degradar o sistema numa certa extensão, porém, sem envolver danos maiores, podendo ser compensada ou controlada adequadamente.
III	Crítica	A falha irá degradar o sistema causando danos substanciais, ou irá resultar num risco inaceitável, necessitando ações corretivas imediatas.
IV	Catastrófica	A falha irá produzir severa degradação do sistema, resultando em sua perda total.

São verificados os modos de falha relacionados com os efeitos que obtiveram uma classificação elevada e então se inicia o trabalho de levantamento das causas destes modos de falha. Neste contexto e para esta atividade a equipe de FMEA deve estar o mais completa possível.

8. Revisão do formulário e seleção das ações principais.

O processo de revisão deve iniciar a partir dos registros, inicialmente, estabelecidos. Evidentemente para ser deflagrado um processo de FMEA necessidades, requisitos e metas foram estabelecidas. Então o processo de revisão deve incorporar todos estes parâmetros.

Nesta etapa também são definidas as ações de melhoria, data de implementação e os responsáveis pelas ações. PALADY (1997) salienta que as ações de melhorias recomendadas devem resultar em benefícios de qualidade e confiabilidade.

Recomenda-se que a equipe utilize técnicas de solução de problemas em suas revisões, como por exemplo, *Brainstorming*, diagramas de pareto as quais são muito eficazes e úteis. Neste contexto os formulários devem estar preenchidos, principalmente, naqueles contextos para o qual a reunião foi convocada. A ação de FMEA é um exercício de conhecimento constante e por isso precisa ser executado por etapas.

4.12 Resultados e benefícios obtidos com o FMEA/FMECA

O Quadro 4.8 foi gerado a partir da informações colhidas da obra de STAMATIS (1995). A proposta é apresentar uma síntese resumida do conceito geral do FMEA proposto pelo autor.

Quadro 4.8 – Resultados e benefícios obtidos com o FMECA.

	Sistema	Projeto	Processo	Serviço
Resultado do FMEA	Lista dos modos de falhas potenciais, organizados pelo número de prioridade de risco (NPR).			
	Lista das funções dos sistemas que poderiam detectar os modos de falha potenciais.	Lista das características críticas e/ou significativas. Lista de ações recomendadas para as características críticas e/ou significativas.		Lista de tarefas ou processos críticos ou processos.
		Lista de parâmetros para testes apropriados, inspeções e métodos de detecção.	Lista para eliminar as causas dos modos de falha, reduzir sua ocorrência e melhorar a detecção de defeito se o índice Cpk não poder ser melhorado.	Listas dos processos e tarefas que são “gargalos”.
	Lista para ações de projeto para eliminar os modos de falha, problemas de segurança e reduzir a ocorrência.	Lista para eliminar os erros. Lista para monitorar as funções dos sistemas/processos.		

	Sistema	Projeto	Processo	Serviço
Os benefícios de se utilizar um FMEA	Ajuda a selecionar a melhor alternativa de projeto de sistema.	Estabelece uma prioridade de ações de melhoria de projeto.		
	Ajuda a determinar redundância.	Fornecer informações para ajudar através da verificação do projeto do produto e testes	Identifica as deficiências no processo e oferece um plano de ações corretivas.	Auxilia nas análises dos fluxos de trabalho.
	Ajuda na definição da base para os procedimentos de diagnóstico em nível de sistema.	Ajuda a identificar as características críticas ou significativas.	Identifica as características críticas e/ou significativas e ajuda o desenvolvimento dos planos de controle.	Auxilia nas análises dos sistemas e/ou processos Identifica as deficiências das tarefas.
	Aumenta a probabilidade de que os problemas potenciais sejam considerados.	Auxilia na avaliação dos requerimentos de projeto e alternativas.	Estabelece uma prioridade de ações corretivas.	Identifica as tarefas críticas ou significativas e ajuda no desenvolvimento dos planos de controle.
	Identificam as falhas potenciais do sistema e sua interação com outros sistemas ou subsistemas.	Ajuda a identificar e eliminar os problemas potenciais de segurança.	Auxilia na análise dos processos de manufatura e montagem.	Estabelece uma prioridade para as ações de melhoria.
		Ajuda a identificar antecipadamente as falhas, nas fases de desenvolvimento do produto.		
		Documenta as razões para as mudanças.		

4.13 Comentários

Com o estudo de FMEA/FMECA foi possível constatar que:

O procedimento para a aplicação no projeto ou no processo de fabricação é o mesmo.

Quase sempre haverá a presença do engenheiro de projeto ou processo porque é necessário que se conheça bem o sistema em análise.

As informações mais importantes para a execução do FMEA são: desenhos, protótipos, descrição das funções (componentes, sistema), especificações de projeto e processo, diagramas de blocos (fluxogramas, modelos confiabilísticos).

As particularidades relacionadas aos processos FMEA/FMECA como mostram as figuras 4.3, 4.4 e 4.5, estão relacionadas aos índices que caracterizam o número de prioridade de risco (NPR). Embora esteja disponível na literatura e em normas, os escores que definem as métricas associadas aos índices podem ser redefinidos pela equipe que faz a execução do FMEA/FMECA.

A opção de se aplicar um FMECA ao invés de FMEA está centrada, em controlar a severidade e a probabilidade de ocorrência. Esta necessidade está mais fortemente presente nos itens reparáveis e em sistemas de produção contínua ou que envolvam riscos de acidentes. Em itens não reparáveis, nos casos em que é desejável e suficiente ter a confiabilidade e a manutenibilidade como referências, o FMEA é recomendável.