

**OSVALDO GOBO JUNIOR  
TIAGO FURTADO BIBO**

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE FMEA NA INDÚSTRIA  
AUTOMOBILÍSTICA**

**SÃO PAULO  
2006**

**OSVALDO GOBO JUNIOR  
TIAGO FURTADO BIBO**

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE FMEA NA INDÚSTRIA  
AUTOMOBILÍSTICA**

Monografia apresentada à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para conclusão do curso de  
Engenharia da Qualidade.

**SÃO PAULO  
2006**

**OSVALDO GOBO JUNIOR  
TIAGO FURTADO BIBO**

## **APLICAÇÃO DA ANÁLISE FMEA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Monografia apresentada à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo para conclusão do curso de  
Engenharia da Qualidade.

Área de concentração:  
PECE – Engenharia da Qualidade

Orientador:  
Professor Dr. Adherbal Caminada Netto

**SÃO PAULO  
2006**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaríamos de agradecer a Deus por ter nos dado força e vontade nas horas que mais precisamos para concluir este trabalho.

Aos professores e amigos que de uma forma ou de outra nos ajudaram e muito para a conclusão deste.

A toda nossa família: pais, irmãos, esposa e noiva pelo apoio dado nos momentos de dificuldade.

## **RESUMO**

O presente trabalho reúne informações sobre os benefícios da utilização das ferramentas FMEA de projeto (DFMEA) e FMEA de processo (PFMEA) na indústria automobilística. O contexto está baseado em conceitos teóricos e experiências profissionais na indústria automobilística e também apresenta estudos de casos retirados de situações ocorridas nas organizações nas quais as ferramentas foram utilizadas. Este trabalho tem a pretensão de demonstrar os benefícios destas ferramentas em seu uso como histórico de informações de ações em projetos de peças e o caráter preventivo no desenvolvimento de processos de peças, e também sugerir novas ações para a melhoria da sistemática da FMEA.

**Palavras Chave:** Indústria Automobilística. Ferramentas (Qualidade).

## **ABSTRACT**

The present work congregates information about the benefits of using the tools Design FMEA (DFMEA) and Process FMEA (PFMEA) in the automobile industry. The context is based on theoretical concepts and professional experiences in the automobile industry and also presents cases removed from occurred situations in the organizations which the tools were used. This work has the pretension of demonstrating the benefits of these tools in its used like description of information of action in projects of parts and the preventive character of developing processes of parts, and also suggest new actions for the improvement of FMEA systematics.

**Key Words:** Automobile Industry, Tools (Quality).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Seqüência de análise da ferramenta tipo FMEA projeto .....	17
Figura 2 - Cronograma de planejamento da qualidade do produto. ....	30
Figura 3 - Seqüência de análise da ferramenta tipo FMEA processo .....	31
Figura 4 - Ilustração do Gráfico de Áreas.....	40
Figura 5 – Ilustração da divisão departamental.....	44
Figura 6 – Ilustração do êmbolo conjunto completo.....	45
Figura 7 - Ilustração de cabeçote de motor de combustão no PMS.....	47
Figura 8 - Ilustração de cabeçote de motor de combustão no PMI .....	47
Figura 9 - Ilustração da dimensão requerida para montagem de pino, pistão e biela .....	49
Figura 10 – Ilustração de peça forjada com falha de material.....	56
Figura 11 - Ilustração de peça forjada com dobra de material .....	56
Figura 12 - Ilustração de peça forjada com gravação ilegível .....	57
Figura 13 - Ilustração da Prensa de Forjar de Fricção de 450Ton, acionamento por alavanca. ....	58
Figura 14 - Ilustração do desenho esquemático da peça a ser analisada.....	59
Figura 15 - Ilustração esquemática da aplicação do produto.....	59
Figura 16 - Ilustração da peça forjada e do blank de origem.....	60
Figura 17 - Ilustração da peça após a operação de usinagem dos dentes .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de severidade FMEA de projeto .....	25
Tabela 2 - Índices de ocorrência FMEA de projeto .....	26
Tabela 3 - Índices de detecção FMEA de projeto.....	27
Tabela 4 - Índices de severidade FMEA de processo.....	37
Tabela 5 - Índices de ocorrência FMEA de processo.....	38
Tabela 6 - Índices de detecção FMEA de processo.....	39
Tabela 7 - Índices de severidade FMEA de projeto utilizada no caso.....	50
Tabela 8 - Índices de ocorrência FMEA de projeto utilizada no caso.....	51
Tabela 9 - Índices de detecção FMEA de projeto utilizada no caso.....	51



## LISTA DE SÍMBOLOS

AIAG	Automotive Industry Action Group
Cpk	Índice de capacidade do processo
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
IS	Índice de Severidade
IO	Índice de Ocorrência
ID	Índice de Detecção
IR	Índice de Risco
PPM	Partes por milhão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Considerações iniciais para o desenvolvimento de uma FMEA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 FMEA de projeto.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.1 Objetivo.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Funções e características.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3 Tipos de falhas .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.4 Efeito dos tipos de falhas .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.5 Causa do tipo de falha .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.6 Formas de controle .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.6.1 Formas de controle – Prevenção .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.6.2 Formas de controle – Detecção .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.7 Índices .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.7.1 Índice de severidade .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.7.2 Índice de ocorrência .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.7.3 Índice de detecção .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.7.4 Índice de Risco .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.7.5 Ações recomendadas .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 FMEA de processo .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.1 Objetivo.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2 Funções e características.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.3 Tipos de falha .....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.4 Efeito dos tipos de falha.....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.5 Causa do tipo de falha .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.6 Formas de controle .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.6.1 Controle por prevenção .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.6.2 Controle por detecção .....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.7 Índices .....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.7.1 Índice de Severidade.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.7.2 Índice de Ocorrência.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.7.3 Índice de detecção .....</b>	<b>38</b>

2.4.7.4 Índice de Risco .....	39
2.4.8 Ações recomendadas .....	39
2.4.9 Resultados do acompanhamento das ações.....	41
3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS .....	42
4 ESTUDO DE CASO .....	44
4.1 FMEA de projeto.....	44
4.1.1 Descrição da organização .....	44
4.1.2 Descrição do sistema a ser analisado:	
Motor de combustão interna de quatro tempos.....	45
4.1.2.1 Descrição dos componentes.....	45
4.1.2.2 Os quatros tempos do ciclo Otto.....	46
4.1.3 Equipamentos e métodos.....	47
4.1.4 Trabalho prático .....	48
4.2 FMEA de processo .....	52
4.2.1 Descrição da organização e do processo a ser analisado:	
forjamento à quente.....	52
4.2.1.1 Tipos de Forjamento .....	53
4.2.1.1.1 Forjamento em matriz aberta .....	53
4.2.1.1.2 Forjamento em matriz fechada.....	53
4.2.1.2 Equipamentos e métodos.....	54
4.2.1.3 Aplicações .....	54
4.2.1.4 Principais defeitos em peças forjadas .....	57
4.2.2 Trabalho prático .....	64
5 DISCUSSÃO .....	64
6 CONCLUSÃO .....	67
6.1 FMEA de projeto.....	67
6.2 FMEA de processo .....	67
REFERÊNCIAS.....	68

## 1 INTRODUÇÃO

Com a globalização, as organizações têm buscado uma freqüente de redução de custos e prazos de entrega de novos produtos, com isso a necessidade de utilizar ferramentas da qualidade é cada vez maior. Dentre as ferramentas da qualidade, empregadas na indústria automobilística, pode-se destacar a análise do tipo FMEA, sigla em inglês que significa análise de modos e efeitos da falha.

Esta ferramenta vem sendo utilizada de forma cada vez mais sistemática pelas equipes de desenvolvimentos de produtos das organizações do segmento automobilístico. Esse aumento da utilização desta ferramenta deve-se que cada vez mais a cadeia automobilística vem adotando processos de aprovação de peças baseado na sistemática do PPAP, onde a ferramenta FMEA é uma componente desta metodologia.

O trabalho apóia-se na utilização da ferramenta FMEA de projeto (DFMEA) aplicada em uma análise de reclamação de campo de um componente de motor de combustão interna e na utilização de uma ferramenta FMEA de processo (PFMEA) aplicada no desenvolvimento de uma peça forjada à quente.

O objetivo é demonstrar os benefícios da utilização da ferramenta FMEA na indústria automobilística nas etapas de desenvolvimento do projeto de produtos e também no desenvolvimento do processo de produtos.

A conclusão que se espera chegar é que a utilização da ferramenta FMEA traz benefícios para as organizações que a utilizam, pois a ferramenta é um ótimo histórico de informações no desenvolvimento de projetos de produtos e também é uma ferramenta preventiva no desenvolvimento de processos de produtos.

## **2 DEFINIÇÕES E CONCEITOS**

### **2.1 Uma visão geral de FMEA**

Uma análise do tipo FMEA pode ser descrita como um grupo sistemático de atividades destinados em conhecer e avaliar falhas potenciais em produtos/processos, identificar ações que poderiam reduzir a possibilidade de ocorrência de falhas e documentar todo o processo.

Segundo Palady (2004), a FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas, é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos e é um diário de bordo do projeto, processo ou serviço.

As FMEA's enfocam sempre o projeto, quer seja do produto, do processo ou de serviço.

A FMEA é uma ferramenta de baixo risco, mais eficiente para a prevenção de problemas e identificações de soluções. Devido à tendência da indústria em geral na busca pela melhoria continua de seus produtos, processos e serviços, a utilização de ferramentas preventivas de qualidade torna-se cada vez maior para uma constante redução de custos, de reclamações em campo e também para o aumento de confiabilidade em sistemas.

"Palady (2004) informa que "o desenvolvimento e execução da FMEA gera custos, entretanto, quando feitos de forma eficaz podem resultar em um retorno significativo de qualidade e confiabilidade. O desenvolvimento e manutenção de uma FMEA exige tempo e dinheiro, sendo assim o retorno deste investimento deve ser substancial para a organização e para o cliente, em termos de redução de falhas".

A melhoria continua promove a redução de custos e conseqüentemente o aumento da competitividade da organização, desta forma, a organização aumenta sua carteira de clientes tornando-se uma empresa mais forte.

Segundo Berk (1997), as equipes são uma ferramenta importante para a solução de problemas e para a melhoria continua dos processos.

A execução dos trabalhos de uma análise do tipo FMEA deve ser realizada por uma equipe multifuncional, uma vez que a sinergia obtida pelo trabalho em equipe proporcionar resultados muito mais significativos e duradouros, pois existe o

comprometimento dos responsáveis pelos processos produtivos das organizações que fazem parte da equipe multifuncional.

Existem dois tipos principais de FMEA:

- FMEA de projeto (ou DFMEA),
- FMEA de processo (ou PFMEA),

Independente do tipo da ferramenta FMEA existem alguns elementos que são básicos à todas as versões, sem eles a contribuição final da ferramenta fica comprometida em termos de qualidade, confiabilidade. Os elementos básicos são:

- Identificação do problema;
- Investigação do problema;
- Identificação das potenciais causas do problema;
- Priorização das potenciais causas do problema;
- Acompanhamento das ações.

De uma forma mais precisa, uma análise do tipo FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe multifuncional.

## **2.2 Considerações iniciais para o desenvolvimento de uma FMEA**

Conforme Palady (2004), um dos erros mais comuns na implementação de uma FMEA é a falta de planejamento. O planejamento é fundamental para obter-se o melhor retorno da ferramenta.

Algumas questões são importantes de serem discutidas na fase de planejamento, como descritas a seguir:

- Quem deve ser o responsável?
- Quem deve participar e como deve participar?
- Devemos analisar o sistema, subsistema ou componente;
- Quando devemos começar a análise do tipo FMEA;
- Como podemos atribuir valores com eficiência e precisão;

Todas essas perguntas podem ser abordadas na fase de planejamento da ferramenta FMEA. O tempo dedicado a essa fase tornará o início do projeto mais lento, no entanto aumentará as chances de sucesso da ferramenta.

Um dos pontos mais importantes no desenvolvimento da ferramenta de análise é na escolha do responsável e da equipe multifuncional que irá realizar a análise do tipo FMEA.

"[...]Todas as análises do tipo FMEA devem ser atribuídas a um indivíduo. Essa pessoa é responsável pela duração, pelo orçamento e acima de tudo pela eficácia da ferramenta FMEA [...]". (PALADY, 2004, p.26). Frequentemente as organizações tentam distribuir a responsabilidade pela execução da FMEA de forma igual dentro da equipe, no entanto isso não se ajusta a nossa cultura, sendo necessário a definição de um responsável único. Existem organizações onde na própria descrição de cargo de uma função já está contemplada a responsabilidade pela execução e coordenação da FMEA.

Outro ponto importante no planejamento de uma FMEA é a escolha da equipe multifuncional. As análises do tipo FMEA eficazes exigem o verdadeiro trabalho em equipe.

A equipe deve ser formada, mas não limitada, as seguintes áreas:

- Engenharia (produto, processos, produção, materiais, qualidade, embalagem);
- Manufatura;
- Manutenção;
- Clientes e Fornecedores.

O grupo clientes / fornecedores normalmente não estão representados no desenvolvimento de uma análise do tipo FMEA e várias colunas da ferramenta não podem ser desenvolvidas com precisão sem informações de cliente ou fornecedor, desta forma é muito importante para melhorar a análise da ferramenta que informações oriundas de clientes e fornecedores sejam alimentadas na análise do tipo FMEA. Um acordo de propriedade autoral pode ser assinado por todas as partes envolvidas e anexada a FMEA para garantir a confidencialidade das informações provenientes de clientes e fornecedores.

A quantidade de pessoas na equipe também deve ser levada em conta. Como diretriz genérica, podemos adotar um grupo de 5 a 7 pessoas. Deve-se adotar antes do início dos trabalhos qual será a sistemática para a decisão sobre a nota que será adotada na FMEA, em função das várias opiniões da equipe. Sugestões podem ser pelo consenso da equipe, ou pela média das notas individuais, deste modo preservaremos a dinâmica da reunião.

É importante garantir que todos os membros da equipe da análise do tipo FMEA adquiram um nível funcional de compreensão de todas as exigências ou especificações do projeto / processo. Basicamente são quatro especificações que necessitam ser compreendidas:

- Especificações de engenharia;
- Especificações de confiabilidade;
- Especificações da qualidade;
- Especificações do cliente.

Quando uma análise de uma FMEA está completa?

Segundo STAMATIS, “uma análise do tipo FMEA pode ser considerada finalizada ou completa quando o sistema, projeto, produto, processo, ou serviço é considerado completo e/ou descontinuado. Especificamente, o sistema FMEA pode ser considerado finalizado quando todo o “hardware” foi definido e o projeto foi declarado congelado. Uma análise do tipo FMEA de projeto pode ser considerada finalizada quando a realização dos dados forem liberados. Uma análise do tipo FMEA de processo pode ser considerada finalizada quando todas as operações forem identificadas, avaliadas e todas as características críticas forem incluídas no plano de controle”.

## **2.3 FMEA de projeto**

Uma análise do tipo FMEA de projeto é uma técnica analítica usada pelo responsável pelo projeto juntamente com a equipe multifuncional, basicamente a equipe deve fazer duas perguntas sobre a análise do tipo FMEA de projeto.

- Como o projeto pode deixar de fazer o que deve fazer?
- Como devemos fazer para prevenir estas falhas potenciais do projeto?

A ferramenta FMEA de projeto dá suporte no desenvolvimento de produtos, reduzindo os riscos de falhas, por:

- auxiliar na avaliação objetiva do projeto, incluindo requisitos fundamentais;
- avaliar o projeto inicial em relação aos requisitos de manufatura, montagem, assistência técnica e reciclagem;



- desenvolver uma lista com pontuações dos modos de falha potenciais de acordo com seus efeitos no cliente;
- proporcionar referências e históricos para novos projetos.

A ferramenta FMEA de projeto é um documento dinâmico e deveria:

- ser iniciado antes ou na finalização do conceito do projeto;
- ser continuamente atualizado de acordo com as alterações ocorridas;
- estar fundamentalmente concluída antes da liberação dos desenhos de produção para a ferramentaria.

Considerando as necessidades da engenharia simultânea, a análise do tipo FMEA de projeto enfoca o objetivo do projeto e assume que o produto será manufaturado/montado, assim sendo, a análise do tipo FMEA de projeto não precisa contemplar modos de falhas potenciais ou causas potenciais durante a manufatura ou montagem, pois as mesmas serão analisadas durante a execução da análise do tipo FMEA de processo.

As entradas para uma análise do tipo FMEA de projeto são os requisitos esperados para o projeto, obtidos através de documentos onde estão determinados o que o projeto deve fazer e o que não deve fazer, devem ser incorporadas às necessidades e expectativas dos clientes. No caso da indústria automobilística, requisitos do veículo, requisitos regulamentares e governamentais também são considerados. Quanto melhor a definição das entradas melhor será a identificação dos modos de falhas potenciais para ações preventivas/corretivas.

Na figura 1 tem-se a seqüência da análise do tipo FMEA.



O objetivo da análise do tipo FMEA de projeto é analisar os tipos de falhas em potencial que possam ocorrer com os produtos ou serviços, originados pelas especificações do seu projeto, definindo assim as características críticas que serão incluídas no plano de controle do produto.

Em uma análise do tipo FMEA de projeto só serão considerados os tipos de falha relacionados com o projeto e com as especificações de materiais assumindo-se inicialmente que todos os itens a serem analisados serão, a princípio, manufaturados conforme especificações do seu projeto.

### 2.3.2 Funções e características

Na primeira etapa do desenvolvimento de uma análise do tipo FMEA aplicado ao projeto de um produto, são descritas as funções esperadas para cada um dos itens que compõem um sistema ou produto e suas características, requisitos de confiabilidade e qualidade.

Podemos identificar as funções e características de um item utilizando o seguinte modelo:

Função do item: Verbo no infinitivo + Substantivo + Características

Ex: Qual é a função de uma mola no sistema de aceleração de um veículo?

Retornar o mecanismo acionador.

Quais são as características ou os requisitos de qualidade e confiabilidade esperados para este item?

Suavidade e vida média esperada de 1000000 de ciclos.

Função da mola: Retornar o mecanismo acionador suavemente 1000000 de ciclos.

Caso o item em análise tenha múltiplas funções, devemos considerar e descrever cada uma das suas funções previstas, de forma isolada, como se fossem funções distintas, pois, para cada função pode existir um ou vários tipos de falha a ela associada.

Ex: Quais são as funções do parafuso "X"?

Fixar o componente A no componente B.

Alinhar os componentes A e B.

Fixar a placa Y no componente A

A descrição precisa das funções e das características de um item são essenciais em uma FMEA de projeto, uma vez que toda a análise do tipo de falha e seu efeito estará sempre baseada nas funções e características previstas consideradas em cada item.

### 2.3.3 Tipos de falhas

Tipo de falha é a descrição da forma de como um item poderia potencialmente falhar no desempenho de suas funções, ou não ser adequado ao atendimento das necessidades e expectativas de seus consumidores. Tipo de falha é a diferença física que existe entre um item que falhou e um item que não falhou.

Ex: Quebra, desgaste, vazamento, corrosão, etc.

Para melhor se identificar os tipos de falhas em potencial de um item devemos considerar quais são as funções esperadas para este item e, a seguir, identificar para cada uma destas funções quais são os tipos de falhas possíveis de ocorrer.

Em uma análise do tipo FMEA de projeto são comumente considerados os tipos de falha relacionados com:

**Contaminação** – Presença de um objeto ou material vindo de fonte externa para o interior da peça, sistema ou produto.

**Corrosão** – Deteriorização de uma ou mais características por agentes do meio ambiente.

**Desgaste** – Remoção mecânica na superfície de um material por adesão ou abrasão.

**Escoamento** – Alongamento ou fratura devido a uma única aplicação de carga em um período relativamente curto de tempo.

**Fadiga** – Quebra ou fratura devido a ciclos acumulativos de cargas.

**Fluência** – Alongamento ou fratura devido a aplicação de cargas em um período relativamente longo de tempo em altas temperaturas.

**Instabilidade físico química** – Alteração nas propriedades iniciais de um material, tais como: resiliência, volume composição, etc, em decorrência do tempo, da pressão, da temperatura, etc.

**Incompatibilidade dimensional** – Ajuste incorreto ou perda de folgas funcionais por acúmulo de tolerâncias.

**Instabilidade estrutural** – Mudança na forma ou geometria do produto causada pela aplicação de uma força externa

**Interferência eletromagnética/ eletrostática** – Funcionamento anormal ou falha de um componente, sistema ou produto devido a interferência eletromagnética ou eletrostática.

**Manufatura/ Pós Venda** – Processos não tem capacidade para atender as especificações de projeto.

#### **2.3.4 Efeito dos tipos de falhas**

Efeito da falha são conseqüências ou impacto de um tipo de falha supostamente ocorrido sobre outros itens, componentes, sistemas, produto, consumidores, ou a própria empresa.

Os efeitos os tipos de falha podem ser subdivididos em:

Efeitos principais ou relevantes estão relacionados com certos tipos de falhas características dos itens em análise, que se ocorrerem levam o item, sistema ou produto a perda de sua função principal, afetando os parâmetros de confiabilidade.

Ex: Inoperância – Queima do circuito – Travamento – Perda de controle – Acidente

Efeitos secundários ou não relevantes estão relacionados com certos tipos de falhas, que se ocorrem permitem a operação, ainda que degradada, de um item, sistema ou produto e não afetam os índices de confiabilidade.

Ex: Aumento do esforço – Ruídos – Desconforto

Como um tipo de falha pode ter vários efeitos possíveis, devido a suas formas de propagação, devemos descrever seqüencialmente todos estes efeitos, partindo do tipo de falha potencial do item em análise até o seu efeito no usuário final do produto.

Ex: Item – identificação: Mola 61XY4

Função do item no sistema/Produto: Retornar o mecanismo acionado suavemente 1000000 ciclos

Tipo de falha em potencial do item: Quebra

Efeito no sistema: Sistema “X” fica acionado

Efeito no produto: Perda de controle do veículo

Efeito no usuário final: Acidente/ Danos físicos.

Neste exemplo podemos observar que caso ocorra o tipo de falha em potencial o sistema “X” fica acionado, haveria perda de controle do veículo e existiria a probabilidade de haver um acidente, com danos físicos ao usuário.

Para uma melhor compreensão e análise crítica do impacto e/ou efeitos de um tipo de falha devemos, sempre que possível, fazer uma predição e tentar quantificar estes efeitos.

Ex: -Perda de 15% de potência

-Redução da vida útil em 500 horas

-etc.

A análise dos efeitos de um tipo de falha em potencial também nos auxilia a verificar a adequação do projeto, identificar ou definir:

-A necessidade de alteração no projeto em relação à inclusão de componentes em redundância ou em “stand-by” no produto (alocação da confiabilidade);

-O mérito ou a severidade considerada pela empresa para o efeito de cada tipo de falha.

### **2.3.5 Causa do tipo de falha**

Causa de um tipo de falha é a descrição sucinta das discrepâncias que podem dar origem a um determinado tipo de falha em potencial de um projeto.

Para identificarmos as causas comuns podemos utilizar inúmeras ferramentas da qualidade, como por exemplo, o diagrama espinha de peixe de Ishikawa, os 5 Por que's?, “Brainstorm”. São ferramentas de metodologia simples, mas que trazem um resultado satisfatório.

Ex: Material: Tipo de falha causado pela inadequação da especificação dos materiais.

Método: Tipo de falha causado pelo método utilizado para a especificação dos materiais.

Mão de obra: Tipo de falha causado pela falta de capacitação de mão de obra dos projetos.

Meio ambiente: Tipo de falha originado pelo meio ambiente – Poeira, Umidade, etc.

### **2.3.6 Formas de controle**

Neste item os responsáveis pela elaboração e verificação do projeto, descrevem quais foram as formas de controle efetivamente aplicadas no desenvolvimento do projeto para evitar a(s) causa(s) dos tipos de falha ou para detectar estes tipos de falhas em potencial, antes da liberação dos documentos de projeto.

As formas de controle em uma análise do tipo FMEA de projeto podem ser subdivididas em dois grupos:

- Prevenção e detecção.

#### **2.3.6.1 Formas de controle – Prevenção**

Nas formas de controle por prevenção relacionamos todas as sistemáticas utilizadas pela área de projeto com o objetivo de controlar preventivamente as causas de um tipo de falha, característica do projeto e assim evitar a ocorrência do tipo de falha.

- Ex:
- Procedimentos internos para execução de projetos.
  - Softwares utilizados
  - Roteiros de cálculos
  - Experiências anteriores ("best practices")

- Etc.

### **2.3.6.2 Formas de controle – Detecção**

Nas formas de controle por detecção relacionamos todas as atividades que foram efetivamente desenvolvidas pela área de projeto relacionadas à testes e ensaios, realizados com protótipos e pré-série com o objetivo de detectar todos os tipos de falhas em potencial do projeto de um produto antes da liberação final dos documentos de projeto.

- Ex:
- Peças testadas e aprovadas conforme norma"x"
  - Amostra inicial submetida a 1000000 ciclos
  - "Crash Test"
  - Testes de vida
  - Etc.

Conforme o manual de referência Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, para melhorar o índice de detecção deve-se atuar no sistema de validação ou verificação das atividades de projeto.

### **2.3.7 Índices**

A utilização de Índices em uma análise do tipo FMEA de projeto tem como objetivo estimar o risco em potencial de um produto ou serviço originado pelo seu projeto/ especificações.

Como já visto, para obter este risco em potencial consideramos os seguintes índices:

- Índice de severidade (IS): estima o impacto de um tipo de falha supostamente ocorrido.
- Índice de ocorrência (IO): estima a probabilidade de ocorrência de um tipo de falha.



- Índice de detecção (ID): estima a probabilidade da não detecção de um tipo de falha.
- Índice de Risco (IR): Estima o risco em potencial com base no seu impacto, na probabilidade da sua ocorrência e na probabilidade da sua não detecção, ou seja, é o produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção ( $IS \times IO \times ID$ ).

A parametrização destes índices varia de acordo com normas, autores e empresas. Duas escalas são geralmente utilizadas, de 1 a 5 e de 1 a 10.

Utilizando a escala de 1 a 5 teremos uma maior facilidade para predizer os índices de severidade, ocorrência e detecção de um tipo de falha em potencial, mas em contrapartida, perderemos a precisão do índice de risco e poderemos ter alguma dificuldade em priorizar ações corretivas com base no índice de risco estimado.

Com a escala de 1 a 10, ganhamos maior precisão na estimativa do índice de risco, mas para isto é necessário que se tenha uma definição muito clara do que cada um dos índices efetivamente representa para a empresa, evitando-se assim interpretações subjetivas.

Cada empresa deve definir, em função de seus produtos e serviços, mercado, clientes e da sua política de qualidade, quais são os parâmetros que caracterizam seus índices de severidade, ocorrência, detecção e os limites aceitáveis para o índice de risco.

### **2.3.7.1 Índice de severidade**

O índice de severidade em uma análise do tipo FMEA de projeto traduz o efeito/ impacto das falhas supostamente ocorridas em um projeto, aos processos, aos sistemas e ao produto e seus reflexos sobre os consumidores e a própria empresa.

Para estimar os índices de severidade de uma falha em uma análise do tipo FMEA de projeto podemos utilizar os seguintes critérios:

Tabela 1 – Índice de severidade FMEA de projeto.

Grau de severidade de Função	IS	Crerérios	Custo da falha
Mínimo 1	1	O efeito é imperceptível, só é reconhecido por pessoal altamente capacitado (inspetores/ auditores).	10
Pequeno 2 Cosmética	2	O efeito é uma perda gradual de função cosmética.	50
	3	O efeito é uma perda súbita de função cosmética.	100
	4		200
Médio 3 Secundário	5	O efeito é uma perda gradual de função secundária	500
		O efeito é uma perda de função secundária localizada	
	6	O efeito é uma perda de função secundária com danos a outros itens ou sistemas.	
Alto 4 Principal	7		5000
		O efeito é uma perda de função principal localizada	10000
	8	O efeito é uma perda de função principal com danos a outros itens ou sistemas.	
Muito alto 5 Segurança	9	O efeito é uma perda gradual de função de segurança.	50000
	10	O efeito é uma perda súbita de função de segurança.	100000

Fonte: Apostila de treinamento - VTB

Os índices de severidade só se alterarão quando forem alterados os projetos com a inclusão de itens ou sistemas em redundância ou “stand-by” ou quando houver reconsideração do mérito sobre o efeito de um tipo de falha.

Os critérios aqui apresentados para obtenção dos índices de severidade são apenas referenciais. Estes parâmetros devem ser definidos para cada empresa.

### 2.3.7.2 Índice de ocorrência

O índice de ocorrência aplicado a uma análise do tipo FMEA de projeto é um indicador da probabilidade de ocorrência de um determinado tipo de falha em um item, sistema ou produto, associado a cada uma das causas identificadas e as formas de controle por prevenção utilizadas.

As estimativas das probabilidades de ocorrência podem ser obtidas através de predições, ensaios de confiabilidade realizados com o item, dados históricos de projetos semelhantes, número de peças substituídas em garantia que apresentam este tipo de falha, etc.

Para estimarmos o índice de ocorrência pode-se utilizar como referência alguns critérios, tais como os indicados na tabela 2.

Tabela 2 - Índices de Ocorrência FMEA de projeto.

Frequência	IO	Critério	PPM
Mínima 1	1	É mínima a probabilidade de ocorrência, projetos semelhantes, de maneira geral, não apresentaram este tipo de falha.	< 10
Pequena 2	2	É pequena a probabilidade de ocorrência, projetos semelhantes, de maneira geral, apresentaram poucas falhas deste tipo.	100
	3		500
Média 3	4	É média a probabilidade de ocorrência, projetos semelhantes, de maneira geral, apresentaram, ocasionalmente, este tipo de falha.	1000
	5		2000
	6		5000
Alta 4	7	É alta a probabilidade de ocorrência, projetos semelhantes, de maneira geral, sempre apresentaram este tipo de falha.	10000
	8		20000
Muito alta 5	9	É muito alta a probabilidade de ocorrência, projetos semelhantes, de maneira geral, apresentaram com frequência este tipo de falha.	50000
	10		100000

Fonte: Apostila de treinamento - VTB

Os índices de ocorrência só se alteram quando são implementadas ações preventivas que atuando sobre as causas do tipo de uma falha, minimizam a ocorrência do tipo de falha em um projeto.

Os critérios aqui apresentados para obtenção dos índices de ocorrência são apenas referenciais. Estes parâmetros devem ser definidos para cada empresa.

### 2.3.7.3 Índice de detecção

O índice de detecção em uma análise do tipo FMEA de projeto é uma estimativa da probabilidade do não reconhecimento, pela área de projeto, dos diversos tipos de falha em potencial que um item, sistema ou produto possa apresentar.

É considerada, para o estabelecimento deste índice, a facilidade com que as formas de controle utilizadas pela área de projeto detectam ou detectariam os tipos de falhas em potencial do projeto de um item, sistema ou produto.

Os índices de detecção são influenciados basicamente por fatores relacionados com a representatividade dos ensaios e testes realizados, com o número de amostras ensaiadas, com a confiabilidade dos métodos de avaliação, etc.

A tabela 3 a seguir fornece uma referência para a estimativa dos índices de detecção, com base em algumas características do tipo de falha e dos processos empregados para seu controle/ inspeção.

Tabela 3 - Índice de Detecção FMEA de projeto

Probabilidade Local da detecção	ID	Critérios	%
Mínima 1			
Projeto	1	Inspeção automática – 100% atributos	<10%
Pequena 2	2	Inspeção automática – 100% variável	20%
Protótipo	3	Inspeção pelo operador – 100% atributo	30%
Média 3	4	Inspeção pelo operador – 100% variável	40%
Pré-produção	5	Inspeção automática – amostragem – atributo	50%
	6	Inspeção automática – amostragem – variável	60%
Alta 4	7	Inspeção pelo operador – amostragem – atributo	70%
Produção	8	Inspeção pelo operador – amostragem – variável	80%
Muito alta 5	9	Inspeção por ensaio sensorial	90%
Campo	10	Inspeção ou ensaio não realizado	100%

Fonte: Apostila de treinamento - VTB

Os índices de detecção só se modificarão quando forem feitas alterações na forma de controle por detecção ou inspeção sobre o tipo de falha.

Os critérios acima apresentados sugerem sugestões. Os índices e seus critérios devem ser definidos e ajustados para cada processo, tipo de falha, forma de controle utilizada, repetibilidade e reprodutibilidade do método.

### 2.3.7.4 Índice de Risco

O índice de risco em uma análise do tipo FMEA de projeto é o produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção dos tipos de falhas em potencial que possam ocorrer durante o desenvolvimento do projeto de um produto.

$$IR = IS \times IO \times ID \quad (2)$$

O índice de risco tem como função na FMEA de projeto:

- Estimar os riscos envolvidos.
- Identificar no projeto de um produto quais são os itens, sistemas e tipos de falhas mais críticos.
- Identificar e priorizar as ações aplicáveis.
- Avaliar a eficácia das ações efetivamente tomadas para minimizar as causas dos tipos de falhas, reduzir sua severidade e melhorar sua detecção.
- Avaliar a eficiência das ações corretivas.

Não existem parâmetros pré-definidos que estabeleçam os limites aceitáveis para um índice de risco, cada empresa estipula o valor de IR limite para tomada de decisões.

#### **2.3.7.5 Ações recomendadas**

Conforme o manual de referência Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, algumas ações recomendadas para melhorar o valor de IR são:

- Revisar geometria ou tolerâncias de projeto;
- Revisar especificações de material;
- Projeto de experimentos ou outra técnica para soluções de problemas;
- Revisão do plano de ensaios;

A tomada de ação tem como principal objetivo reduzir riscos e aumentar a satisfação dos clientes através do aperfeiçoamento do projeto.

O acompanhamento das ações deve ser realizado para verificar a implementação das mesmas e também assegurar o registro das modificações.

Em práticas gerais quando o índice de severidade é 9 ou 10, devemos dar atenção especial garantindo que haja controle de projeto ou ações preventivas/corretivas independente do IR.

Em todos os casos onde o efeito de um modo de falha potencial seja um risco para o usuário final, ações preventivas/corretivas devem ser consideradas para evitar o modo de falha, eliminando, aliviando, ou controlando a(s) causa(s).

## **2.4 FMEA de processo**

A análise do tipo FMEA de processo é uma técnica analítica usada pela equipe de manufatura/montagem com a finalidade de assegurar que os modos de falha potencial foram considerados e abordados, ou seja de uma forma mais objetiva a ferramenta de análise do tipo FMEA é o resumo dos pensamentos de uma equipe durante o desenvolvimento de um processo e inclui a análise de itens que poderiam falhar baseados na experiência e nos problemas passados. Esta abordagem sistemática, acompanha, formaliza e documenta o desenvolvimento de um processo.

As etapas da ferramenta FMEA de processo, podem ser descritas conforme a seguir:

- Identificar funções e requisitos do processo;
- Identificar modos de falha potencial relacionadas ao processo;
- Avaliar efeitos dos modos de falha potencial no cliente;
- Identificar as causas potenciais dos modos de falha do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que serão controladas para redução da ocorrência;
- Identificar variáveis de processo para controlá-las;
- Classificar os modos de falhas a fim de estabelecer prioridades nas ações de melhoria;
- Documentar os resultados.

A análise do tipo FMEA é um documento dinâmico que deveria ser iniciado:

- Antes ou durante o estágio de viabilidade;
- Antes do desenvolvimento das ferramentas de produção;
- Levar em considerações todas as operações de manufatura.

Na figura 2, tem-se o cronograma para o desenvolvimento do planejamento da qualidade do produto, e onde esta evidenciada o início do desenvolvimento da ferramenta do tipo FMEA de processo.

Conceito Início/ Aprovação	Aprovação do programa	Protótipo	Piloto	Lançamento
Planejamento		Planejamento		
Projeto e desenvolvimento do produto				
Projeto e desenvolvimento do processo				
(Aplicação da ferramenta FMEA)				
Validação do produto e processo				
		Produção		
Análise de retroalimentação e ação corretiva				

Figura 2 – Cronograma de planejamento da qualidade do produto.

A ferramenta do tipo FMEA de processo assume que o produto, da forma como foi projetado, irá atender as objetivo do projeto. Os modos de falha potencial que ocorrem devido a deficiências do projeto podem ser incluídas na análise do tipo FMEA de processo, no entanto seus efeitos e ações para evita-los estão cobertos na análise do tipo FMEA de projeto.

Durante o planejamento do processo de manufatura ou montagem deve levar em consideração as características de projeto do produto de forma a assegurar que, na extensão do possível o produto resultante atenda a necessidades e expectativas do cliente.

Pode-se desenvolver a análise do tipo FMEA de projeto juntamente com a FMEA de processo, embora em reuniões diferentes. As informações extraídas de cada um tendem a influenciar mutuamente seu desenvolvimento.

A análise do tipo FMEA de processo inicia-se com o fluxograma do processo global. Este fluxograma deveria identificar as características do produto/processo associadas a cada operação.

Na figura 3, tem-se a seqüência da análise do tipo FMEA, este formulário tem a finalidade de ser um “check-list” durante a execução da ferramenta, para que nenhum passo seja esquecido.





Os objetivos da análise do tipo FMEA de processo são, atuar de forma preventiva no desenvolvimento do processo para os modos de falhas estudados, minimizando o aparecimento de peças não conformes, melhorar a comunicação interna e entendimento dos requisitos dos clientes na equipe multifuncional, identificar os modos de falha em potencial que possam ocorrer com os produtos ou serviços, originados por deficiência na execução dos seus processos, definir as características chaves do processo, quantificar as deficiências do processo.

#### **2.4.2 Item ou Função do processo.**

É a descrição simplificada do item ou função do processo em análise, por exemplo, furar, torner, soldar, forjar, tendo como base o fluxograma global do processo, onde estão descritos todas as etapas do processo do produto.

Pode-se identificar as funções do processo, utilizando o seguinte modelo.

Função do processo: Verbo no infinitivo + substantivo + características

Ex.: Torner diâmetro 10,0 mm

Em uma análise do tipo FMEA de processo só serão considerados os tipos de falhas e os riscos relacionados com o processo, assumindo-se inicialmente que as especificações de projeto estão adequadas.

Onde o processo envolve uma série de operações, é aconselhável listar e analisar cada uma das operações separadamente, analisando os potenciais problemas envolvidos naquela operação em particular.

#### **2.4.3 Modo de Falha Potencial**

O modo de falha potencial é definido como a maneira pela qual o processo potencialmente falharia em atender aos requisitos do processo, conforme descrito na coluna função do processo, isto é a descrição de uma não conformidade nesta operação específica.

Os tipos de falhas podem ser subdivididos em:

**Atributos:** são aqueles tipos de falhas características de um processo em análise que independem das especificações de projeto. Por exemplo, rebarbas em peças estampadas, porosidade em peças fundidas, dobras em peças forjadas.

**Variáveis:** são aqueles tipos de falhas diretamente relacionadas com as especificações do projeto. Por exemplo, diâmetro 10,0 +/-0,2 mm está com 9,5mm.

Também devem ser relacionados outros tipos de falhas em potencial tais como: Erros nos equipamentos, erros do operador, contaminações e transporte.

Ao identificarmos um tipo de falha em potencial não estamos afirmando que um processo vai ou não apresentar o tipo de falha, mas sim que há uma potencialidade para a sua ocorrência.

As não conformidades analisadas na operação específica podem ser oriundas de etapas anteriores e associadas a etapas posteriores, que são as interfaces do processo, entretanto na preparação da análise do tipo FMEA é suposto que os materiais ou peças vindas dos processos anteriores estejam corretos. Exceções podem ser feitas pela equipe quando históricos indicam deficiências na qualidade das peças vindas de processos anteriores.

#### **2.4.4 Efeito dos modos de falha**

Efeito da falha são as conseqüências ou o impacto de um modo de falha, supostamente ocorrido em um processo, sobre outros itens, sistemas, ou sobre o cliente. A descrição do efeito do modo de falha deveria utilizar termos que seriam observados ou experimentados pelo cliente, lembrando que pode ser tanto o cliente interno ou cliente final.

Os efeitos de um tipo de falha podem ser subdivididos em:

Efeitos principais ou relevantes são efeitos relacionados com características de processo, que se ocorrerem levam produto a perda de sua função principal, afetando os parâmetros de confiabilidade, segurança e as obrigações de legislações.

Efeitos secundários ou não relevantes são efeitos relacionados com características de processo que se ocorrerem permitem a utilização do produto,

sistema/serviço, mas com uma insatisfação ou queda no rendimento, não afeta os parâmetros de confiabilidade.

Como um modo de falha pode ter vários efeitos possíveis, devemos descrever seqüencialmente todos esses efeitos, partindo do modo de falha em potencial e chegando até o nível do usuário final. Em alguns casos devido a funções ou características dos processos produtivos, os efeitos de um tipo de falha poderão ficar restritos ao processo de manufatura do produto ou serviço. É o caso da maioria de peças forjadas, uma vez que essas peças apresentam processos posteriores a forja que acabam “corrigindo” o efeito potencial, não atingindo o nível de montagem e conseqüentemente o usuário final, um exemplo é a cadeia automotiva.

#### **2.4.5 Causa do modo de falha**

Causa de um modo de falha é a descrição sucinta das causas comuns que, efetivamente podem contribuir para o aparecimento de um determinado tipo de falha de um processo. A causa do modo de falha é definida como a forma pela qual a falha poderia ocorrer, descrita em termos de alguma coisa que possa ser corrigida ou controlada.

Se uma causa é exclusiva de um modo de falha, isto é, se a correção ou controle desta causa tem influência direta no modo da falha, então esta parte da análise do tipo FMEA esta completa. Entretanto muitas causas não são mutuamente exclusivas, e para corrigir ou controlar essas causas, devem ser determinados quais são os principais fatores podem ser mais facilmente controladas ou corrigidos. (por exemplo pode-se utilizar o delineamento por experimentos DOE como ferramenta para verificar a relação entre as causas.)

Para identificar as causas comuns pode-se utilizar algumas ferramentas da qualidade, como por exemplo, o diagrama espinha de peixe de Ishikawa, os 5 Por que's?, um “Brainstorm”.

As causas deveriam ser descritas de forma clara e que medidas de correção possam ser tomadas. Deve-se evitar descrições ambíguas e genéricas.

#### **2.4.6 Controles atuais do processo.**

Controles atuais do processo são as descrições dos controles que podem detectar ou prevenir a ocorrência do modo de falha ou da causa do modo de falha

Neste item os responsáveis pela elaboração e verificação do processo, descrevem quais são as formas de controle formalmente estabelecidos no processo em análise para controlar preventivamente e evitar a causa dos tipos de falhas ou pela área da qualidade para detectar esse tipo de falha antes da peça ser expedida para o cliente.

Estes controles podem ser controles de processo, como o controle estatístico de processo, ou dispositivos a prova de erro, ou ainda verificações após o processo. A avaliação pode ocorrer na própria operação ou em operações subseqüentes.

As formas de controle são subdivididas em:

- Prevenção
- Detecção

##### **2.4.6.1 Controle de prevenção**

Esse tipo de controle previne a ocorrência da causa da falha ou o modo de falha. (Ex. Troca periódica das ferramentas, treinamento do pessoal, aferição periódica de equipamentos).

São considerados também como formas de controle por prevenção a alocação de equipamentos/dispositivos que por atuarem sobre as causas dos tipos de falha reduzem a probabilidade de ocorrência. (Ex. Sensores, reguladores automáticos, timer's).

##### **2.4.6.2 Controle por detecção**

Esse tipo de controle detecta a causa da falha ou modo de falha, e conduz a uma ação corretiva, ou seja, detectar e impedir que um produto seja expedido para o cliente interno ou externo. As alocações de sensores automáticas, também reduzem a probabilidade da não detecção da falha.

Quanto mais eficaz for a forma de inspeção prevista, menor será a probabilidade de uma falha potencial não ser detectada e chegar ao cliente.

#### **2.4.7 Índices**

A utilização de índices na análise do tipo FMEA de processo tem como objetivo estimar o risco em potencial de um produto em relação aos tipos de falha de seus processos. A equipe deveria concordar com um critério para a avaliação dos índices e o valor adotado deveria ser consenso da equipe. Para obter esse risco, trabalha-se com os seguintes índices.

##### **2.4.7.1 Índice de Severidade “IS”**

Severidade é uma classificação associada ao efeito mais grave para um dado modo de falha. Esse índice só poderá ser alterado quando for alterado o projeto do produto, ou quando houver um re-projeto do processo.

Essa análise de severidade auxilia na necessidade de alterar o projeto do produto, com a inclusão de componentes em redundância, ou em “stand-by” no produto (Alocação de confiabilidade). Um exemplo dessa sistemática é a indústria aeronáutica, onde muitos componentes são duplicados para garantir uma maior confiabilidade do sistema como um todo.

Se o cliente afetado pelo modo de falha estiver fora da planta de manufatura, por exemplo, o cliente externo é indicado a consulta do mesmo para avaliar em conjunto os valores de severidade.

Os valores de severidade entre 9 ou 10 implicam em questões de segurança do produto e condições de não cumprimento de legislação governamental. Atenção especial deve ser dada para severidade nesses valores.

A tabela 4 ilustra valores de referência para o índice de severidade.

Tabela 4 - Índices de severidade FMEA de processo.

Índice	Severidade	Critério
1	Nenhuma	Sem efeito identificado, pequena inconveniência no operador ou na operação.
2	Muito Menor	Defeitos identificados por clientes apurados, uma parte menor que 100% terá que ser retrabalhada dentro ou fora da estação de trabalho.
3	Menor	
4	Muito Baixo	Veículo operante, mas cliente insatisfeito, Produtos podem ser retrabalhados ou produtos menor que 100% serem sucateados sem inspeção.
5	Baixo	
6	Moderado	
7	Alta	Veículo operante mas com níveis de desempenho reduzido ou veículo inoperante, 100% dos produtos serem sucateados
8	Muito Alto	
9	Perigo com aviso prévio	Não conformidades com o veículo em relação a segurança do usuário, legislação governamental, perigo do operador ou máquina
10	Perigo sem aviso prévio	

Fonte: Requisitos do sistema da qualidade QS9000.

#### 2.4.7.2 Índice de Ocorrência "IO"

Ocorrência é a probabilidade que um mecanismo/causa específica de falha irá ocorrer. Essa probabilidade pode ser feita baseando-se em dados estatísticos, como o Cpk do processo em análise ou de processos semelhantes, ou também através dos históricos dos indicadores da qualidade, como refugo, retrabalho, reclamações de clientes. Esse índice é relativo dentro do escopo da análise do tipo FMEA e não reflete a real probabilidade de ocorrência da causa.

Os índices de ocorrência só alteram-se quando ações preventivas e ações de controle são implementadas sobre as causas de um tipo de falha.

A tabela 5 ilustra valores de referência para o índice de ocorrência.

Tabela 5 - Índices de ocorrência FMEA de processo.

Índice	Ocorrência	Proporção	Cpk
1	Remota	< 0,01 por mil peças	>1,67
2	Baixa	0,1 por mil peças	>1,00
3		0,5 por mil peças	
4		1 peça por mil	
5	Moderada	2 peças por mil	<1,00
6		5 peças por mil	
7		10 peças por mil	
8	Alta	20 peças por mil	
9		50 peças por mil	
10		> 100 peças por mil	

Fonte: Requisitos do sistema da qualidade QS9000.

#### 2.4.7.3 Índice de detecção "ID"

Detecção é a classificação com o melhor controle de detecção ilustrado na análise do tipo FMEA, ou seja esse índice reflete o quanto o sistema de medição da organização é eficiente para detectar o modo de falha quando ele ocorrer. Esse índice somente poderá ser alterado se tomarmos ações nos sistemas de medição e pontos de controle.

Não deve-se assumir automaticamente uma detecção baixa devido a uma baixa ocorrência, mas avaliar a capacidade dos controles de processo em detectar baixa frequência de modos de falha ou preveni-los de ocorrer no processo.

Verificações aleatórias não levam a uma redução do índice de detecção. A amostragem deve ter uma base estatística para ser validada como controle de detecção.

A tabela 6 a seguir ilustra valores de referência para o índice de detecção.

Tabela 6 - Índices de detecção FMEA de processo.

Índice	Deteção	Critério
1 2	Muito grande	Certamente será detectado, medição automática com dispositivo de parada automática.
3 4	Grande	Grande probabilidade de ser detectado, detecção de erros na estação ou operações subseqüentes, variáveis dimensionais.
5 6	Moderada	Provavelmente será detectado, dispositivos PNP e por controle estatístico de processo
7 8	Pequena	Provavelmente não será detectado, dupla inspeção visual
9 10	Muito pequena	Certamente não será detectado, verificação aleatória ou não pode ser detectado.

Fonte: Requisitos do sistema da qualidade QS9000.

#### 2.4.7.4 Índice de Risco “IR”

O índice de risco é o produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção.

$$IR = IS \times IO \times ID \quad (2)$$

#### 2.4.8 Ações recomendadas.

A análise do valor absoluto de um índice de risco (IR) é insuficiente na maioria dos casos, para determinar prioridades para a tomada de ações no processo, desta forma no processo de priorização de ações, os índices de severidade e ocorrência devem ser avaliados independentemente do valor de índice de risco.

A avaliação da equipe para ações corretivas e preventivas deveria ser primeiramente direcionadas para alta severidade, alto IR e outros itens designados pela equipe como relevantes. O objetivo das ações é reduzir os índices na seguinte ordem: severidade, ocorrência e detecção.



Conforme Palady (2004), além de selecionar os IR's mais elevados, a equipe deve, com o auxílio de qualificadores (alta prioridade, média e baixa), analisar os mais altos índices de severidade e de ocorrência para priorizar ações, fornecendo uma nova abordagem gráfica para a análise da ferramenta do tipo FMEA. Essa nova abordagem é chamada gráfico de áreas. Na figura 4, segue uma ilustração do gráfico de áreas.

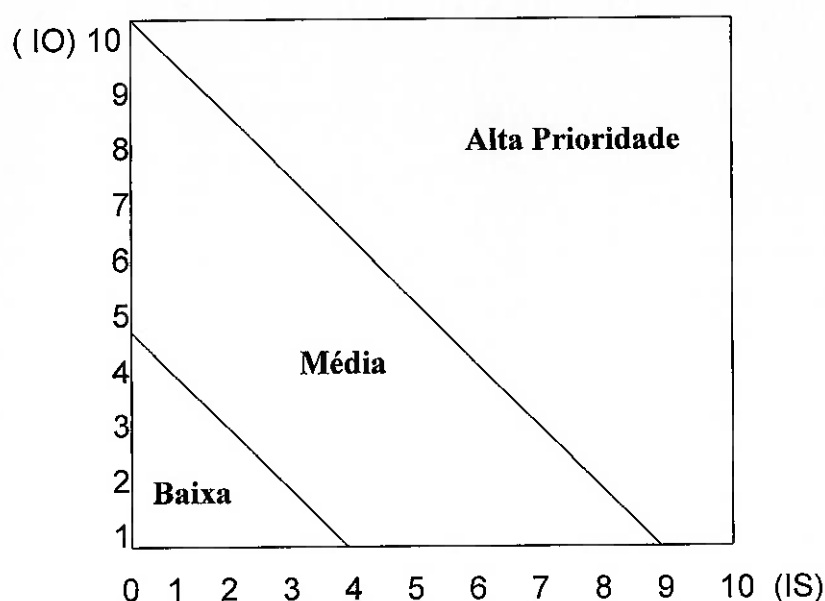


Figura 4- Ilustração do gráfico de áreas.

Como prática geral, atenção especial deve ser dada para índices de severidade 9 ou 10, independente do valor de IR, pois para esses valores o modo de falha pode ser perigoso para o pessoal da manufatura, assim ações corretivas devem ser tomadas para a eliminação ou controle da causa, ou uma proteção adequada para o operador.

Na análise do tipo FMEA de processo tem-se autonomia para reduzir o Índice de Risco, trabalhando com os índices de ocorrência e detecção, uma vez que o índice de severidade é alterado somente com alterações no projeto do produto.

A equipe multifuncional na análise do tipo FMEA atuando na diminuição do índice de ocorrência, ela está sendo pro ativa e trabalhando na melhoria contínua do processo. Quando a equipe atua no índice de detecção, a melhoria nos meios de

medição agrega custo e é ineficaz na melhoria dos processos. A melhor forma de reduzir o índice de detecção é através da utilização de dispositivos a prova de erro.

#### **2.4.9 Resultados das ações;**

Após as ações corretivas/preventivas terem sido identificadas, a equipe estima e registra os índices resultantes de severidade, ocorrência e detecção.

Calcula-se novamente o índice de risco, sendo analisado criticamente e se necessário toma-se outras ações para a melhoria do processo. O foco deve ser sempre a melhoria continua.

O acompanhamento das ações faz-se necessário para verificar a implementação e eficácia das mesmas e também para registrar as informações obtidas. A análise do tipo FMEA é um documento dinâmico que deveria sempre refletir o último nível de alteração do projeto, e as últimas ações relevantes implementadas no processo, mesmo após o início da produção do produto.

### 3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

O princípio da metodologia é o mesmo independente da análise do tipo FMEA (projeto, processo ou sistema). De uma maneira mais precisa, uma análise da ferramenta do tipo FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe durante o desenvolvimento de um produto ou processo e inclui a análise de itens que poderiam falhar baseados na experiência e nos problemas passados. Abaixo segue alguns passos que devem ser adotados para a melhor aplicação da ferramenta.

Definição do responsável, o responsável pela análise do tipo FMEA, tem a função de organizar a equipe de trabalho e sistematizar a utilização da ferramenta, agendar as reuniões, realizar o acompanhamento das ações recomendadas, realizar a retroalimentação da ferramenta e também reportar-se a alta direção sobre os resultados dos trabalhos.

Equipe de trabalho, no início do desenvolvimento da análise do tipo FMEA, o responsável deve direta e ativamente organizar uma equipe multifuncional composta por todas as áreas envolvidas. Esta equipe deve incluir, mas não se limitar as seguintes áreas: engenharia, produção, logística, qualidade e em alguns casos os fornecedores e clientes externos.

Muitas vezes, a presença de um facilitador nas reuniões auxilia nas atividades da equipe, ou seja, um especialista na ferramenta. A função da equipe é através dos efeitos determinar potenciais causas e propor ações.

Para desenvolver sistematicamente a ferramenta, necessita-se seguir algumas etapas, que estão abaixo relacionadas:

- Através do diagrama de blocos do projeto ou diagrama de fluxo de processo, identificar as funções e requisitos do processo a serem analisados;
- Identificar os modos de falhas potenciais relacionados ao produto ou processo;
- Avaliar os efeitos potenciais das falhas;
- Identificar as causas potenciais de falhas do produto ou processo e as variáveis que deverão ser controladas para a redução da ocorrência ou melhoria da detecção das falhas;
- Identificar as variáveis para enfocar os controles do processo;

- Classificar os modos de falhas potenciais, estabelecendo-se assim um sistema de priorização para a tomada de ações preventivas/corretivas. (Existem literaturas que servem de referencia para os índices de severidade, ocorrência e detecção, como por exemplo a norma técnica da Associação da Industria Automobilística – VDA e também os Requisitos do Sistema da Qualidade – QS9000).
- Documentar os resultados obtidos, para documentar a aplicação da sistemática e gerar o relatório.

Nas figuras 1 e 3 foram apresentadas esquematicamente o formato da ferramenta de análise do tipo FMEA. Essas planilhas disponíveis são importantes, pois funcionam como um “check-list”, ou seja, os passos a serem cumpridos estão determinados no próprio relatório evitando-se assim esquecimentos da equipe multifuncional.

Para os estudos de caso a análise do tipo FMEA de projeto, ira-se trabalhar com o valor de  $IR > 50$  para a tomada de ações. Na análise da ferramenta do tipo FMEA de processo será adotado para tomada de ações  $IS > 7$  ou  $IR > 100$ .

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 FMEA de projeto

#### 4.1.1 Descrição da organização.

A organização em que foi aplicado o estudo de caso para FMEA de projeto é uma das maiores montadoras de veículos do mundo. Situada no Brasil a mais de 80 anos a empresa conta com instalações e escritórios regionais espalhados pelo país. Em sua totalidade são mais de 15000 funcionários.

A empresa segue a seguinte divisão departamental:

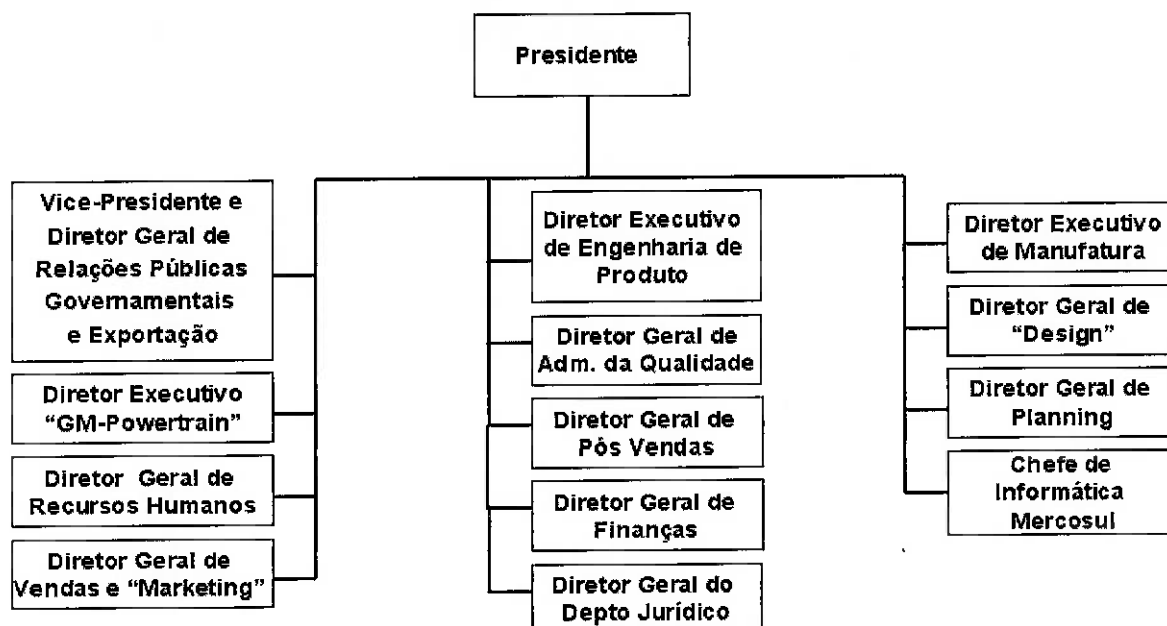


Figura 5 – Ilustração da divisão departamental.

Sua produção tem capacidade suficiente para atender todo o território nacional e também exportações.

#### 4.1.2 Descrição do sistema a ser analisado: Motor de combustão interna de quatro tempos.

A maioria dos automóveis hoje em dia possuem motores de combustão interna que seguem o ciclo de quatro tempos, conhecido geralmente por ciclo Otto, nome dado pelo engenheiro alemão N. A. Otto.

O motor ciclo Otto é o motor de combustão interna no qual a mistura (ar/combustível) se inflama através de uma centelha elétrica ocasionando a queima da mistura e a expansão dos gases. A expansão dos gases ocasiona o deslocamento retilíneo do pistão dentro da câmara de combustão. Vide figura 8.

Com a impulsão do pistão a biela transmite a energia da combustão para o virabrequim transformando o movimento retilíneo em movimento alternativo.

##### 4.1.2.1 Descrição dos componentes.

**Pistão:** É a parte móvel da câmara de combustão. Recebe a força de expansão dos gases queimados transmitindo-a à biela por intermédio de um pino.

**Biela:** Braço de ligação entre o pistão e o virabrequim; recebe o impulso do pistão, transmitindo-o ao virabrequim.

**Virabrequim ou árvore de manivelas:** Eixo motor propriamente dito, o qual na maioria das vezes é instalado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe imprimem movimento.

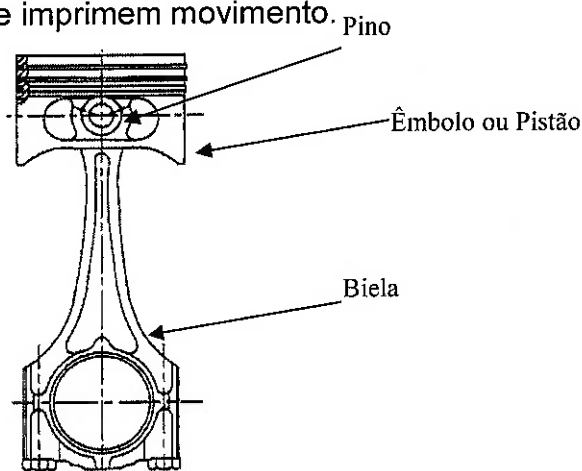


Figura 6 - Ilustração do êmbolo conjunto completo.

#### 4.1.2.2 Os quatro tempos do ciclo Otto.

Os quatro tempos do ciclo Otto são:

1º tempo - Admissão: À medida que o pistão move-se do ponto morto superior (PMS) para o ponto morto inferior (PMI) (vide figura 3 e 4), a válvula de admissão se abre e a mistura de ar e combustível vaporizada é aspirada para o interior do cilindro. O virabrequim efetua meia volta ( $180^\circ$ ).

2º tempo - Compressão: A seguir a válvula de admissão fecha-se. A medida que o pistão desloca-se para o PMS, comprime a mistura de combustível e ar. O virabrequim executa outra meia volta. Completando a primeira volta completa ( $360^\circ$ ).

3º tempo - Combustão: Pouco antes do pistão atingi o PMS o sistema de ignição transmite corrente elétrica à vela, fazendo saltar uma centelha entre os eletrodos desta, que inflama a mistura fortemente comprimida. Os gases em expansão, resultantes da combustão, forçam o pistão do PMS para o PMI. O virabrequim efetua outra meia volta ( $540^\circ$ ).

4º tempo - Escape: Depois da queima da mistura e expansão dos gases, a válvula de escape se abre. Os gases queimados são forçados para fora do cilindro, quando o pistão se movimenta do PMI para o PMS. O virabrequim executa outra meia volta, completando a segunda volta completa ( $720^\circ$ ). Uma vez que o pistão realiza quatro tempos, admissão, compressão, combustão e escape, o nome técnico desta operação é ciclo de quatro tempos. É importante salientar que nos motores de quatro tempos somente no tempo de combustão, se produz energia mecânica, enquanto que os outros três tempos são passivos, isto é, absorvem energia.

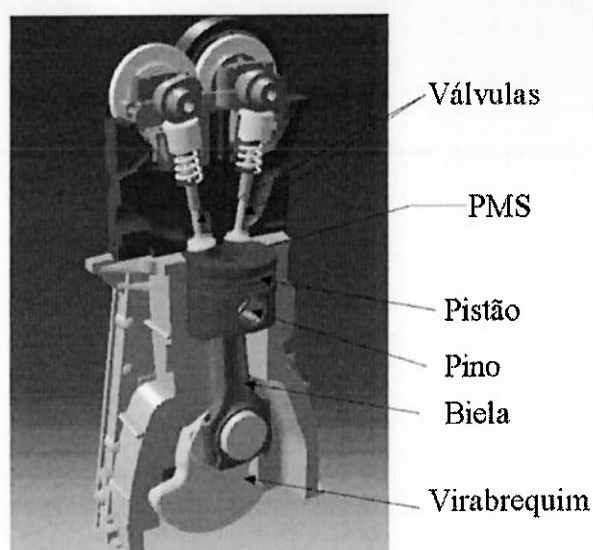


Figura 7 - Ilustração de cabeçote de motor de combustão no PMS.

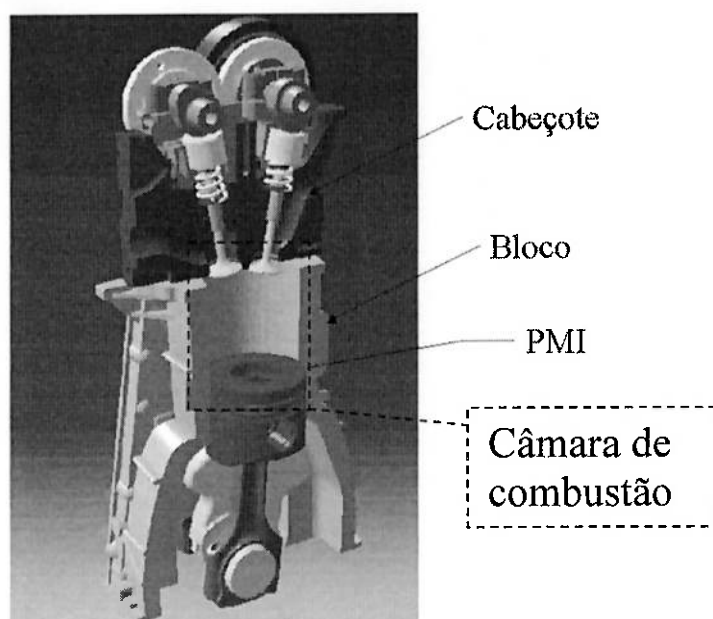


Figura 8 - Ilustração de cabeçote de motor de combustão no PMI.

#### 4.1.3 Equipamentos e métodos

Para a detecção de falhas no sub-conjunto êmbolo conjunto completo comumente são empregados quatro testes, são estes:

- Partida a frio ("Cold Scuffing"): teste feito em câmara fria com partidas no motor a  $-20^{\circ}\text{C}$ .



- Marca de pistão ("Piston Marking"): teste do motor com a borboleta ("throttle") toda aberta na rotação de potência máxima.
- Teste em rotação máxima ("Hot Scuffing"): teste com motor em rotação máxima (6200 r.p.m.) durante 10 horas para verificar "scuffing" (arraste da saia do pistão).
- Durabilidade ("Durability"): teste do motor com variação de rotação durante aproximadamente 400 horas.

Também é executada a montagem de protótipos para a detecção de falhas.

#### 4.1.4 Trabalho prático

Este estudo foi executado tendo como base um caso existente sobre o desenvolvimento de um novo sub-sistema de motor, sendo este, o êmbolo conjunto completo.

O êmbolo conjunto completo (fig.6) é componente integrante do mecanismo básico de conversão de energia térmica em energia mecânica.

No processo de combustão interna uma massa conhecida de ar-combustível é completamente queimada, este processo transforma a energia química contida nesta mistura em energia térmica. A função do conjunto completo do êmbolo é transformar a energia térmica resultante do processo de combustão da mistura gasosa em energia mecânica. Uma outra particularidade deste conjunto é transformar a energia gerada na combustão em trabalho mecânico de movimento alternativo.

Um desenho tabela informava as especificações de montagem da biela no pistão para a manufatura por uma cota (19,3 a 30,6mm), que seria a posição requerida da biela em relação ao pino e o mancal do pistão, conforme figura a seguir:

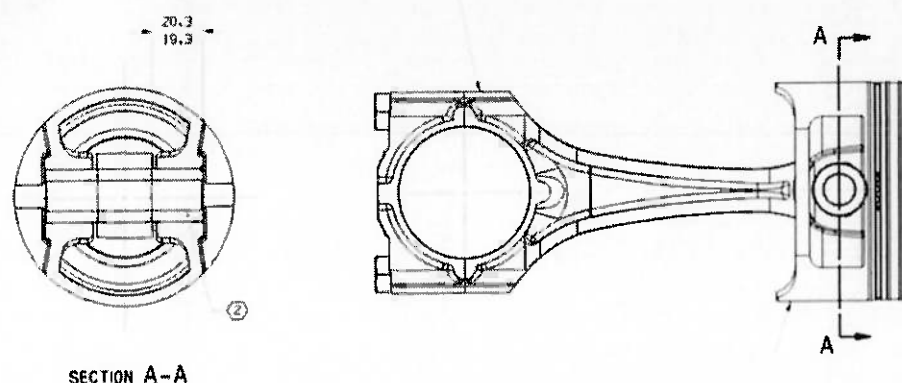


Figura 9 - Ilustração da dimensão requerida para montagem de pino, pistão e biela.

À medida que novos conjuntos de pistão eram criados, independente do fabricante, estes eram adicionados ao desenho tabela. Como os conjuntos adicionados neste desenho eram de fornecedores diferentes, com projetos diferentes, a cota que orientava a montagem não era válida para todos os projetos. Por isso a manufatura realizava a montagem baseada na mesma cota, ou seja, para pistões de certos fornecedores a montagem entre pistão, pino e biela saía errada, com a biela fora de simetria entre pino e mancal de pistão originando uma montagem inadequada.

Se e quando esta descentralização entre pino e biela ocorresse após a montagem, como efeito desta falha, notaríamos o desequilíbrio da carga no cubo do êmbolo do pistão podendo ocasionar seu desgaste prematuro e ruído.

Esta ferramenta FMEA de projeto foi a chave para a tomada de ação e alteração do projeto.

Para a análise do tipo FMEA de projeto foi estipulado um  $IR = 50$ . Ações foram tomadas quando analisado que o produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção atingiram ou ultrapassaram o valor 50.

Em práticas gerais quando o índice de severidade é 9 ou 10, devemos dar atenção especial garantindo que haja controle de projeto ou ações preventivas/corretivas independente do IR.

Em casos onde o efeito de um modo de falha potencial seja um risco para o usuário final, ações preventivas/corretivas devem ser consideradas para evitar o modo de falha, eliminando, aliviando, ou controlando a(s) causa(s). Mas, como pode ser observado, não foi o caso neste estudo.

Visto que a especificação de montagem não abrangia todos os conjuntos, uma pequena, mas indispensável alteração na especificação foi feita. Eliminou-se a cota de informação de montagem e adicionou, em sua substituição, uma nota de orientação geral de montagem válida para qualquer projeto contendo os seguintes dizeres:

-“Manter simetria da biela no pino dentro de  $\pm 0,5\text{mm}$ ”.

Agora para qualquer projeto de pistão, de qualquer fornecedor, não encontramos mais descentralização entre biela, pino e mancal de pistão.

As tabelas 7 a 9 servem de base para classificar os índices de severidade, ocorrência e detecção. Estas tabelas foram utilizadas no desenvolvimento do estudo de caso da análise do tipo FMEA de projeto para atribuir-se os respectivos índices de severidade, ocorrência e detecção.

Tabela 7 - Índices de severidade FMEA de projeto utilizada no caso.

Efeito	Critério: Severidade do Efeito	IS
Perigoso sem aviso	Índice de Severidade muito Alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso	Índice de Severidade muito Alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito Alto	Veículo/Item inoperável (perda das funções primárias).	8
Alto	Veículo/Item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	7
Moderado	Veículo/Item operável, mas com item de conforto/conveniência inoperável. Cliente insatisfeito.	6
Baixo	Veículo/Item operável, mas com item de conforto/conveniência operando com nível de desempenho reduzido. Cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito Baixo	Item de forma/acabamento, chiado/barulho não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75% )	4
Menor	Item de forma/acabamento, chiado/barulho não conforme. Defeito notado por 50% dos clientes.	3
Muito Menor	Item de forma/acabamento, chiado/barulho não conforme. Defeito notado por clientes apurados (menos que 25%)	2
Nenhum	Sem efeito perceptível	1

Fonte: SAE – Surface Vehicle Recommended Practice – SAEJ1739

Tabela 8 - Índices de ocorrência FMEA de projeto utilizada no caso.

Probabilidade de falha	Possíveis taxas de falhas	IO
Muito alta : Falhas persistentes	$\geq 100$ por mil veículos/ itens	10
	50 por mil veículos/ itens	9
Alta : falhas freqüentes	20 por mil veículos/ itens	8
	10 por mil veículos/ itens	7
Moderada: falhas ocasionais	5 por mil veículos/ itens	6
	2 por mil veículos/ itens	5
Baixa: relativamente baixas falhas	1 por mil veículos/ itens	4
	0,5 por mil veículos/ itens	3
Remota: falha é improvável	0,1 por mil veículos/ itens	2
	$\leq 0,010$ por mil veículos/ itens	1

Fonte: SAE – Surface Vehicle Recommended Practice – SAEJ1739

Tabela 9 - Índices de detecção FMEA de projeto utilizada no caso.

Deteção	Critério: probabilidade de detecção por controle de projeto	ID
Absoluta incerteza	Controle de projeto não ira e/ou não pode detectar uma potencial/ causa mecanismo e subseqüente modo de falha; ou não há controle de projetos	10
Muito remota	Chance muito remota do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	9
Remota	Chance remota do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	8
Muito baixa	Chance muito baixa do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	7
Baixa	Chance baixa do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	6
Moderada	Chance moderada do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	5
Moderadam ente alta	Chance moderadamente alta do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	4
Alta	Chance alta do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	3
Muito alta	Chance muito alta do controle de projetos ira detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	2
Quase certa	Controle de projeto ira quase certamente detectar uma potencial causa / mecanismo e subseqüente modo de falha.	1

Fonte: SAE – Surface Vehicle Recommended Practice – SAEJ1739

A planilha da FMEA de projeto segue no apêndice I.

## **4.2 FMEA de Processo**

### **4.2.1 Descrição da organização e do processo a ser analisado: Forjamento à quente.**

A organização na qual esta sendo aplicada a metodologia da análise do tipo FMEA, é uma empresa metalúrgica do segmento de forjaria, que atua no mercado de peças sob encomenda, tendo participação nos mercados automobilísticos, agrícolas e de máquinas de construção e terraplanagem. Conta com uma estrutura de aproximadamente 180 funcionários, trabalhando em dois turnos produtivos. Atualmente sua capacidade instalada é para produzir 400 toneladas de peças. A hierarquia da empresa esta baseada em quatro níveis de trabalho (direção, gerência, supervisão e liderança).

O maquinário da empresa é composto pelos seguintes equipamentos:

- prensas de fricção de 250 à 800 toneladas;
- prensas de excêntricas de 50 à 250 toneladas;
- marteletes pneumáticos 100 à 150 toneladas;
- fornos de aquecimento (indução, gás e óleo BPF).

A empresa conta também com processos de apoio como ferramentaria, manutenção e inspeção de fabrica, além do suporte administrativo.

Forjamento é o nome genérico de operações de conformação mecânica efetuadas com esforço de compressão sobre um material dúctil, de tal modo que ele tende a assumir o contorno ou perfil da ferramenta de trabalho.

Na maioria das operações de forjamento emprega-se um ferramental constituído por um par de ferramentas de superfície plana ou côncava denominadas matrizes ou estampos.

A maioria das operações de forjamento são executadas a quente; contudo, uma grande variedade de peças pequenas, tais como parafusos, pinos, porcas, engrenagens, pinhões, etc., podem ser produzidas por forjamento a frio.

O forjamento é o mais antigo processo de conformar metais, tendo suas origens no trabalho dos ferreiros de muitos séculos antes de Cristo. A substituição do braço do ferreiro ocorreu nas primeiras etapas da Revolução Industrial. Atualmente existe um variado maquinário de forjamento, capaz de produzir peças das mais variadas formas e tamanhos, desde alfinetes, pregos, parafusos e porcas até rotores de turbinas e asas de avião.

O forjamento pode ser dividido em dois grandes grupos de operações: Forjamento em matriz aberta ou Forjamento livre e Forjamento em matriz fechada.

#### **4.2.1.1 Tipos de Forjamento**

##### **4.2.1.1.1 Forjamento em matriz aberta**

O material é conformado entre matrizes planas ou de formato simples, que normalmente não se tocam.

É usado geralmente para fabricar peças grandes, com forma relativamente simples (p. ex., eixos de navios e de turbinas, ganchos, correntes, âncoras, alavancas, excêntricos, ferramentas agrícolas, etc.) e em pequeno número; e também para pré-conformar peças que serão submetidas posteriormente a operações de forjamento mais complexas.

##### **4.2.1.1.2 Forjamento em matriz fechada**

O material é conformado entre duas metades de matrizes que possuem, gravadas em baixo-relevo, impressões com o formato que se deseja fornecer à peça. A deformação ocorre sob alta pressão em uma cavidade fechada ou semi-fechada, permitindo assim obter-se peças com tolerâncias dimensionais menores do que no forjamento livre.

Nos casos em que a deformação ocorre dentro de uma cavidade totalmente fechada, sem zona de escape, é fundamental a precisão na quantidade fornecida de material. Uma quantidade insuficiente implica falta de enchimento da cavidade e falha no volume da peça; um excesso de material causa sobrecarga no ferramental, com probabilidade de danos ao mesmo e ao maquinário. Dada a dificuldade de dimensionar a quantidade exata fornecida de material, é mais comum empregar um pequeno excesso. As matrizes são providas de uma zona oca especial para recolher o material excedente ao término do preenchimento da cavidade principal. O material excedente forma uma faixa estreita (rebarba) em torno da peça forjada. A rebarba exige uma operação posterior de corte (rebarbação) para remoção.

#### **4.2.1.2 Equipamentos e métodos**

Os equipamentos comumente empregados incluem duas classes principais:

- (a) Martelos de forja e prensas de fricção, que deformam o metal através de rápidos golpes de impacto na superfície do mesmo; e
- (b) Prensas hidráulicas, que deformam o metal submetendo-o a uma compressão contínua com velocidade relativamente baixa.

Os processos convencionais de forjamento são executados tipicamente em diversas etapas, começando com o corte do material, aquecimento, pré-conformação mediante operações de forjamento livre, forjamento em matriz (em uma ou mais etapas) e rebarbação.

#### **4.2.1.3 Aplicações**

De um modo geral, todos os materiais conformáveis podem ser forjados. Os mais utilizados para a produção de peças forjadas são os aços (comuns e ligados, aços estruturais, aços para cementação e para beneficiamento, aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos, aços ferramenta), ligas de alumínio, de cobre

(especialmente os latões), de magnésio, de níquel (inclusive as chamadas superligas, como Waspaloy, Astraloy, Inconel, Udimet 700, etc., empregadas principalmente na indústria aeroespacial) e de titânio.

O material de partida é geralmente fundido ou, mais comumente, laminado - condição esta que é preferível, por apresentar uma microestrutura mais homogênea. Peças forjadas em matriz, com peso não superior a 2 ou 3 kg, são normalmente produzidas a partir de barras laminadas; as de maior peso são forjadas a partir de tarugos ou palanquilhas, quase sempre também laminados, e cortados previamente no tamanho adequado. Peças delgadas, como chaves de boca, alicates, tesouras, tenazes, facas, instrumentos cirúrgicos, etc., podem ser forjadas a partir de recortes de chapas laminadas.

#### **4.2.1.4 Principais defeitos em peças forjadas.**

Assim como os demais processos produtivos, o processo de forjamento à quente apresenta inúmeros defeitos dentre os quais destacamos os principais abaixo:

- Falhas de material: Não preenchimento total da gravura durante o escoamento do material no processo de forjamento. ("a peça falta um pedaço"), conforme verificado na figura 10;
- Dobras de forjamento: descontinuidade das fibras do material conformado, devido a sobreposição das mesmas, conforme verificado na figura 11;
- Gravação ilegível: gravação apagada da peça, conforme verificado na figura 12;
- Peças "grossas": Dimensão de espessura acima do especificado. A dimensão de espessura a qual ultrapassa a linha média da matriz.





Figura 10 – Ilustração de peças com falha de material.

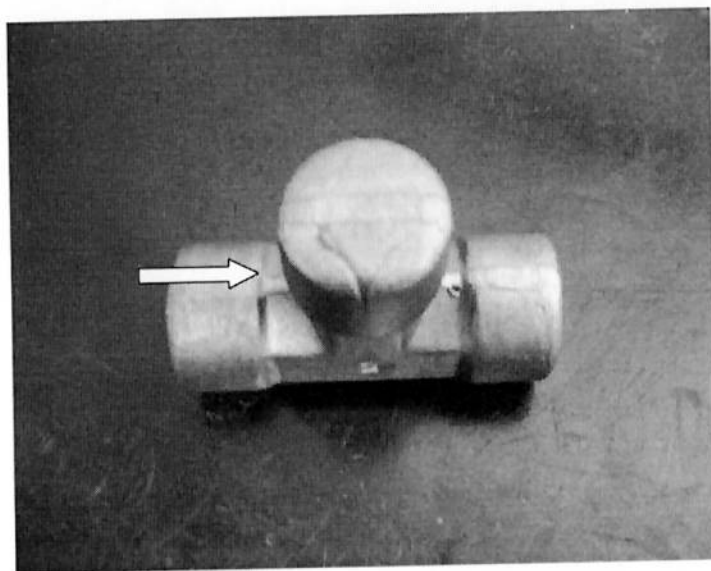


Figura 11 – Ilustração de peça com dobra de material.

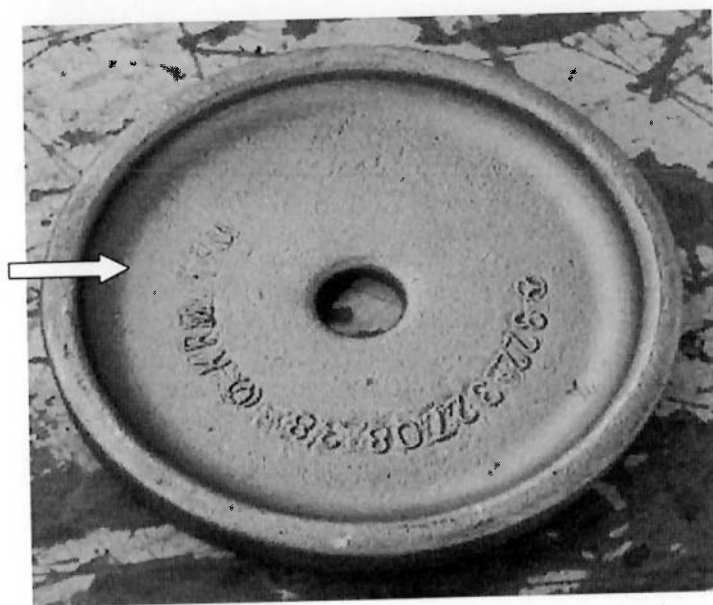


Figura 12 – Ilustração de peça com gravação ilegível.

#### 4.2.2 Trabalho prático

O trabalho apóia-se no desenvolvimento da análise do tipo FMEA, de um processo de forjamento a quente em matriz fechada, onde ele tem como clientes internos o processo de aquecimento e processo de rebarbação à quente.

No apêndice II está esquematizado o diagrama de fluxo do processo para o produto em análise.

Vale ressaltar que durante a utilização da ferramenta do tipo FMEA, as análises devem ser feitas somente no processo a ser estudado, desta forma efeitos potenciais de processos anteriores não devem ser referenciados como possíveis causas do processo em estudo.

Adota-se também que os efeitos potenciais poderão ser observados na próxima operação ou no cliente.

No caso prático, o tipo de máquina utilizada é uma prensa de fricção com acionamento por alavancas. Na figura 13, está representada de uma prensa de fricção de 450Ton, similar a utilizada para a produção do produto em análise. O princípio de funcionamento do equipamento é bastante simples, um motor fornece rotação a dois discos que no momento de acionamento das alavancas, transfere este movimento para o volante da máquina que está preso ao fuso e ao martelo do equipamento. No

martelo, que desliza através de guias é fixada a matriz superior e no mesmo alinhamento na base da máquina é fixada a matriz inferior. Com o acionamento do sistema a matriz superior chocá-se com a inferior conformando o material entre elas.

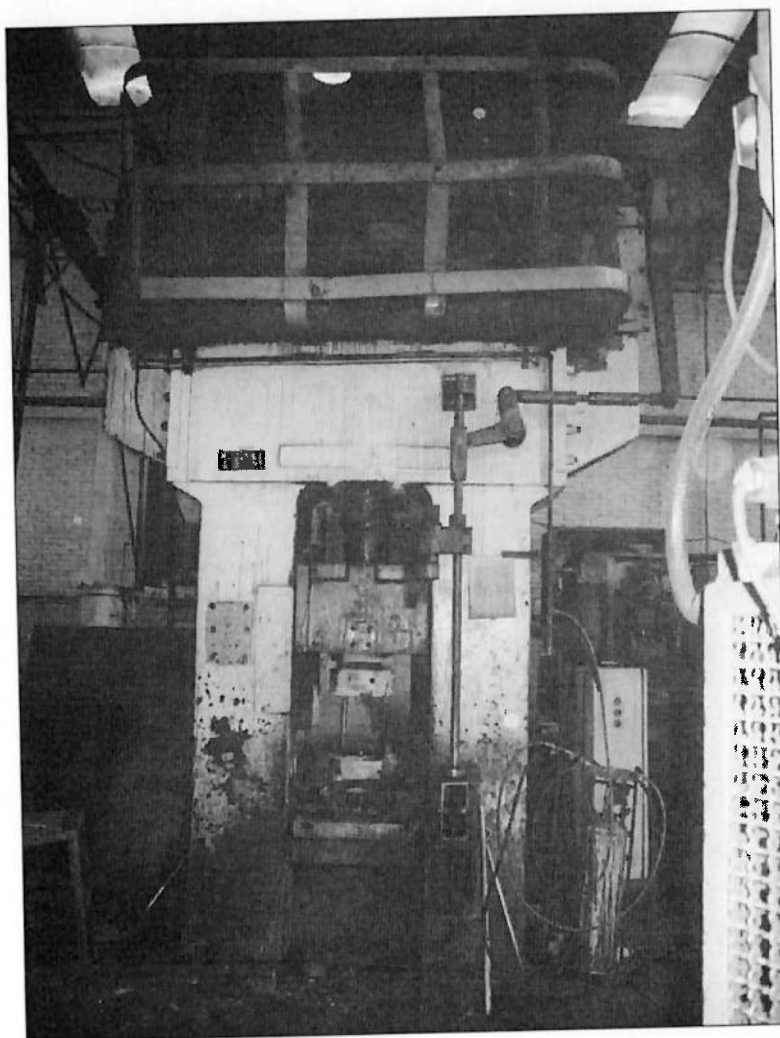


Figura 13- Ilustração da Prensa de Forjar de Fricção de 450Ton, acionamento por alavanca.

O item a ser analisado pela ferramenta do tipo FMEA, é uma engrenagem de acionamento da bomba de óleo de um motor à combustão, onde o "blank" para usinagem será produzido pelo processo de forjamento à quente. Na figura 9, tem-se o desenho esquemático da peça a ser analisada pela ferramenta do tipo FMEA.

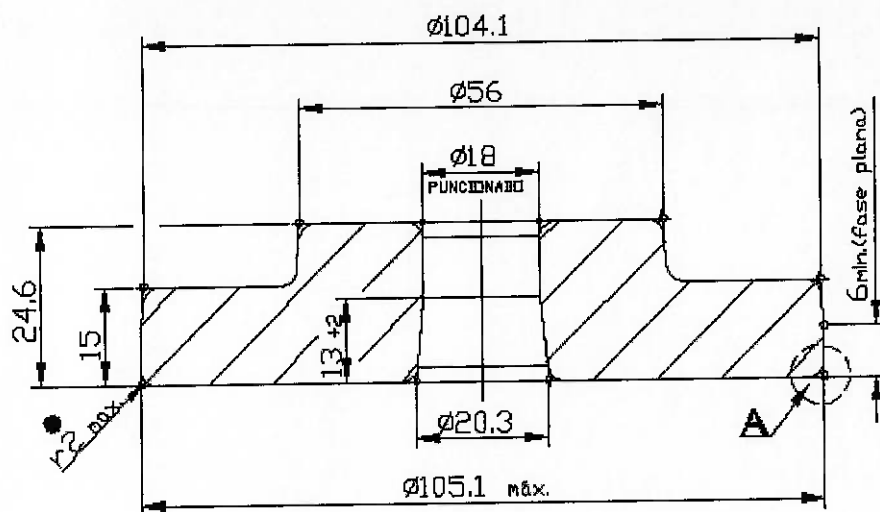


Figura 14- Ilustração do desenho esquemático da peça.

Na figura 15, tem-se um esquema da aplicação do produto no conjunto do motor de combustão.

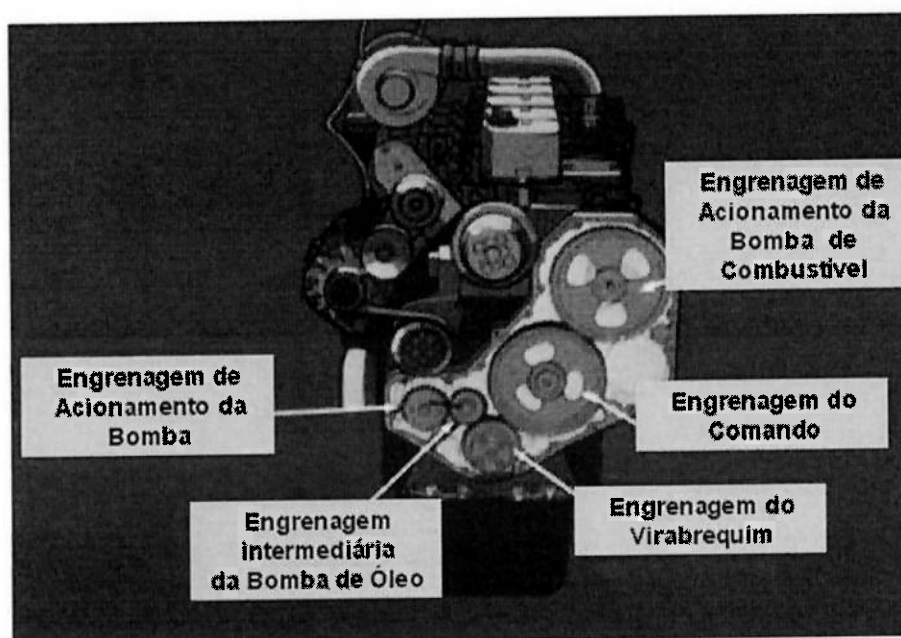


Figura 15- Ilustração esquemática da aplicação do produto.

Na figura 16, tem-se a ilustração da peça forjada e do "blank" de origem. E na figura 17 encontra-se a ilustração da peça após a operação de usinagem dos dentes.

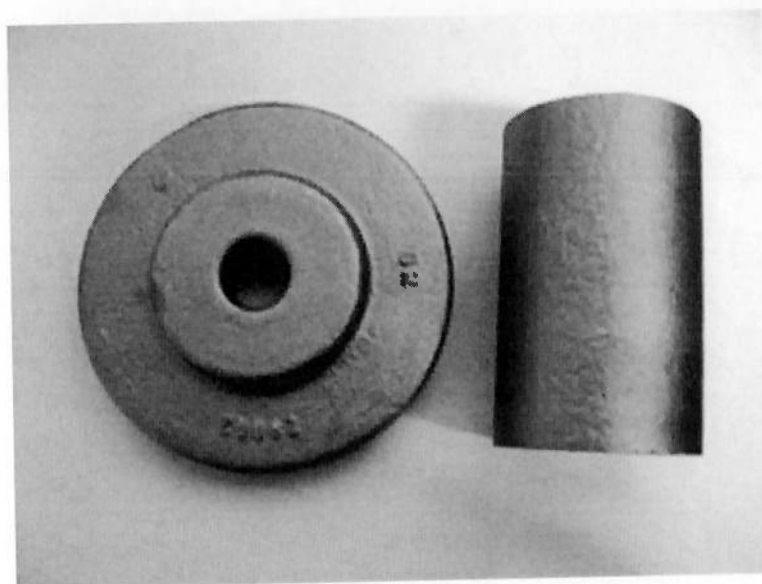


Figura 16- Ilustração da peça forjada e do "blank" de origem.

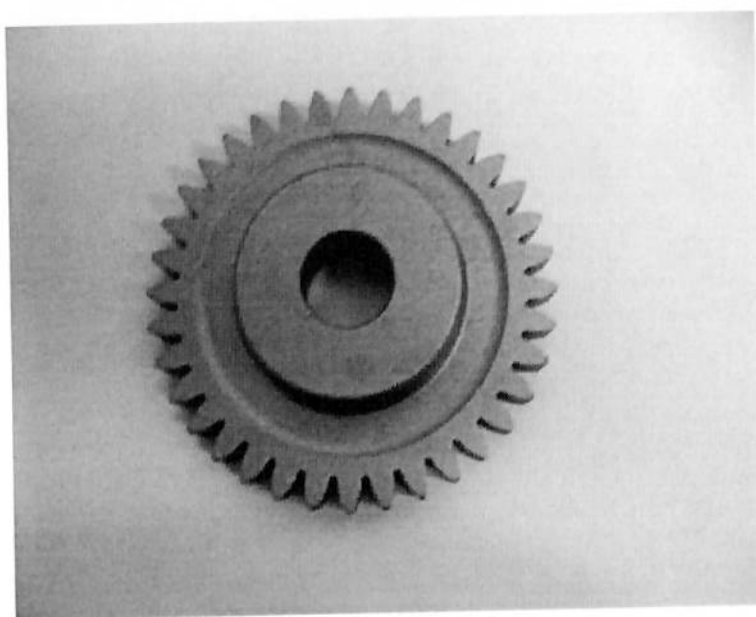


Figura 17- Ilustração da peça após a operação de usinagem dos dentes.

No apêndice III, encontra-se a planilha da análise do tipo FMEA executada durante o desenvolvimento do processo de um item forjado.

A função do processo que será estudado é a etapa de forjar a quente. Será analisado somente os potenciais modos de falhas desse processo e sendo assim os potenciais efeitos de modos de falhas de processos anteriores não serão considerados e também não terão influência sobre a etapa de forjar a quente. O

efeito será analisado tanto dentro da organização como no cliente externo, dando-se mais ênfase ao cliente externo.

O primeiro modo de falha a ser analisado é a não conformidade de falha de material. Conforme a tabela 4, o índice de severidade considerado foi com valor 7 (sete), pois traz um grande descontentamento no cliente externo ter que agregar uma operação de usinagem e após essa etapa perceber que o item ter que ser sucateado por apresentar manchas na usinagem. A causa para o problema da falha de material é que o sistema de acionamento por alavancas esta com folga excessiva, o que acarreta perda da potencia da máquina no seu acionamento. Conforme tabela 5, o índice de ocorrência para essa causa, foi adotado o valor de 4 (quatro), esse valor foi adotando em virtude da alavanca da prensa ser manipulada por vários operadores ao longo dos turnos de trabalho. Nos controles atuais, foram estabelecidos os seguintes pontos de controle, no ramo da detecção a inspeção de processo, que possui procedimentos sobre as formas de controle, como por exemplo, as inspeções dimensionais e inspeções visuais. No ramo da prevenção foi estabelecido um controle de desgaste do couro do equipamento da prensa, para diminuir o desgaste e conseqüentemente a folga do sistema de acionamentos por alavancas. O índice de detecção para a forma de controle por detecção adotada foi um valor de 6 (seis), conforme tabela 6. O índice de risco resultando foi de 210 (duzentos e dez). Como ação recomendado, o sistema de alavancas de prensa de fricção para este equipamento foi colocado em manutenção preventivo. Esta ação atua diretamente na ocorrência da causa do modo de falha, desta forma o índice de ocorrência foi revisado para um valor de 4 (quatro). O índice de severidade permanece o mesmo em virtude de não termos alterado o projeto do produto e o item de detecção também permanece inalterado, pois não mudamos as formas de controle para o processo. O novo valor do índice de risco é de 168 (cento e sessenta e oito).

O segundo modo de falha a ser analisado, é a não conformidade dobras de forjamento no diâmetro interno da peça de 20,3mm. O efeito deste modo de falha é o aparecimento de trinca após a usinagem do cliente, pois na região da dobra de forjamento existe uma concentração de tensões originadas na descontinuidade do material. O índice de severidade é de valor 7 (sete), conforme tabela 4. A causa para tal modo de falha é a deformação do pino de centro da matriz, que tem como índice de ocorrência valor 3 (três), conforme tabela 5. Os controles atuais são para a

prevenção controle da dureza dos pinos de centro da matriz e para a detecção a inspeção de processo. Neste caso o índice de detecção também é 6 (seis) conforme tabela 6. Desta forma o índice de risco apresenta um valor de 126 (cento e vinte e seis), a ação recomendada foi sistematizar trocas periódicas dos pinos de centro da matriz, essa ação é facilitada em virtude dos pinos serem postigos. Desta forma pode se trocá-lo sem muita dificuldade e continuar a produção da peça. Essa ação atua novamente no índice de ocorrência, sendo que seu valor foi revisado para 2 (dois). Os índices de severidade e detecção permanecem inalterados. Outra ação, poderia ser acrescentar outra forma de controle para inspeção por partículas magnéticas em 100% das peças, para a detecção de peças com dobras de forjamento, essa ação faria o índice de detecção abaixar, mas as peças com dobras continuariam a ser produzidas e separadas no processo de inspeção final, aumentando o indicador de sucata interna e conseqüentemente o custo do produto para a organização, diminuindo assim sua competitividade. Todavia trabalhando com o índice de ocorrência estamos buscando a melhoria continua do processo.

O outro modo de falha a ser analisado pela ferramenta do tipo FMEA é a gravação ilegível, perda da rastreabilidade do produto para o cliente externo, o índice de severidade é valor 4 (quatro), conforme tabela 4, pois causa um descontentamento do cliente externo em atingir as propriedades funcionais do produto. A causa para tal modo de falha é o entupimento da gravação na matriz, o índice de ocorrência para tal causa é de valor 4 (quatro), conforme tabela 5. A forma de controle será somente a inspeção de processo, onde o índice de detecção é valor 6 (seis), conforme tabela 6. O índice de risco é de 72 (setenta e dois), onde conforme critério estabelecido não será tomada ação.

O último modo de falha a ser analisado pela ferramenta do tipo FMEA é a dimensão de espessura acima de espessura de 24,6mm acima do especificado. A causa para esse modo de falha é a mesma para o modo de falha de peças com falha de material. O índice de severidade é de valor 4 (quatro), conforme tabela 4, e o índice de ocorrência é de valor 5 (cinco), conforme tabela 5. Os controles atuais são os mesmos do modo de falha de peças com falha de material, no entanto o índice de detecção muda, em virtude da característica a ser controlada pela forma de controle ser um atributo mensurável, ou seja uma dimensão, facilitando-se assim a detecção, passando para um valor de 5, conforme verificado na tabela 6 O índice

de risco é de 100 (cem), onde a ação tomada foi o acréscimo de uma inspeção 100% na característica em questão com calibrador "Passa Não-Passa"



## 5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos estudos de casos (análise do tipo FMEA de projeto e FMEA de processo) demonstram os benefícios da aplicação sistemática desta ferramenta.

No caso da análise do tipo FMEA de projeto, o destaque da ferramenta foi no que diz respeito a histórico de informações. Esse histórico tem grande utilidade nos novos desenvolvimentos de projetos de produtos.

A análise do tipo FMEA de projeto mostrou que a causa do problema que se estava encontrando em campo era a especificação do projeto. Como ação para redução deste problema atuou-se no IO, ou seja, na causa potencial da falha. Foi executada a alteração da especificação de centralização entre pino, biela e pistão. Esta ação resultou na diminuição das reclamações de clientes, sendo assim, baixou os custos de garantia da empresa.

Na análise do tipo FMEA de processo, sua aplicação no processo de desenvolvimento do item forjado em questão, resultou em análise de potenciais problemas, onde foram propostas ações de que atuaram nos índices de ocorrência e de detecção.

Quando atua-se no índice de ocorrência, conforme modos de falhas de 1.1, 1.2 e 1.3 do apêndice III, as ações são de caráter preventivas, pois agem de forma a reduzir a ocorrência dos modos de falha estudados. Essa atuação preventiva, promove a melhoria continua do processo e a redução de custos devido a não produção de peças não conformes para os modos de falha analisados pela ferramenta do tipo FMEA.

Quando atua-se no índice de detecção, conforme modo de falha 1.4 do apêndice III, a ação não age na melhoria continua do processo, pois atuando nos meios de medição está-se agregando custo ao produto e conseqüentemente aumentando-se o tempo de produção do item e acarretando uma menor competitividade a organização. Sendo que este custo extra, na maioria da vezes, a organização não consegue repassa-lo para o cliente final, assumindo integralmente este ônus.

Outros pontos melhorados foram a comunicação interna dos departamentos e a melhor compreensão dos requisitos do cliente final. Devido às realizações das

reuniões para a análise do produto a ser estudado pela ferramenta, os vários responsáveis pelos processos produtivos ficam conhecendo melhor o produto a ser fabricado e também isto gera um maior comprometimento da equipe durante o desenvolvimento e produção do item em questão.

A limitação desta ferramenta, dá-se relativo ao custo das reuniões da equipe multifuncional. Por este motivo a eficiência das reuniões devem ser maximizadas e o foco da reunião não deve ser desviado.

Outro ponto que merece ser comentado é a respeito da escolha dos índices da ferramenta que causam algumas vezes dificuldade para as equipes multifuncionais, pois os critérios muitas vezes são diferentes da linguagem usual na organização dificultando o entendimento por parte da equipe. Como sugestão, por se tratar de uma ferramenta complexa, pode-se particularizar os conceitos para cada organização, principalmente no que diz respeito aos índices de severidade, ocorrência e detecção. Isso pode ser feito através de instruções de trabalhos e procedimento específicos para o processo de desenvolvimento, com o objetivo de que todos os colaboradores envolvidos na equipe multifuncional tenham os mesmos critérios e conceitos, tornando as reuniões mais produtivas e eficazes.

Essa particularização dos índices para a organização é benéfica, pois desenvolve o melhor entendimento dos conceitos da ferramenta do tipo FMEA pela equipe multifuncional e assim resulta em uma melhor aplicação da ferramenta dentro da empresa.

No entanto outra ação seria a acessória de um especialista na ferramenta, ou seja, um facilitador, mas isso gera custo para a organização. Todavia a alta direção da empresa deve avaliar se a presença de um facilitador trará um bom resultado, pois dependendo do grau de maturidade da equipe multifuncional no conhecimento dos conceitos da ferramenta do tipo FMEA, a presença de um especialista é indispensável para iniciar os trabalhos com a equipe.

Em ambos os casos foram adotados o IR (índice de risco) para priorizar ações. Atuando nos índices de severidade e ocorrência, está trabalhando-se no campo preventivo, e quando atua-se no índice de detecção está sendo reativos. Desta forma pode-se realizar, uma nova priorização de ações baseadas nos índices de severidade e ocorrência, para atuar somente no campo preventivo e realmente promover a melhoria contínua e conseqüentemente a redução de custo nos

processos. Entretanto cada organização deve analisar e verificar o que é mais viável para o seu sistema de desenvolvimento de produtos ou processos.

Altos índice de severidade, valores entre 9 ou 10 conforme apresentados na tabela 4, implicam em não conformidades com segurança do usuário e não cumprimento de legislação governamental, assim atenção especial deve ser dada a esses valores, pois uma análise crítica não eficiente desses índices pode gerar em um futuro próximo custos exorbitantes com troca de peças não conformes para a organização, os chamados "recall de veículos".

Nos registros obtidos, a partir da análise do tipo FMEA, consegue-se reunir um histórico de informações extremamente rico e abrangente de todo o desenvolvimento do projeto ou processo do produto, sendo utilizado também como fonte de informações para os próximos desenvolvimentos. Desta forma por tratar-se de uma ferramenta viva é muito importante a retroalimentação dos relatórios quando surgem modos de falhas não discutidas nas reuniões de análise do tipo FMEA, para o aprimoramento cada vez maior da ferramenta

## **6. CONCLUSÃO**

### **6.1 FMEA de Projeto.**

A utilização da ferramenta Fmea no projeto de um produto reúne em si experiências e critérios baseados em fatos concretos diminuindo a probabilidade do item ou sistema vir a falhar. Sua complexidade facilita na compreensão do item em questão.

Sua utilização como ferramenta de detecção foi crucial para garantirmos a eliminação de problemas futuros e a qualidade do produto.

A execução deste Fmea não só diminuiu a probabilidade de falha deste produto, já projetado, como também garantiu a diminuição da probabilidade de falha para próximos projetos similares.

### **6.2 FMEA de Processo.**

Conforme verificado durante o desenvolvimento de uma análise do tipo FMEA de processo observa-se que a ferramenta é de grande utilidade, principalmente pelo seu caráter preventivo no desenvolvimento do processo do produto e por promover reuniões em torno de um tema comum, melhorando a comunicação dentro da organização e fazendo com que os requisitos dos clientes sejam cada vez mais entendidos e disseminado na empresa.

Com a ajuda desta técnica, ações preventivas foram tomadas e conseguiu uma melhor interpretação dos requisitos do cliente devido a uma melhora da comunicação interna.

## REFERÊNCIAS

- ANALISE de modo e efeitos de falha potencial: FMEA: manual de referência. 3.ed. São Paulo: IQA, 2001.
- BERK, J. **Administração da qualidade total**: o aperfeiçoamento contínuo: teoria e prática. Tradução de Cláudia Azevedo. São Paulo: IBRASA, 1997.
- PALADY, P. **FMEA**: análise dos modos de falha e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. Tradução Outras palavras. São Paulo: IMAM, 1997.
- PLANEJAMENTO avançado da qualidade do produto e plano de controle: APQP: manual de referência. São Paulo: IQA, c1995.
- POTENTIAL failure mode and effects analysis (FMEA): reference manual. 3.ed. [S.l.]: Daimler Chrysler Corporation, [20--]. Disponível em: <<http://gmna1.gm.com/veqrd/adv/fmea/source/process/FMEA-3rd-pdf3>> Acesso em: 11 abr. 2007.
- STAMATIS, D. H. **Failure mode effects analysis**: FMEA from theory to execution. 2. ed. New York: ASQ Quality Press, 2003. 455p. ISBN 0873895983.
- SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE. **SAEJ1739**: Potential failure mode and effects analysis in design (Design FMEA), potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly process (Process FMEA), and potential failure mode and effects analysis for machinery (Machinery FMEA). [S.l.: s.n.], 2002.
- VERBAND DER AUTOMOBILIINDUSTRIE. **Gerenciamento do sistema da qualidade na indústria automobilística**. São Paulo: IQA, 1996. pt. 2: Asseguramento da qualidade antes do início da série.
- VERBAND DER AUTOMOBILIINDUSTRIE. **Gerenciamento de qualidade na indústria automobilística**. São Paulo: IQA, 1996. pt. 2: Segurança de qualidade antes da colocação em série.
- VTB CONSULTORIA E TREINAMENTO. **FMEA** failure mode and effects analysis. São Paulo: [s.n.], 2000.

Apêndice - Tabela I Fmea de Projeto

Sistema  
☒ Sub-sistema  
 Componentes

Descrição **Êmbolo conj. compl.**

Número **2**  
 Equipe Marcos, Fernando, Bruno, Tiago e Daniel

Engº de Projeto  
 1-fev-06

Resp. Processo  
 Data Chave

Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial  
**FMEA DE PROJETO**

Numero Fmea **002/06**

Preparado por: **Tiago Bibo**

Data início 21-jan-06

Data revisão none

Resultado das Ações														
Controles Atuais														
Item / Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	I S	Causa Potencial	I O	Prevenção	Deteção	D E T	Ações Recomendadas	Responsável / Prazo	Ação Tomada	Novo SEV	Novo OC	Novo DET
<b>Êmbolo Conjunto Completo</b>														
1	Transformar a energia térmica, resultante da combustão da mistura gasosa, em energia mecânica	Interferência do pino com o pistão	8	Especificação inadequada dos diâmetros ( pino e pistão)	1	Projeto similar ao anterior	3	24	Ação não requerida					
0) Montagem do protótipo														
1) Partida a frio														
2) Marca de pistão														
3) Teste em rotação máxima														
4) Durabilidade														
<b>Êmbolo Conjunto Completo</b>														
2	Transformar a energia gerada na combustão em trabalho mecânico de movimento alternativo	Interferência do pino com o pistão	8	Especificação inadequada dos diâmetros ( pino e pistão)	1	Projeto similar ao anterior	3	24	Ação não requerida					
0) Montagem do protótipo														
1) Partida a frio														
2) Marca de pistão														
3) Teste em rotação máxima														
4) Durabilidade														
<b>Êmbolo Conjunto Completo</b>														
3	Descentralização entre pino e biela (após montagem)	Desequilíbrio da carga no cubo do êmbolo do pistão podendo ocasionar seu desgaste prematuro e ruído	7	Especificação inadequada de centralização do pino na biela durante a montagem	3	Experiência do pessoal de montagem da Engenharia de Manufatura	3	63	Definir e alterar a especificação de centralização entre pino, biela e pistão	Engineer 20/04/2006	Ação Executada com êxito	7	2	3

Obs: Os teste informados na coluna de detecção são mostrados no capítulo 4.1.3 - Equipamentos e métodos. Os índices foram estipulados conforme tabelas 7 a 9 (capítulo 4.1.4 - Trabalho prático)

Apêndice – Tabela II

DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO

Cliente xxx	Nº Peça (Cliente) TESTE	Rev./Data Doc. 30 - 10/10/2005	Página 1 de 2
Fornecedor METALURGICA FMEA LTDA.	Nome da Peça ENGRENAGEM FORJADA		
Aprovado Por Eng.º Osvaldo Góes Junior - Sup. Qualidade	Data 3/4/2007	Numero/Rev. Peça (Fornecedor) EN 0735 30 00 / TESTE	

• Operação	• Operação com Inspeção	• Inspeção	• Demora	• Estocagem	• Transporte	• Descrição
Fluxo	Nº Ops.	Descrição de Operação			CE	Observações
•	03	ESTOQUE DE MATÉRIA PRIMA				
•						
•	05	CORTAR BLANK				
•						
•	06	AQUECER BLANK				FORNO DE INDUÇÃO
•						
•	07	RECALCAR				MARTELETE 150 TON
•						
•	10	FORJAR A QUENTE				PRENSA DE 450 TON
•						
•	11	REBARBEAR				PRENSA EXCENTRICA
•						
•	12	ENVIO PARA TRATAMENTO TÉRMICO				
•						
•	15	NORMALIZAR				SERVIÇO REALIZADO EM TERCEIROS
•						
•	17	RETORNO DO TRATAMENTO TÉRMICO				
•						
•	18	INSPEÇÃO METALOGRAFICA				
•						
•	20	JATEAR				
•						
•	25	INSPEÇÃO FINAL				
•						
•	27	OLEAR				
•						
•	28	ESTOCAGEM				

## DIAGRAMA DE FLUXO DO PROCESSO

Cliente XXX	Nº Peça (Cliente) TESTE	Rev./Data Doc 00 - 10/10/2005	Página 2 de 2
Fornecedor METALURGICA FMEA LTDA	Nome da Peça ENGRENAGEM FORJADA		
Aprovado Por Eng.º Osvaldo Roberto Junior - Sup. Qualidade	Data 3/4/2007	Numero/ Rev. Peça (Fornecedor) EN 0785 00 00 : TESTE	

• Operação	• Operação com Inspeção	• Inspeção	• Demora	• Estocagem	• Transporte	• Decisão
Fluxo	Nº Ope.	Descrição da Operação			CE	Observações
• •	09	ENVIO PARA O CLIENTE				



SSO.

**Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial**  
**FMEA PROCESSO**

Número Fmea **0733/06**  
Preparado por **Oswaldo Gobo Jr**  
Data início **21-jun-06**  
Data revisão **3-jul-06**

**engrenagem Motor**

Projeto **733** Resp. Processo  
Equipe **João, José, Antônio, Carlos,** Data Chave  
**Manoel, Oswaldo**

Oswaldo  
3-jul-06

**Resultado das Ações**  
Novo SRV  
Novo OC  
Novo DBT  
Novo IR

Controles Atuais									
Item / Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	I S	Causa Potencial	I O	Prevenção	Deteção	I D R	Ações Recomendadas
									Responsável / Prazo
									Ação Tomada
1	Forjar a quente.	Falhas de material - Ausência do total preenchimento da gravura.	7	Sucata ou Falha na operação de usinagem do cliente externo	5	Prevenção de fricção do volante de fricção	Inspeção de processo	6 210	Manutenção preventiva no sistema de alavancas da prensa de fricção
									Sistema de alavanca colocado na programação de Manutenção preventiva
									7 4 6 168
1	Dobras de forjamento no diâmetro interno	Sucata ou alteração das propriedades de resistência do produto no cliente externo	7	Deformação do pino de centro (encabeçamento)	3	Controlar dureza dos pinos de centro.	Inspeção de processo	6 126	Confeção de pinos de centros postigos com controle de dureza
									Ferramentaria 15/06/06
									7 2 6 84
									Pinos confeccionados , com controle de dureza entre 41 a 48 HRC
1	Gravação ilegível	Ausência de identificação do produto	3	Entupimento da gravação na matriz	4		Inspeção de processo	6 72	Nenhuma
1	Dimensão de espessura maior que o especificado	Retrabalho ou problemas de usinagem	4	Prensa de fricção sem pancada	5	Inspeção de desgaste do couro do volante de fricção	Inspeção de processo	4 80	Nenhuma

Revisões: 21. 22/06; 01.02.03.07