

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

SERGIO CARLOS ROCHA

**A APLICAÇÃO DO D-FMEA NA CADEIA PRODUTIVA DO
SETOR AUTOMOBILÍSTICO - EM ESTUDOS DE CASOS
MÚLTIPLOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Osíris Canciglieri Júnior

Curitiba, setembro de 2006.

SERGIO CARLOS ROCHA

**A APLICAÇÃO DO D-FMEA NA CADEIA PRODUTIVA DO
SETOR AUTOMOBILÍSTICO - EM ESTUDOS DE CASOS
MÚLTIPLOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. Osíris Canciglieri Júnior

Curitiba, setembro de 2006.



**Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção e Sistemas**

TERMO DE APROVAÇÃO

SERGIO CARLOS ROCHA

**A APLICAÇÃO DO D-FMEA NA CADEIA PRODUTIVA DO
SETOR AUTOMOBILÍSTICO - EM ESTUDOS DE CASOS
MÚLTIPLOS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre no Curso de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-graduação em Engenharia de produção e Sistemas, do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora.

Prof. Osiris Canciglieri Júnior, Ph. D. (PPGEPS – PUCPR)
Orientador

Prof. João Antonio Palma Setti, Dr. (PUCPR)
Membro Interno

Prof. Teófilo Miguel de Souza, Dr. (UNESP)
Membro Externo

Curitiba, 29 de setembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que contribuíram para que este trabalho fosse possível, incentivando e prestando suporte sempre que necessário. Agradeço em especial a minha mãe pelo apoio sempre presente e ao meu orientador pela sua contribuição decisiva para a realização desta pesquisa sempre com uma palavra de apoio diante das dificuldades. E a Deus, pelas oportunidades e a força para transformar os obstáculos da vida em oportunidades de crescimento pessoal e realizações.

RESUMO

Na atualidade do mundo globalizado, as exigências quanto aos níveis de qualidade e lucratividade são crescentes em todos os setores, como também em todas as fases da vida útil de um produto. Hoje não existem mais fronteiras, e a consequência disso é que existem competidores nos cinco continentes, como também parceiros distribuídos da mesma forma. E essa “unificação” virtual dos mercados reflete na necessidade de busca das melhores práticas, as quais irão manter as empresas que as praticarem no mercado.

E diante deste cenário, é preciso que as empresas façam uso de ferramentas que venham a auxiliar na obtenção e maximização de seus resultados. E é nesse conceito, que esta pesquisa irá focar em um dos setores de maior competitividade na economia mundial, que é o setor automobilístico, o qual sempre tem inovado com suas práticas de qualidade e sistematização do trabalho.

Dentro deste ambiente de constante competitividade é que ocorre a pesquisa, através da análise dos elementos da cadeia produtiva atuam em conjunto para o desenvolvimento de um veículo e seu lançamento em condições de custo e prazos muito limitados. E isso com o foco na forma de utilização do D-FMEA com o objetivo de evitar falhas durante o desenvolvimento, dentro do conceito de cadeia produtiva, tendo em vista a forte interação entres fornecedores, sub-fornecedores e clientes com um objetivo em comum. Sendo que a correta e eficaz utilização do D-FMEA tem a capacidade de evitar custos adicionais ao projeto como também aumenta a confiabilidade do produto.

Palavras-chave: D-FMEA, desenvolvimento de produto, cadeia produtiva.

ABSTRACT

At this period in the globalize world, the requirements about the quality and profitability levels are growing in all industry segments, besides all phases at the product life time. Today there are no boards anymore, that it results in competitors in five continents, as well partners are distributed in the same way. And this virtual “unification” of the markets shows the necessity to find the best strategy, which will keep these companies in the market.

And in front of such scenarios, it is necessary the companies use tools for helping to get better and better results. And that is the concept, which this research will focus in one of the most competitive sectors of world wide economy that is the automotive one, which always innovates with its quality and work systematization.

And inside this environment, of several elements from a supply chain, which are acting as a group for the development of one vehicle and its launching with costs and timing targets very limited, it is where the study will be. And this focus how the D-FMEA is used with the aim of avoiding failures during product development, inside the supply chain concept, observing the strong interaction among suppliers, sub-suppliers and clients with a common aim. Because the correct using of D-FMEA has the capacity to avoid additional costs for the project as well increase the product liability.

Key-words: D-FMEA, product development, supply chain

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
SUMÁRIO.....	VIII
LISTA DE ACRÔNIMOS.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE TABELAS.....	XV

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Contextualização.....	1
1.2 – Justificativa do Tema.....	3
1.3 – Metodologia Científica aplicada a pesquisa.....	4
1.4 – Objetivos	
1.4.1 – Geral.....	4
1.4.2 – Específicos.....	5
1.5 – Estrutura da Dissertação.....	5

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA DE ESTUDO DE CASO

2.1 – Introdução a Metodologia Científica.....	6
2.2 – Estudo de caso: metodologia a ser aplicada.....	7

CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 – Introdução.....	12
3.2 – Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)	
3.2.1 – Descrição geral.....	12
3.2.2 – Metodologia de aplicação do FMEA.....	14
3.2.3 – O FMEA e o desenvolvimento de novos produtos.....	26

3.2.4 -- Aplicação do FMEA no setor automobilístico.....	27
3.3 - O FMEA e a Cadeia de Suprimentos.....	28

CAPÍTULO 4 - A INFLUÊNCIA DO D-FMEA EM ESTUDOS DE CASO NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO.

4.1 – Introdução.....	33
4.2 – Apresentação do ambiente de pesquisa	
4.2.1 - O produto – Coxim.....	33
4.2.2. - O cliente.....	36
4.2.3. – O fornecedor.....	37
4.2.4. - Os sub-fornecedores.....	38
4.3 – Processo de desenvolvimento de produto na indústria automobilística – Contextualização.....	38

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

5.1 – Caso 1 – coxim diferencial e coxim motor	
5.1.1 – Descrição do produto.....	51
5.1.2 – Problemática observada 1 - falta de critério para aplicação de premissas no coxim lado diferencial.....	52
5.1.3 – Problemática observada 2 – falta de critério para aplicação de premissas no coxim lado motor.....	60
5.2 – Caso 2 – coxim diferencial	
5.2.1 – Descrição do produto.....	71
5.2.2 – Problemática observada 1 – Avaliação simplista por parte do cliente para o coxim lado diferencial.....	72
5.2.3 – Problemática observada 2 – Negligência quanto a severidade da função do produto por parte do sub-fornecedor mediante critérios pré-definidos para o coxim lado diferencial.....	77

CAPÍTULO 6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....81

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

7.1 – Conclusão.....85

7.2 – Recomendações para futuras pesquisas.....88

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA89

LISTA DE ACRÔNIMOS

- **FMEA** - Failure Modes and Effects Analysis, em português Analise dos Modos e Efeitos de Falhas;
- **P-FMEA** - Process Failure Modes and Effects Analysis, em português Analise dos Modos e Efeitos de Falhas de Processo;
- **D-FMEA** - Design Failure Modes and Effects Analysis, em português Analise dos Modos e Efeitos de Falhas de Projeto;
- **QFD** - Quality Function Deployment, Desdobramento da Função Qualidade;
- **APQP** - Advanced Product Quality Planning, em português Planejamento Avançado da Qualidade do Produto;
- **VDA** - (Verband der Automobiliindustrie e. V.) – Normas da Associação das indústrias automobilísticas alemãs;
- **DFM / DFA** – Design for Manufacture and Design for Assembly, em português Projeto Orientado para Manufatura e Projeto Orientado para Montagem;
- **NPR** – Número de Prioridade de Risco;
- **O** – Ocorrência;
- **S** – Severidade;
- **D** – Detecção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elos da Cadeia Produtiva.....	2
Figura 2: Exemplo de parte da cadeia produtiva da indústria automobilística.....	3
Figura 3: Exemplo de equipe multifuncional.....	14
Figura 4a: Fluxo de produtos na Cadeia Produtiva.....	31
Figura 4b: Fluxo de informação na Cadeia Produtiva.....	31
Figura 5: Distribuição espacial dos coxins em um motor.....	34
Figura 6: Coxim de suspensão dianteira.....	35
Figura 7: Batentes para o suporte do coxim lado motor.....	36
Figura 8: Fluxograma de desenvolvimento de novos produtos.....	39
Figura 9: As principais etapas do processo de desenvolvimento de novos produtos realizadas pelo fornecedor.....	40
Figura 10: Testes realizados pelo fornecedor.....	44
Figura 11: Definição conceitual do veículo.....	45
Figura 12: Dados de entrada e saída no desenvolvimento de um coxim.....	46
Figura 13: Otimização dos componentes durante o processo de desenvolvimento.....	47
Figura 14: Concepção do produto com base nas coordenadas espaciais e posterior avaliação de lay-out virtual.....	48
Figura 15: Imagens ilustrativas do produto em desenvolvimento.....	51
Figura 16: Imagem do produto do primeiro caso.....	52
Figura 17: Versão protótipo do coxim do lado diferencial instalada para teste em veículo.....	53
Figura 18: Corpo biela, primeira versão.....	53
Figura 19: Análise de elementos finitos da biela.....	55
Figura 20: Representação da distribuição de forças no interior da biela.....	55
Figura 21: Coxim de borracha montado dentro da biela com indicação dos vetores de forças.....	56
Figura 22: Indicação dos pontos de concentração de forças para o cálculo de elementos finitos.....	56

Figura 23: Cálculo feito com a nova distribuição de forças. Fora de objetivo.....	57
Figura 24: Versão aprovada em acordo com a distribuição correta de forças aplicadas sobre a biela.....	58
Figura 25a: Modelo 3D em Catia da nova versão.....	58
Figura 25b: Detalhe peça real	58
Figura 26: Modelo coxim do lado diferencial com a biela modificada.....	59
Figura 27a: Suporte em Catia 3D.....	60
Figura 27b: Foto da peça.....	60
Figura 28: Coxim lado motor em perspectiva.....	62
Figura 29a:Carcaça Catia.....	63
Figura 29b:Carcaça real.....	63
Figura 29c:Coxim vulcanizado.....	63
Figura 30: Molde de injeção de alumínio para Carcaça Cxim lado motor.....	63
Figura 31: Simulação matemática feita sobre a carcaça do coxim lado motor.....	64
Figura 32: Evidência da quebra da carcaça do coxim lado motor em teste em banco.....	66
Figura 33: Reforço da carcaça com aumento das nervuras existentes na peça.....	66
Figura 34: Resultado do segundo teste de urto com a carcaça reforçada.....	67
Figura 35: Versões do suporte coxim lado motor.....	68
Figura 36: Detalhe do molde de vulcanização: ajuste da carcaça na cavidade do molde.....	69
Figura 37a: Visão da versão inicial do coxim lado motor.....	69
Figura 37b: Vista do coxim lado motor reforçado segundo a solicitação do cliente.....	70
Figura 38: Imagens ilustrativas do produto em desenvolvimento.....	71
Figura 39: Modelo matemático considerado pelo cliente.....	72
Figura 40: Configuração do corpo biela utilizado para a simulação, vistas: frontal, superior e lateral.....	73
Figura 41: Resultado da simulação do cliente para o teste de impacto.....	74

Figura 42: Modelo matemático feito pelo fornecedor – Conjunto considerado biela e o tubo.....	75
Figura 43a: Simulação matemática do conjunto – consideração do fornecedor.....	76
Figura 43b: Simulação matemática do conjunto – consideração do fornecedor, configuração aprovada.....	76
Figura 44: Modelo matemático enviado ao sub-fornecedor para fabricação do molde.....	77
Figura 45: Exemplo de divergência entre modelo e peça real.....	78
Figura 46: Quebra do corpo biela devido ao componente fornecido fora do especificado.....	79
Figura 47: Vista lateral do corpo biela quebrado onde é nítido o canto vivo na peça injetada ao invés do alivio como indicado no modelo matemático.....	79
Figura 48: Detalhamento do corpo biela, área da quebra.....	80
Figura 49: Exemplo simplificado de parte da cadeia produtiva da indústria automobilística.....	86
Figura 50: Configuração real das relações: cliente-fornecedor-sub-fornecedor no desenvolvimento de novos produtos e aplicação do D-FMEA.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelo FMEA QS-9000.....	16
Tabela 2 – Índice de Severidade.....	18
Tabela 3 – Índice de Ocorrência.....	21
Tabela 4 - Índice de Detecção.....	22
Tabela 5: Modelo de cronograma macro de projeto.....	42
Tabela 6: Tabela de forças aplicada ao coxim durante sua utilização em veículo.....	54
Tabela 7: Resultados aprovados em todos os critérios de avaliados.....	61
Tabela 8: Resultado da simulação matemática do teste de urto posteriore.....	65
Tabela 9: Resumo dos estudos de caso.....	82

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Contextualização

Atualmente na nova ordem mundial, as empresas têm buscado métodos, processos e práticas mais eficientes que venham a agregar mais valor aos produtos com a preocupação de maximizar também os ganhos. A competição entre as instituições tem sido cada vez maior e por esta razão os níveis de exigências também tem acompanhado esta tendência.

O diferencial tem sido cada vez mais a capacidade de se obter o máximo no menor espaço de tempo com o menor custo. E por esta razão, tem se feito uso de ferramentas como engenharia simultânea e simulação matemática, que visam reduzir o tempo de estudo da viabilidade técnica de um produto. Como também através do D-FMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis) buscar a identificação antecipada dos pontos onde este produto pode apresentar falhas, a fim de eliminar esta probabilidade e evitar perdas com re-trabalho e comprometimento dos prazos.

De fato, nesta busca pelo sucesso, causada pela concorrência, as empresas de um modo geral têm se deparado com exigências extremas e prazos irreais na execução de novos projetos, que já não oferecem tempo hábil para a realização dos mesmos. Segundo Vergara (2000), no início do século passado, falava-se que na era da eletricidade e do vapor, o que ocorria em um século passou a ocorrer em uma década; hoje, na era da informática e das telecomunicações, pode-se dizer, que os acontecimentos que levavam décadas passaram a acontecer em segundos, fazendo com que o presente nos escape das mãos. A velocidade das mudanças é, portanto uma dimensão extremamente relevante no mundo contemporâneo e consequentemente esta realidade se reflete de maneira muito forte no setor automobilístico.

A evidência disso é a redução dramática de uma média de 4 para 2 anos para projetos de novos veículos, desde a concepção e do momento de definição do design do veículo até ao seu lançamento no mercado. É por esta razão, que a indústria automobilística tem se aperfeiçoado no que concerne à implementação e aplicação das mais variadas ferramentas de qualidade com o objetivo de maximizar os

resultados de desempenho definidos como objetivo. Como afirma Canciglieri e Young (2001), este é motivo pelo qual faz-se uso da engenharia simultânea nos novos projetos para que os produtos cheguem o mais rápido possível ao consumidor e conforme Swift *et al.* (2001), através da análise feita com o D-FMEA viabilizar maior segurança ao desenvolvimento já a partir dos protótipos. Por esta razão, os fornecedores da indústria automobilística são extremamente exigidos, como também toda a cadeia produtiva, desde fornecedores de matéria-prima ou componentes até fornecedores de ferramentais e etc.

Com base nessa realidade tão competitiva, esta pesquisa visa avaliar o uso da Análise de Modos e Efeitos de Falhas de Projetos (D-FMEA) no setor automobilístico, considerando sua contribuição durante o projeto de novos produtos, mediante a avaliação dos resultados obtidos nos projetos que foram estudados.

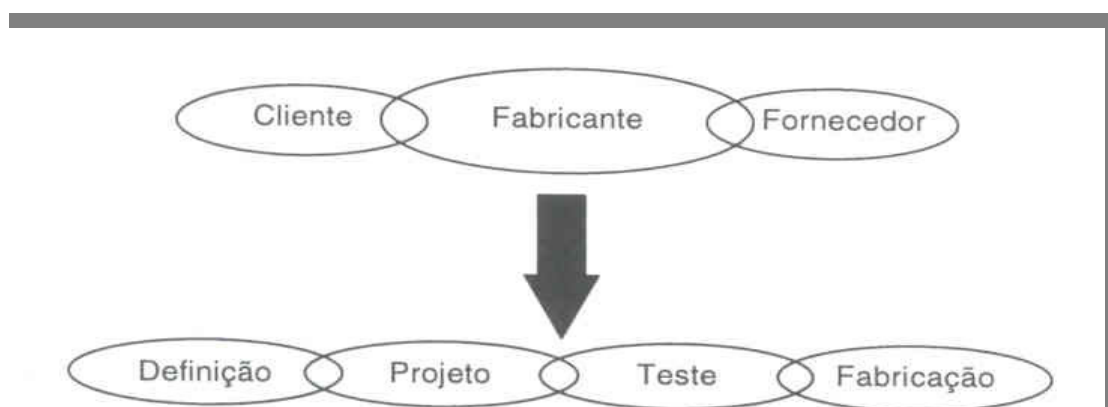


Figura 1: Elos da Cadeia Produtiva

Fonte: **CIM Press (1990)**

Na figura 1 é possível observar a configuração ideal das relações: cliente-fornecedor-sub-fornecedor no desenvolvimento de novos produtos e aplicação do D-FMEA.

Em busca de produtos que venham agregar qualidade em um tempo reduzido de desenvolvimento é importante a integração da cadeia produtiva nas diversas fases do projeto. Contudo é necessário salientar que a relação fornecedor/cliente é bem mais ampla e isso está demonstrada na figura 2. Nesta figura estão indicados alguns

dos integrantes da cadeia de suprimento que atuam durante o desenvolvimento de um novo veículo, além das possibilidades de inter-relações entre clientes e fornecedores, as quais ocorrem horizontalmente como também verticalmente.

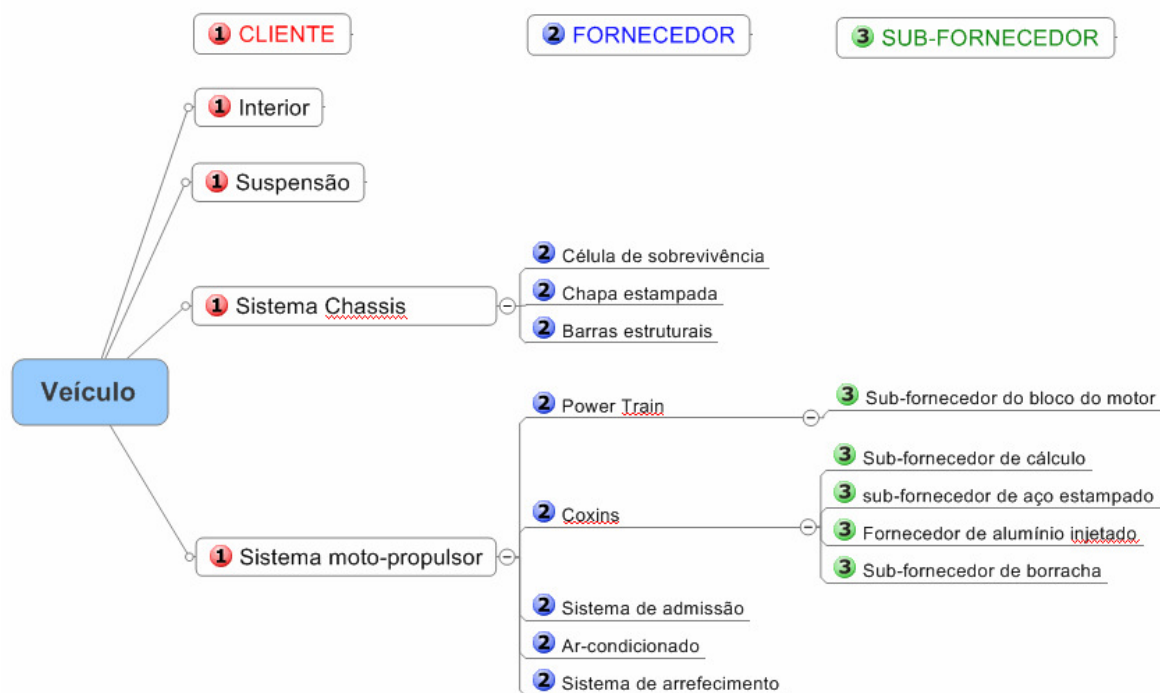


Figura 2: Exemplo de parte da cadeia produtiva da indústria automobilística.

Fonte: o autor

1.2 – Justificativa

Mediante a observação feita em alguns desenvolvimentos realizados para a indústria automobilística, os quais apesar da aplicação do D-FMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis) foram identificadas falhas no produto durante a etapa de desenvolvimento. Foi proposta essa pesquisa no intuito de identificar a(s) causa(s) da falhas durante a etapa de desenvolvimento dos produtos. Pois através da identificação da(s) causa(s) das falhas, será possível propor melhorias no processo de desenvolvimento e na utilização do D-FMEA, que venham maximizar os resultados do desenvolvimento com reflexo nos custos e em prazos menores contribuindo para a satisfação do cliente.

1.3 – Metodologia Científica aplicada à pesquisa

A metodologia aplicada teve como objetivo, validar o conhecimento organizado e construído através dessa pesquisa, mediante os parâmetros propostos por Yin (2001), sendo esta o Estudo de Caso tendo em vista ser uma pesquisa exploratória que visa investigar os aspectos da utilização do D-FMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis) no desenvolvimento de produtos e particularidades no setor automobilístico.

Esta pesquisa classificada como qualitativa, do tipo exploratória foi realizada através de estudo de casos múltiplos, obedecendo as seguintes fases:

- 1ª Fase:** pesquisa bibliográfica preliminar, com o objetivo de realizar uma análise preliminar sobre o tema da pesquisa e verificar a disponibilidade de material bibliográfico;
- 2ª Fase:** definição do problema;
- 3ª Fase:** elaboração do projeto de pesquisa;
- 4ª Fase:** pesquisa bibliográfica;
- 5ª Fase:** elaboração do instrumento de coleta de dados;
- 6ª Fase:** compilação de dados.

1.4 – Objetivos

1.4.1 – Geral

Com base na busca do uso de ferramentas que venham a contribuir para agilidade e confiabilidade no processo de desenvolvimento, é que esta pesquisa propõe um estudo sobre a Análise do Modo e Efeito de Falha aplicado no desenvolvimento de produtos do setor automobilístico, considerando sua abrangência na cadeia produtiva.

1.4.2 – Específicos

Visando um melhor delineamento do projeto de pesquisa, o objetivo geral foi dividido em 6 objetivos específicos, que são:

- Estudo sobre a Análise do Modo e Efeito de Falhas em Projetos (D-FMEA) aplicada no setor automobilístico;
- Estudo da metodologia científica de casos múltiplos para aplicação e validação da pesquisa;
- Estudo da utilização da Análise do Modo e Efeito de Falhas em Projetos (D-FMEA) aplicado ao conceito de cadeia produtiva;
- Aplicação da Análise do Modo e Efeito de Falhas em Projetos (D-FMEA);
- Avaliação dos resultados obtidos no estudo de casos múltiplos;
- Recomendações sobre o D-FMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis).

1.5 – Estrutura da Dissertação

A estrutura da dissertação é composta por sete capítulos, os quais estão descritos a seguir.

O capítulo 1 apresenta uma contextualização da pesquisa, com o intuito de fornecer ao leitor uma idéia do ambiente da pesquisa, a problemática observada que justificasse a pesquisa e os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2 aborda a metodologia científica utilizada na pesquisa, justificando a escolha do Estudo de Casos Múltiplos para sistematização da pesquisa.

O capítulo 3 enfoca no FMEA abordando a metodologia de utilização.

No capítulo 4 o leitor terá uma visão geral do ambiente aonde se passa a pesquisa e seu contexto.

O capítulo 5 expõe os estudos de caso e no capítulo 6 os resultados obtidos na pesquisa são comentados.

E por fim no capítulo 7 é feita a conclusão da pesquisa e as recomendações para futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA DE ESTUDO DE CASO

2.1 – Introdução a Metodologia Científica

Segundo Bervian e Cervo (1983), o homem não age diretamente sobre as coisas. Sempre há um intermediário, um instrumento entre ele e seus atos. Isto também acontece quando faz ciência, quando investiga cientificamente. Ora, não é possível fazer um trabalho científico, sem conhecer os instrumentos. E estes se constituem de uma série de termos e conceitos que devem ser claramente distinguidos, de conhecimentos a respeito das atividades cognoscitivas que nem sempre entram na constituição da ciência, de processos metodológicos que devem ser seguidos, a fim de chegar-se a resultados de cunho científico.

Em um sentido mais geral, o método é a ordem que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um fim dado ou um resultado desejado. Na ciência, entende-se por método o conjunto de processos que o espírito humano deve empregar na investigação e demonstração da verdade.

E é com base nas afirmações de Bervian e Cervo (1983), descritas acima, que se busca o direcionamento metodológico para a realização da pesquisa proposta sobre a Análise dos Modos e Efeitos de Falha em Projetos (D-FMEA) e sua aplicação no desenvolvimento de produtos, para a indústria automobilística, inseridos em um conceito de cadeia produtiva.

Esse direcionamento será baseado na metodologia científica, a qual é entendida como um conjunto de etapas ordenadamente dispostas a serem aplicadas na investigação de um fenômeno. E estas etapas estão divididas em: escolha do tema, planejamento da investigação, desenvolvimento metodológico, coleta e tabulação de dados, análise dos resultados, elaboração das conclusões e divulgação dos resultados. Segundo Gil (2002), a investigação científica depende de um “conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos”, para que os objetivos da pesquisa sejam atingidos e isso se resume na aplicação dos métodos científicos.

As metodologias científicas de pesquisa têm desempenhado um importante papel no desenvolvimento de projetos, visto que a exigência de rigor metodológico

nas pesquisas acadêmicas é crescente. E esse rigor é atendido através do reconhecimento e validação do conhecimento organizado mediante o desenvolvimento sistematizado de uma investigação científica, a respeito de um fenômeno observado na “realidade do mundo físico/material”, conforme propõe Berto e Nakano (1998).

Em suma, pesquisar significa procurar respostas para indagações propostas. E para que uma pesquisa possa ser chamada científica e tenha valor e credibilidade é necessário que sejam seguidos procedimentos definidos de coletas de dados, tratamento das informações e análise com o foco nas indagações que motivaram a pesquisa e estes procedimentos consistem em um método que deverá ser seguido. Estes métodos, por suas vez, são definidos conforme a metodologia de pesquisa que se deseja aplicar. Por esta razão, Demo (1987) considera a metodologia uma preocupação instrumental.

Segundo Gil (2002), a pesquisa tem um caráter pragmático, é um “processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico”. E o objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas, mediante o emprego de procedimentos científicos e isso caracteriza a metodologia. Estes procedimentos são organizados em etapas de forma cronológica fornecendo ao pesquisador o direcionamento de como proceder, quando e com qual ferramenta de pesquisa, a fim de maximizar os resultados que podem ser obtidos através da pesquisa.

2.2 – Estudo de caso, metodologia a ser aplicada.

Segundo Yin (2001) há três condições que diferenciam as estratégias de pesquisa:

- a) tipo de questão de pesquisa proposto;
- b) extensão de controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais efetivos;
- c) grau de enfoque em acontecimentos históricos em oposição a acontecimentos contemporâneos.

A primeira condição trata da questão da pesquisa. As questões podem ser categorizadas com a série: “quem”, “o que”, “onde”, “como” e “por que”. Se as questões da pesquisa salientam apenas questões do tipo “o que”, surgem duas possibilidades:

- Questões exploratórias: com objetivo de desenvolvimento de hipóteses e proposições pertinentes a inquirições podendo utilizar qualquer uma das cinco estratégias apresentadas por Yin (2001) (experimento, levantamento, análise de arquivos, pesquisa histórica ou estudo de caso).
- Investigação na linha “quanto” ou “quantos”: favorece a estratégia de levantamento de dados ou de análise de arquivos. Questões do tipo “quem” e “onde” também favorecem estratégias de levantamento de dados ou análise de registros arquivais.

No caso de questões do tipo “como” e “por que”, que são mais explanatórias é provável que levem ao uso de estudos de casos, pesquisas históricas e experimentos como estratégias de pesquisa escolhidas. Nestes casos, faz-se necessário uma distinção adicional através da abrangência do controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais efetivos e o acesso a eles.

- **Pesquisa histórica:** lida com o passado “morto” (não existe controle ou acesso);
- **Estudo de caso:** examina acontecimentos contemporâneos, mas não se podem manipular comportamentos relevantes. É capaz de lidar com uma ampla variedade de evidências;
- **Experimentos:** pesquisador pode manipular o comportamento de forma direta, precisa e sistematicamente.

Para Gil (2002), as estratégias (procedimentos técnicos utilizados) podem ser divididas em:

- Pesquisa bibliográfica;
- Pesquisa documental;
- Pesquisa experimental;
- Levantamento;
- Estudo de caso;

- Pesquisa-ação;
- Pesquisa participante.

Depois de definida a estratégia de pesquisa, faz-se o delineamento da estratégia; sendo que cada estratégia possui um delineamento característico. Neste caso, devido às características do projeto de pesquisa do mestrado apontarem para uma estratégia de estudo de caso, será descrito como delinear esta estratégia. O delineamento pode ser definido como um “esquema” de pesquisa, que trata de, pelo menos, quatro problemas: quais questões estudar, quais dados são relevantes, quais dados coletar, e como analisar os resultados, Yin (2001). Como o estudo de caso caracteriza-se por grande flexibilidade, é impossível estabelecer um roteiro rígido que determine com precisão como deverá ser desenvolvida a pesquisa. Gil (2002) entretanto, para a maioria dos estudos de caso, o delineamento – ou projeto de pesquisa, como é chamado por Yin (2001) – pode ser composto por cinco componentes:

1. As questões de um estudo;
2. Suas proposições se houver;
3. Sua(s) unidade(s) de análise;
4. A lógica que une os dados às proposições;
5. Os critérios para se interpretar as descobertas.

As questões de estudo serão descritas na sequência, sendo que as do tipo “como” e “por que” podem ser tratadas adequadamente pelo estudo de caso.

O segundo componente, **proposições de estudo**, é importante para destinar a atenção às coisas que devem ser examinadas dentro do escopo do estudo.

O terceiro componente, **unidade de análise**, deve ser delimitado para se definir a unidade que constitui o caso em estudo, podendo ser uma pessoa, uma família, uma comunidade, um conjunto de relações ou processos, ou mesmo uma cultura Gil (2002).

O quarto componente, **coleta de dados**, é constituído mediante concurso dos mais diversos procedimentos (evidências): documentação, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante, artefatos físicos, filmes,

fotografias, histórias de vida, entre muitos outros. Segundo Yin (2001) e Gil (2002) a análise de dados é o quinto componente e consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas ou, do contrário, recombina as evidências tendo em vista proposições iniciais de um estudo. Tratar desses cinco componentes precedentes de projetos de pesquisa o forçará efetivamente a iniciar a formulação de uma teoria preliminar relacionada ao seu tópico de estudo. Os contatos de campo relevantes dependem da compreensão ou teoria ou do que está sendo estudado, daí a importância da elaboração da teoria, anterior à realização de qualquer coleta de dados. O desenvolvimento de teorias não apenas facilita a fase da coleta de dados como também é o nível no qual ocorrerá a generalização dos resultados do estudo de caso, caracterizado como “generalização analítica”, Yin (2001).

Atualmente, muita atenção tem sido investida no processo de desenvolvimento de produtos por estar inserido em um ambiente altamente competitivo pela internacionalização das operações e rápidas mudanças tecnológicas, que conseqüentemente resultam na busca de maior confiabilidade dos resultados durante este processo. E estes por sua vez, têm feito o uso de ferramentas como o FMEA, e por este motivo a proposta do projeto de pesquisa tem por objetivo responder a seguinte questão:

Como garantir a confiabilidade do processo de desenvolvimento de novos produtos através do uso do D-FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha em Projetos), mediante a correta avaliação e identificação do modo de falha destacado na coluna 10 do formulário do FMEA, considerando as interações e experiências dos integrantes da cadeia produtiva?

De acordo com Yin (2001), a categoria de questão “como”, sugere a utilização de estratégias de estudos de casos, pesquisas históricas ou experimentos. Seguindo às outras condições que diferenciam as estratégias de pesquisa, abrangência do controle que o pesquisador tem sobre eventos comportamentais efetivos e o acesso a eles, conclui-se que o projeto de pesquisa em questão será adequadamente tratado com a estratégia de estudo de caso múltiplos. Isso porque irá examinar acontecimentos

contemporâneos, cujos comportamentos relevantes não podem ser manipulados. Além disso, a pesquisa é capaz de lidar com uma ampla variedade de evidências.

Para o delineamento da estratégia de estudo de caso, o primeiro componente – questão do estudo – já foi definido durante a exposição do objetivo.

Esta questão, no entanto, não aponta para o que se deve estudar. Para fornecer este direcionamento, é enunciada a seguinte proposição de estudo:

- A prática de utilização e aplicação atual do FMEA em desenvolvimentos de produtos na indústria automotiva;
- Como essa ferramenta é utilizada em um ambiente de interação entre fornecedores e clientes que é a cadeia produtiva;
- Quais as possíveis melhorias no processo de aplicação do FMEA no desenvolvimento de produtos com base nos casos analisados.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 – Introdução

Este capítulo apresenta o conhecimento teórico necessário ao desenvolvimento da pesquisa, ele foi dividido em duas secções principais que são: o estudo da Análise do Modo e Efeito de Falha em Projetos (D-FMEA) onde serão abordadas suas etapas e aplicabilidade no setor automotivo, e o D-FMEA dentro de um conceito de cadeia produtiva.

3.2 – Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

3.2.1 – Descrição geral

Segundo McDermott *et al.* (1996) o FMEA é um método sistemático de identificação e prevenção de defeitos e tem como objetivo principal aumentar a confiabilidade do produto e a satisfação dos clientes. Para Stamatis (1994), o FMEA é um método que geralmente é usado para avaliar um novo sistema, design, processo ou serviço considerando as formas possíveis, nas quais as falhas possam ocorrer.

Os primeiros FMEA's foram concebidos e aplicados na década de 60 pela indústria aeroespacial com o projeto Apolo buscando garantir a segurança e o sucesso do projeto Manual VDA (1996), o qual corresponde ao manual de requisitos para um sistema da qualidade conforme a norma das indústrias automobilísticas alemãs.

Posteriormente, mediante a comprovação da eficiência desta ferramenta, o FMEA se estendeu para outras áreas de atuação e em particular para a indústria química e nuclear com a intenção de reduzir a ocorrência de acidentes.

Com o amadurecimento do conceito desta ferramenta a indústria automobilística adaptou o seu uso para garantir não apenas a segurança, mas também a qualidades dos produtos. Contudo, o FMEA, por ser uma ferramenta multifuncional tem sido utilizado nas mais diversas áreas da engenharia, McDermott et al. (1996):

- **Segurança** - Concepção de ferramentas e dispositivos que sejam a prova de falhas garantindo assim a segurança de quem manuseia este produto, ou ao

menos indicando a necessidade de um treinamento especializado ao seu operador;

- **Contabilidade / Finanças** - Aplicação de FMEA sobre o orçamento (Budget) projetado para o ano, a fim de identificar possíveis despesas de emergência que venham a prejudicar o orçamento anual projetado;
- **Tecnologia e Sistemas de informação** - Departamentos de informática utilizam FMEA para avaliar determinar o grau de segurança dos dados sensíveis;
- **Marketing** - No processo de desenvolvimento de uma nova marca, produto ou lançamento de uma empresa no mercado são avaliados aspectos que possam levar riscos a imagem da marca ou do produto devido a um mau entendimento da estratégia de Marketing utilizado, por parte dos consumidores;
- **Recursos Humanos** - Utilização do FMEA durante o processo de reformulação de um departamento objetivando a redução de possíveis custos ou aumento dos prazos através da aplicação de uma estrutura que ofereça menos riscos a organização;
- **Compras** - Auxilia no processo de decisão de aquisição de novos produtos reduzindo os riscos de problemas futuros como na pós-compra ou após o período de garantia do produto.

Por este caráter adaptativo que o FMEA atualmente apresenta novas propostas que venham sair da sua aplicação generalista para uma aplicação bem específica, que é o caso da utilização do FMEA na avaliação do custo do produto durante seu tempo de vida, o que passa a ser uma avaliação muito mais complexa e completa, Spencer e Rhee (2004). E pela flexibilidade ou caráter adaptativo o FMEA tem cada vez mais sido utilizado pelos mais diversos setores da indústria e de outros segmentos, como também se consolidando como uma ferramenta essencial na indústria automobilística.

3.2.2 – Metodologia de aplicação do FMEA

O FMEA, de acordo com a definição de Linton (2003), é constituído de três partes idênticas: situação atual, situação proposta e resultados da aplicação do sistema proposto. Nestas três partes é possível fazer:

1. Identificação da falha antes que ela ocorra;
2. Consideração, avaliação e seleção dos métodos para prevenção da falha;
3. Uma análise da performance atual e após a aplicação do método de prevenção da falha.

Para a elaboração de um FMEA é necessária em primeiro lugar à definição de qual FMEA deve ser realizado, de acordo com Palady (2004): Design FMEA (FMEA de Projeto) ou Process FMEA (FMEA de Processo). Com essa definição é nomeado um líder, o qual será responsável por formar a equipe multifuncional.

A figura 3 exemplifica o que efetivamente representa uma equipe multifuncional, que é a composição de um grupo de pessoas de diversas áreas ou setores que venham através da diversidade de conhecimentos contribuir para identificação de riscos de falha.

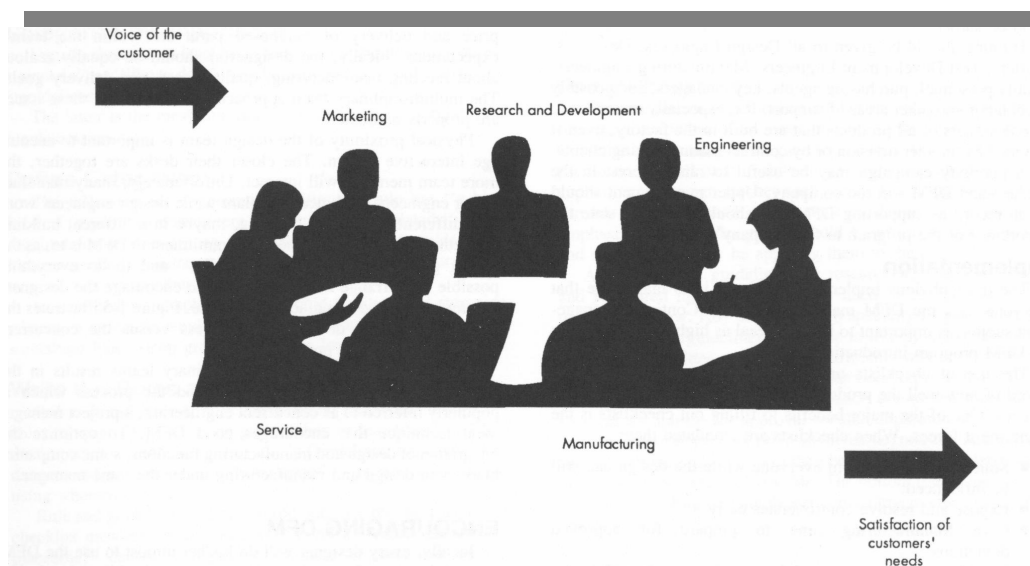


Figura 3: Exemplo de equipe multifuncional

Fonte: CIM Press (1990)

O papel da equipe multifuncional é de analisar o produto ou processo de forma ampla a fim de cobrir todas as possibilidades de falha e por esta razão é interessante que ela seja composta por pessoas de diversas áreas. Não é interessante que uma equipe multifuncional seja composta apenas por especialistas no produto ou processo analisado, mas sim que haja componentes de áreas não diretamente ligadas ao FMEA que está sendo montado.

A equipe responsável pelo FMEA deve utilizar ferramentas como: Brainstorm, Diagrama de Ishikawa, Análise de árvore de falhas, Helman e Andrey (1995).; Controle Estatístico de Processo (CEP) e o desdobramento da função qualidade (QFD- Quality Function Deployment); Helman e Andrey (1995). Para a definição dos modos de falha e dos índices de ocorrência, severidade e detecção.

Mediante a definição do produto ou processo e do módulo de falha que será analisado é utilizado o formulário padrão do FMEA. Este formulário foi aperfeiçoado desde o início do FMEA no Projeto Apolo e nesta pesquisa foi utilizado o modelo mais usado na indústria automobilística, o qual se baseia no modelo proposto pela norma QS-9000, Manual QS-9000_FMEA (1997), conforme ilustrado na tabela 1.

LOGO TIPO DA EMPRESA		F M E A (ANALISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS)								Equipe:		Preparado por:					
1-DATA: 20-02-2004 2-VERSÃO: 00 3-MODELO / ANO: 4-PROCESSO / FASE: 5-FORNECEDOR: 6-RESP. FMEA:		FMEA DE PROJETO ☒ FMEA DE PROCESSO ☐ 7-DES. CLIENTE : 51744XXX 8-DESCRIÇÃO : DESENHO:															
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22 - RESULTADOS DAS AÇÕES					
ITEM / FUNÇÃO	MODOS DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) POTENCIAL(IS) DE FALHA	SEVERIDADE	CLASSIFIC.	CAUSA(S) E MECANISMO(S) POTENCIAL(IS) DA FALHA	OCORRÊNCIA	CONTROLES ATUAIS DO PROJETO	DETECÇÃO	NPR	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL E PRAZO	AÇÕES TOMADAS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	NPR	
1- Coxim Lado Motor	Ligação entre a carcaça e o motor impossibilitada	- Montagem impossibilitada	10		-Parada da linha de montagem	2	Controle dimensional dos componentes, dispositivos que garantem posição correta dos componentes no conjunto	1	20								
		-Dificuldade na montagem	7		-Vida útil reduzida/possível ruptura da peça	1	Dispositivo que garanta a correta montagem dos componentes/conjunto	1	7								
	Filtragem das vibrações insuficientes	Percepção de ruídos e vibrações provenientes do motor.	7		Troca do composto de borracha no momento da vulcanização	2	Definição borracha de acordo com especificações do desenho. Sistema eficiente de identificação dos compostos.	5	70	Testes de deflexão estática como plano de controle.	Imediato, laboratório	Incluído no plano de controle diário o teste estático nas 5 primeiras peças de cada turno por item produzido.	7	2	1	14	
OCORRÊNCIA				DETECÇÃO						NPR							
- IMPROVÁVEL		=1		- ALTA		=1				- BAIXO							
- POUCO PROVÁVEL		=2...3		- MODERADA		=2...3				- MEDIO							
- PROVÁVEL		=4...6		- PEQUENA		=4...6				- ALTO							
- MEDIA		=7...8		- MUITO PEQUENA		=7...8				- MUITO ALTO							
- ALTA		=9...10		- IMPROVÁVEL		=9...10				- DEFINIR AÇÃO CORRETIVA EM INDICE A PARTIR DE 70							

Tabela 1 – Modelo FMEA QS-9000

Fonte: Manual QS-9000 – FMEA, 1997.

O formulário, ilustrado na tabela 1, é um exemplo e cada empresa promove adaptações conforme as necessidades de informações importantes para cada aplicação, empresa ou instituição, contudo as mudanças são mínimas por possuir itens básicos que são essências, os quais são as colunas do FMEA onde efetivamente ocorre a análise do modo do efeito de falha potencial. Nesta pesquisa a exploração do FMEA terá seu início a partir do item nove, isso porque os itens 1 à 8 tratam somente das informações gerais do FMEA como: número de identificação, responsável pelo projeto, a relação dos profissionais que compõem a equipe multifuncional, entre outros, que não são relevantes para o desenvolvimento da pesquisa propriamente dita. Já dos itens 9 a 22, possui os campos onde a análise do FMEA é realmente feita, como é descrito em cada coluna da tabela 1 e observado a seguir:

- **Coluna 9 - ITEM / FUNÇÃO:** nesta coluna é descrita a identificação do item a ser analisado e a função de forma breve, a qual o produto está sendo ou foi concebido. Ao se observar a tabela 1 é possível identificar onde é mencionado o produto do estudo, o item Coxim Lado Motor;
- **Coluna 10 - MODO DE FALHA/ DEFEITO:** o modo de falha é a descrição como um produto, componente, subsistema ou sistema que durante a sua utilização normal, potencialmente falharia, contudo essa falha não necessariamente irá ocorrer. Esta descrição deve ter um caráter técnico e não apenas sintomático como descrito por um cliente. Ao comparar com a coluna 10 do exemplo da tabela 1, onde há a descrição: ligação entre carcaça e motor impossibilitada, ou seja esta é a função para qual o produto foi concebido a nível de descrição técnica contudo não está atendendo ou cumprindo sua função;
- **Coluna 11 - EFEITO(S) POTENCIAL(IS) DA FALHA(S):** o Efeito potencial da Falha é definido como o efeito percebido pelo cliente no momento em que ela ocorre. Esta descrição deve indicar a gravidade da falha percebida pelo cliente, visto que esta descrição irá auxiliar na definição de outros parâmetros. Ao se comparar com o exemplo da figura um que indica na coluna 11: Montagem

impossibilitada e/ou dificuldade na montagem, é possível observar que estes são os efeitos perceptíveis ao cliente para aquele modo de falha descrito na coluna 10;

- **Coluna 12 - SEVERIDADE (S):** a Severidade é uma avaliação da gravidade do efeito do modo de falha potencial descrito na coluna 11. A Severidade pode ser classificada dentro de um range de 1 a 10, sendo o número 1 a representação de uma severidade baixa sem efeito, enquanto o número 10 indica um índice de severidade muito alto que significa um risco de segurança para o usuário do produto. Para este nível só se é possível reduzi-lo com alteração de projeto. Segundo Yacoub e Ammar (2002), a análise de severidade é um procedimento pelo qual cada modo de falha potencial é classificado de acordo com as consequências do modo de falha. A severidade considera a consequência do pior caso de uma determinada falha pelo grau do dano pessoal, a propriedade ou sistema. No caso do exemplo da tabela 1, a severidade foi considerada 10 por simplesmente no caso de montagem impossibilitada significar que o produto não cumpre sua função e está inutilizado. Já no caso de dificuldade de montagem a severidade não é considerada em seu grau máximo;

Tabela 2 – Índice de Severidade

Efeito	Critério: Severidade do efeito	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação de veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação de veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/item inoperável, com perda das funções primárias.	8

Alto	Veículo/item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito	7
Moderado	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência inoperável (is). Cliente sente desconforto.	6
Baixo	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com nível de desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito Baixo	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não-conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não-conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	3
Muito menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não-conforme. Defeito notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: **Manual QS-9000 – FMEA (1997)**

- **Coluna 13 CLASSIFICAÇÃO:** esse item é usado para classificar a característica que está sendo avaliada como: crítica, chave, maior ou significativa, em um produto, subsistema ou sistema, que possa requerer controles adicionais do processo. Por esta razão, qualquer item que necessite de controles especiais deve ser identificado no formulário do FMEA de projeto, o qual já servirá como fonte durante a formação do plano de controle e do FMEA de processo. Um exemplo para esta classificação para um coxim seria o risco de falta de aderência entre o metal e a borracha que é de difícil detecção e de severidade máxima e que certamente resultaria em perda total de função com risco de acidentes e por esta razão ao se identificar uma indicação como essa o produto deve ser inspecionado a 100% a fim de identificar este modo de falha;

- **Coluna 14 - CAUSA(S) E MECANISMO(S) POTENCIAL(IS) DA FALHA:**

Causa Potencial da Falha é definida como uma indicação de uma deficiência do projeto, cuja consequência é o modo de falha. Todos os mecanismos e/ou causas de falhas devem ser listados da forma mais completa possível, para que as medidas preventivas possam ser aplicadas às causas pertinentes. Seguindo ainda o exemplo da tabela 1 para o modo de falha: ligação entre carcaça e motor impossibilitada resultaria na parada da linha de produção caso a montagem do coxim no veículo fosse impossibilitada, ou seja, trata-se do resultado da falha;

- **Coluna 15 - OCORRÊNCIA:** a ocorrência é a probabilidade de um mecanismo/causa específico, listado na coluna 14, vir a ocorrer. A probabilidade de ocorrência tem um significado mais importante que apenas seu valor. Isso porque, a forma de reduzir efetivamente o índice de ocorrência é a remoção ou controle de um ou mais mecanismos de falha através de uma alternativa no projeto. Da mesma forma como a severidade, a ocorrência é classificada entre os valores de 1 a 10. Para esta valorização algumas questões devem ser consideradas, tais como:

1. Qual a experiência e/ou histórico de campo com componentes ou sistemas similares?
2. O componente é proveniente ou similar ao nível anterior de componente ou subsistema?
3. Qual o significado das alterações em relação a uma versão mais antiga?
4. O componente é completamente novo?
5. A aplicação do componente mudou?
6. Quais são as modificações no meio ambiente?

O índice de ocorrência está relacionado à probabilidade de ocorrência e não a ocorrência real. Segundo o Manual de Referência da QS-9000 (1997), é sugerido um critério de avaliação para que este processo não seja algo completamente subjetivo. Este critério deve ser observado pela equipe multifuncional durante a avaliação da probabilidade de ocorrência de um mecanismo/causa potencial de falha, como

ilustrado na tabela 3. No exemplo da tabela 1 a ocorrência foi classificada em 2, devido ao sistema de montagem deste coxim já possuir um dispositivo a prova de erro que no momento da montagem do mesmo simula a montagem do veículo o que resulta em um controle 100% do produto antes de ser enviado ao cliente.

Tabela 3 – Índice de Ocorrência

Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Muito alta: falha quase inevitável	≥ 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Falhas freqüentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: Poucas falhas	1 em 2.000	4
	1 em 15.000	3
Remota: Falha é improvável	1 em 150.000	2
	≤ 1 em 1.500.000	1

Fonte: **Manual QS-9000 – FMEA (1997)**

- **Coluna 16 - CONTROLES ATUAIS DO PROJETO:** nesse item devem ser listadas as atividades de prevenção para o modo de falha e/ou causa/mecanismo considerado. Controles, estudos matemáticos, ensaios de laboratório, testes de protótipos entre outros são aqueles que são usados ou tem sido usados no mesmo projeto ou em projetos similares a fim de prever a ocorrência da falha ou aumentar a capacidade de detecção do modo de falha. Seguindo o exemplo da tabela 1, como comentado anteriormente este controle é feito através de um dispositivo de teste dimensional;
- **Coluna 17 – DETECÇÃO:** é a avaliação da capacidade dos controles atuais do projeto propostos na coluna 16 em identificar uma causa/mecanismo potencial do modo de falha antes do componente, subsistema ou sistema ser liberado para a

produção. Assim como os índices de Severidade e Ocorrência. A tabela 4 apresenta uma proposta, na qual a equipe multifuncional pode se balizar para definir o índice de Detecção. Conforme o exemplo o índice de detecção foi um, pois mediante o dispositivo de teste dimensional ser o próprio dispositivo de montagem a verificação dimensional é feita em 100% resultando na capacidade de detecção máxima = 1;

Tabela 4 - Índice de Detecção

Detecção	Critério: Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto	Índice de Detecção
Absoluta incerteza	Controle de Projeto não irá e/ou não pode detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha; ou não existe Controle de Projeto.	10
Muito remota	Possibilidade muito remota que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	7
Baixa	Possibilidade baixa que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderada mente alta	Possibilidade moderadamente alta que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	4
Alta	Possibilidade alta que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	3

Muito alta	Possibilidade muito alta que o Controle de projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	2
Quase certamente	O Controle de Projeto irá quase certamente detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	1

Fonte: **Manual QS-9000 – FMEA (1997)**

- Coluna 18 - NÚMERO DE PRIORIDADE DE RISCO (NPR):** o Número de Prioridade de Risco é o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). **$NPR = (S) \times (O) \times (D)$** - O NPR é um índice de risco do projeto. Este número que pode variar de 1 a 1.000, fornece condições para a equipe multifuncional identificar os pontos de fragilidade do FMEA e priorizar as ações corretivas a fim de evitar a ocorrência de falhas. Contudo, de uma forma geral, deve ser dada uma atenção especial quando a severidade for alta, independente do NPR resultante, embora devido à limitação de recursos disponíveis para as ações corretivas, o NPR vem auxiliar neste sentido. Essa afirmação de que a severidade deve receber atenção especial. Manual QS-9000, é devido ao fato que num determinado modo de falha que possui $NPR = 80$, pode ser resultado de $S=2$, $O=8$ e $D=5$. Com estes valores tem-se um produto que possui um modo de falha com a severidade muito baixa, mas que por outro lado é difícil a sua detecção e pode ocorrer com frequência. O que não é tão crítico quanto um produto que tenha NPR igual a 81, mas obtido com os valores: $S=9$, $O=3$ e $D=3$, ou seja, sua detecção é relativamente alta, possui baixas probabilidades de ocorrer, contudo a severidade é altíssima e caso venha a ocorrer oferece risco a operação do veículo com riscos a segurança e não conforme com a legislação governamental. Segundo Sankar e Prabhu (2001), NPR é um produto matemático da seriedade de um grupo de efeitos (severidade), a probabilidade que uma causa criará falha(s) associadas àqueles efeitos (ocorrência), e uma habilidade de detectar a falha antes de atingir aos consumidores (detecção);
- Coluna 19 - AÇÕES RECOMENDADAS:** Após a obtenção do valor do NPR referente a cada modo de falha para os itens críticos e com altos índices de NPR,

visando conseguir valores de NPR reduzido através da redução dos índices de Ocorrência, Severidade e/ou Detecção, devem ser propostas ações que venham viabilizar a redução do NPR.. O valor de NPR que justifica a existência de ações recomendadas não é padronizado e por isso varia de usuário para usuário do FMEA, mas geralmente está entre 70 e 100 pontos. Na tabela 1 está mencionado a ação recomendada para um modo de falha na borracha, que pode ocorrer mediante a uma possível troca de composto e para se evitar isso, a ação recomendada foi o teste de deflexão estática no produto vulcanizado de cada turno de produção dando a liberação para o mesmo e evitando falhas;

- **Coluna 20 - RESPONSÁVEL E PRAZO:** indica a empresa/área ou indivíduo responsável pela ação recomendada com o respectivo prazo para execução. Prazo esse que está ligado ao cronograma de desenvolvimento do projeto e mediante seu cumprimento o impacto nos custos do projeto pode ser maior ou menor, pois caso não seja executado no prazo correto outras ações podem ser tomadas considerando que esta já foi efetuada;
- **Coluna 21 - AÇÕES TOMADAS:** após uma ação ter sido implementada, é fornecido uma breve descrição da mesma e a data de sua efetivação;
- **Coluna 22 - NPR RESULTANTE:** após a ação corretiva ter sido identificada é feita uma nova estimativa dos índices resultantes de severidade, ocorrência e detecção, que resultarão em um novo NPR, o qual poderá atestar o sucesso da ação através da diminuição do valor de NPR.

Através do cumprimento de todas as etapas do FMEA e do preenchimento das colunas do formulário do FMEA ter-se-á um indicativo de quais ações deverão ser realizadas para que o produto, subsistema ou sistema se torne mais confiável com probabilidade reduzida de ocorrência de falhas.

Ao final da montagem de um FMEA, o resultado é um guia que indica os pontos em que o produto ou processo possa apresentar fragilidade, apesar das

contingências tomadas durante a análise dos modos e dos efeitos de falhas. Por esta razão, como um último procedimento, deve ser montado um Plano de Provas ou Plano de Controle. Esses planos são duas ferramentas utilizadas para auxiliar o processo de desenvolvimento de produto e o próprio produto em sua vida em série.

Através do plano de provas são definidas as ações e procedimentos que devem ser executados para evidenciar que as exigências do produto foram atingidas, quanto aos parâmetros de qualidade, durabilidade, aparência e outros. Estas ações são definidas no momento da concepção do produto, onde são listadas as condições ou características de trabalho ou utilização que venham a atender ou superar as expectativas do cliente final. Mediante estas características são definidos os materiais que devem ser utilizados, os processos adotados e normas que serão seguidas após a produção das primeiras amostras seja definido o plano de provas com o cliente. Este plano de prova, no caso da indústria automobilística, que é o universo, o qual está sendo considerado, terá diferentes fases onde mediante as exigências técnicas do produto quanto a níveis de exigências de parâmetros mensuráveis ou não, são definidos as normas, meios de testes e parâmetros a serem considerados.

Com a definição dos parâmetros, devem ser definidos os testes que irão compor o plano de provas e sua realização pode ocorrer internamente no cliente, no fornecedor ou por órgão terceirizados que possuem certificação para a realização dos mesmos. Estes testes visam simular as condições de uso ou utilização do produto em um prazo médio de utilização visando garantir as expectativas do cliente final que pode ser desde uma boa aparência até um item que garanta a segurança a fim de evitar danos fatais ao usuário.

Quanto ao plano de controle, este é utilizado em um segundo momento. Após a aprovação do desenvolvimento de um produto mediante o atendimento das exigências definidas no plano de provas tem início o processo serial deste produto. E com a finalidade de manter a qualidade obtida no momento do desenvolvimento são definidos parâmetros de controle para o processo de produção serial que é denominado de plano de controle. Nesta fase são controladas as características do produto ou do processo que garantam a manutenção do status apresentado durante o plano de provas.

Estas duas ferramentas da qualidade estão diretamente ligadas ao FMEA de projeto e ao FMEA de produto. No caso do plano de provas, o FMEA de projeto é um dos itens que são considerados para a realização de determinados testes. No momento do desenvolvimento, devem ser observados os itens com maior NPR ou com grau de severidade maior e esta(s) característica(s) deve(m) ser incluída(s) no plano de provas, a fim de serem testadas e desta forma, assegurar que não haverá riscos de falhas.

Já no plano de controle, devido a ser um processo feito para o produto em uma situação de vida em serie, é utilizado o FMEA de processo. Neste momento devem ser analisados os riscos e modos de falhas nas várias etapas do processo produtivos. Para isso deve-se utilizar o fluxograma de processo como guia de referência dos passos a serem analisados e da mesma forma que no plano de provas os itens com NPR alto ou valores elevados de severidade ou ocorrência são incluídos como itens de controle no processo.

3.2.3 – O FMEA e o desenvolvimento de novos produtos

O processo de desenvolvimento de produtos é algo que ocorre com a interação de diversas áreas, equipes e ferramentas, sendo que uma delas é o FMEA, Palady (2004). E como afirma Reiling *et al.* (2003) muitas indústrias estão utilizando o FMEA para facilitar e sistematizar o desenvolvimento de novos produtos.

Essa utilização ocorre nas mais diversas áreas, desde e-commerce, Linton (2003) até a área de saúde, o que reforça a credibilidade que esta ferramenta oferece ao processo de desenvolvimento de novos produtos.

O FMEA, neste momento passa a ter um enfoque específico no desenvolvimento de novos produtos e por esta razão sua denominação é substituída por D-FMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis) e por isso a grande pergunta a ser feita segundo, McDermon *et al.* (1996) é: como o produto pode falhar? Aqui não há preocupação com o processo, mas sim com o produto. Contudo sua metodologia não muda e sua abordagem se mantém a mesma através de uma equipe multifuncional e a interação com outras ferramentas. E essa interação acontece

com as seguintes ferramentas listadas por Esterilo e Sznclwar (2001) : modelamento matemático; QFD (Desdobramento da Função Qualidade), Engenharia Simultânea, Projeto orientado para a Manufatura e Montagem (DFM / DFA), APQP (Advanced Product Quality Planning), entre outras.

Para o desenvolvimento estas variáveis agem entre si a fim de alcançar o objetivo de conceber um produto que venha atender as exigências do cliente de forma satisfatória considerando os aspectos de segurança, custo, qualidade, prazo e etc. E algumas destas características podem ser definidas como, por exemplo, a confiabilidade do produto.

E nesta pesquisa o enfoque será a utilização do D-FMEA no setor automobilístico no auxílio de desenvolvimento de elementos de anti-vibração, também denominados coxins.

3.2.4 -- Aplicação do FMEA no setor automobilístico

A aplicação do FMEA no setor automobilístico atualmente é um procedimento obrigatório, devido as exigências dos procedimentos da qualidade baseados nas normas de qualidade: VDA, QS-9000 e ISO/TS, tendo em vista que todos os fornecedores diretos das montadoras são obrigados a serem certificados por estas normas ou em casos especiais, a pelo menos seguirem as exigências dessas normas.

Segundo Palady (2004), essa ferramenta é a mais eficaz quando aplicada em um esforço de equipe, entretanto pode e tem sido executado como esforço individual, o que será abordada na avaliação dos estudos de casos. E mediante a realização das etapas do APQP (APQP - Advanced Product Quality Planning), Manual APQP - IQA (1997), na fase de projeto de um novo produto, uma dessas fases deve ser a avaliação dos riscos do projeto e para isso a utilização da Análise de Modos e Efeitos de Falhas se faz obrigatória. Por esta razão o FMEA de Projeto e Produto é um item de controle em qualquer processo de auditoria, quer seja do órgão certificador do Sistema de qualidade, uma vez que os sistemas de qualidade utilizados por cada montadora fazem menção da utilização do FMEA como uma ferramenta de detecção e solução

de falhas potenciais, quer seja pelo cliente ou até mesmo pelo processo de auditoria interna.

Tendo em vista a preocupação tão evidente com a melhoria continua dentro do setor automotivo, o direcionamento de Franceschini e Galetto (2001) vai de encontro a esse objetivo, pois segundo eles o FMEA pode ser usado como um método de documentar a evolução de um design. Principalmente ao focarmos na melhoria continua, o FMEA fornece indicação dos principais pontos de melhoria que são os de NPR mais elevados. E segundo Franceschini e Rossetto (1995b), o FMEA possui a capacidade de estimular a aplicação da melhoria contínua em novos conceitos de design.

3.3 - O FMEA e a Cadeia de Suprimentos

Através da tendência dos desenvolvimentos de novos projetos que exigem a cada lançamento melhores performances dos produtos que entram no mercado, é preciso se maximizar a eficiência das práticas durante o desenvolvimento, a fim de superar as expectativas dos clientes. Contudo para isso, dia-a-dia é necessário cada vez mais à participação dos envolvidos que compõem a cadeia produtiva, pois da concepção à produção das primeiras amostras, inúmeras empresas estão envolvidas.

A necessidade dessa interação entre os elementos da cadeia produtiva foi observada por Calabrese (1999). Conforme Calabrese o desenvolvimento de produtos é um processo complexo, no qual são exigidos constantes controles e interações baseadas na troca de dados; que podem envolver varias empresas. É um processo parceria, no qual se refere aos elementos externos, que têm suas atividades orientadas ao mercado com o objetivo de atender as necessidades do cliente.

A comunicação e a cooperação durante o desenvolvimento de produtos assumem um alto grau de complexidade com os fatores externos, tais como clientes e fornecedores e que por isso a relação com a fábrica deve ser intensificada ao máximo.

Contudo, o aspecto crucial é gerir o fluxo de informação entre os integrantes do processo de desenvolvimento, superar os problemas de comunicação e cooperação na cadeia de suprimento é o ponto de início da pesquisa, Calabrese (1999). Mas não

para por ai, pois a necessidade de compartilhar o conhecimento específico e as informações entre o momento inicial e final de cada fase do projeto, as quais ocorrem muitas vezes em paralelo, destacam o caráter multiforme das competências envolvidas na concepção, prototipagem e fabricação de novos produtos. E elas são fundamentais ao longo da cadeia produtiva durante as fases do projeto.

Essa necessidade, por vezes, se torna ainda mais evidente quando é preciso fazer mudanças nos produtos em desenvolvimento mediante as indicações do mercado. O que não é algo raro de acontecer. Conforme Kidd e Thompson (1999), foi registrado que no Japão, mais de 60% das alterações de design ocorreram durante a definição do produto e 10% durante o pré-lançamento. Contudo ao ser comparado com as empresas britânicas e americanas (DTI, 1991), somente 17% das mudanças acontecem durante a definição do produto e 50% do pré-lançamento. E isso é devido aos custos envolvidos, pois alterações tardias em design implicam em envolver os departamentos de desenvolvimento, produção, logística, compras, gestão de estoque entre outros, o que resulta na penalidade de altíssimos custos, visto que essas alterações afetam não apenas uma empresa, mas toda a cadeia produtiva.

A visualização da importância da cadeia produtiva no processo de desenvolvimento de novos produtos vem ganhando cada vez mais adeptos. E um estudo feito durante um desenvolvimento de um novo veículo na VW do Brasil, observou-se a necessidade de utilizar uma nova sistemática de desenvolvimento, que passava pelo desenvolvimento de fornecedores para o processo de desenvolvimento do produto. De forma resumida, os principais blocos de atividade considerados pela VW do Brasil nesse estudo foram:

1. Análise e liberação de protótipos;
2. Análise e liberação de conceito de ferramentais;
3. Elaboração de pré-requisitos para definição de fornecedores;
4. Avaliação de risco de projeto por família de peça;
5. Avaliação de risco do processo do fornecedor;
6. Certificação da capacidade do fornecedor.

Foi detectada, que a sinergia nos processos de desenvolvimento não é juntar o que não está dando certo para ver se funciona, mas sim agregar as competências fortes para a geração de um negócio de alto desempenho e vantagem competitiva.

Essa afirmação é devido ao momento que a VW do Brasil passava, mediante sua separação da Ford com o fim da Autolatina, visto que na Autolatina a Ford era a responsável pelo desenvolvimento e a partir deste novo momento a VW teria que se enquadrar em uma nova realidade. Após alguns projetos, que apesar de serem bem sucedidos no mercado apresentaram muitas falhas durante o desenvolvimento, a VW buscou melhorias para a fase de desenvolvimento a começar pela preocupação com a cadeia produtiva seguindo os passos listados anteriormente. Contudo também se depararam com a dificuldade na troca de informações e experiências. E isso ocorreu devido ao fato do processo ser algo tão dinâmico, que necessitava que essa troca de informação fosse sistematizada. Esta sistematização deveria contemplar as várias ferramentas disponíveis, com o objetivo de superar as alterações que muitas vezes o mercado impõe ao projeto forçando adequações, limitações de orçamento, exigências de prazos e etc., durante o desenvolvimento. E para suplantar essas adversidades é preciso fazer uso das experiências e competências dos integrantes da equipe de desenvolvimento: cliente, fornecedores, sub-fornecedores, ferramentarias e etc. Pois como afirma Yu *et al.* (2001) existem três fontes distintas de incerteza que afetam a cadeia produtiva: fornecedores, fabricantes e clientes.

Um exemplo claro da complexidade da informação durante o desenvolvimento de novos produtos, é o ilustrado na figura 4a. Interessante e Macfarlane (1995). A figura representa o fluxo de material dentro da cadeia produtiva de uma indústria têxtil e duas empresas por setor. A figura 4b ilustra o mesmo sistema só que considerando um sistema de troca de informações, no qual facilmente se observa o altíssimo grau de complexidade.

Essa complexidade se agrava quando se depara com a afirmação de Sampson (2000), o qual atesta sobre a migração das unidades produtivas de países de economia desenvolvida para países de economia menos desenvolvida, ou países em desenvolvimento e esta extensão da produção e distribuição através de diversas fronteiras de nações tornam a gestão da cadeia produtiva algo imperativo. E mediante

as práticas que se observam hoje, que é a ocorrência do desenvolvimento em um país e a manufatura em outro e o cliente se localizar em outro, a complexidade da informação entre os agentes deste processo toma proporções cada vez maiores e força as empresas a estarem atentas a um processo ou ferramenta que venha a prever erros potenciais, que nessa pesquisa é enfatizado como D-FMEA.

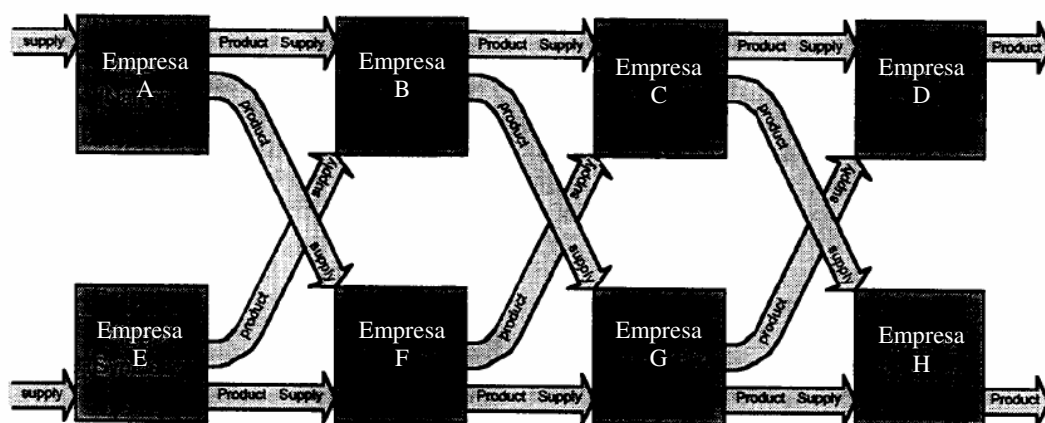


Figura 4a: Fluxo de produtos na Cadeia Produtiva

Fonte: Interrante e Macfarlane (1995)

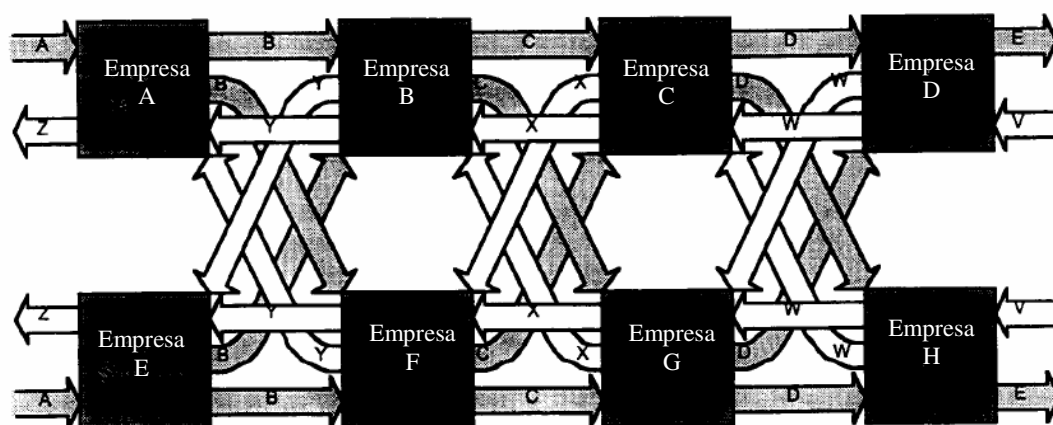


Figura 4b: Fluxo de informação na Cadeia Produtiva

Fonte: Interrante e Macfarlane (1995)

Tendo em vista o caráter de dualidade entre cliente/fornecedor, apresentado por Sampson (2000), a avaliação sobre a informação trocada dentro da cadeia produtiva é importante, pois segundo este critério o cliente passa em um determinado momento do desenvolvimento a ser fornecedor, através do fornecimento de especificações técnicas, características exigidas, condições de fornecimento, prazos e etc. E como Sampson (2000) bem lembra, ao considerar dois níveis de dualidade entre cliente e fornecedor, nos quais entram sub-fornecedores, a avaliação da informação dentro da cadeia produtiva se torna ainda mais importante. E mediante as expectativas do cliente em receber um valor agregado as informações por ele fornecidas, que se resultam no produto desenvolvido conforme especificações, no prazo e preço acordados se faz necessário o uso de uma ferramenta como FMEA, que busca garantir as expectativas do cliente com produtos que forneçam qualidade e confiabilidade. E isso é possível, quando se utiliza o FMEA como uma ferramenta de integração da cadeia produtiva na identificação de riscos e troca de experiências, visando obter um produto que venha atender os anseios do cliente final.

Yu *et al.* (2001), fazem uma afirmação importante que nos leva a pensar na prática de utilização atual do FMEA pela empresas. Segundo eles, enquanto todos os membros isolados têm uma perfeita informação sobre si, as incertezas crescerão devido a falta da perfeita informação sobre outros membros da cadeia produtiva. Para reduzir incertezas, os membros da cadeia produtiva devem obter mais informação sobre outros membros. Se estes membros estiverem dispostos a compartilhar informações, cada um deles terá mais informações sobre o outro. E assim, o desempenho do sistema deverá ser melhorado, porque cada membro será beneficiado com as informações compartilhadas, o que conseqüentemente resultará em um processo de desenvolvimento mais eficiente e esses autores definem essa prática como parceria da cadeia produtiva.

CAPÍTULO 4 – A APLICAÇÃO DO D-FMEA NA CADEIA PRODUTIVA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO.

4.1 – Introdução

Neste capítulo será descrito o ambiente onde ocorreu a pesquisa e quais são as etapas do desenvolvimento de um novo produto na indústria automobilística. E através do acompanhamento destas etapas serão identificados os momentos em que o FMEA é aplicado e de que forma isso acontece.

4.2 - Apresentação do ambiente de pesquisa

O ambiente de pesquisa foi a indústria automobilística, a qual tem se destacado pela utilização de técnicas e procedimentos nos seus diversos setores a fim de garantir a confiabilidade nas etapas de desenvolvimento, as quais venham resultar em produtos de maior qualidade diante do cliente final.

Neste contexto temos como participantes desse processo:

- O cliente, que é a montadora de veículos;
- O fornecedor de primeira linha ou Tier 1;
- Os sub-fornecedores.

Contudo, antes de se tratar dos envolvidos neste processo, será descrito o produto, que será foco desta pesquisa.

4.2.1 - O produto – Coxim

Nesta pesquisa será tratado o fornecimento de componentes de anti-vibração, chamados de coxim. Os coxins se dividem em três grupos básicos:

- Cxim de Motor;
- Cxim de Suspensão;
- Diversos.

Esses grupos indicam as características que serão exigidas para a sua aplicação, conforme as especificações do cliente, como: durabilidade às forças aplicadas, resistência à temperatura de trabalho e índice de amortecimento ou filtragem das vibrações, que indicam sua eficiência.

O coxim de motor, na realidade é um conjunto de itens, pois dependendo do motor que é utilizado pelo cliente é necessário de 3 a 5 coxins por motor a fim de suportá-lo e absorver suas vibrações, mas em geral são três: coxim do lado motor, coxim do lado diferencial e coxim do lado câmbio.

Na figura 5 é possível observar os coxins do motor destacados no contorno de um motor.

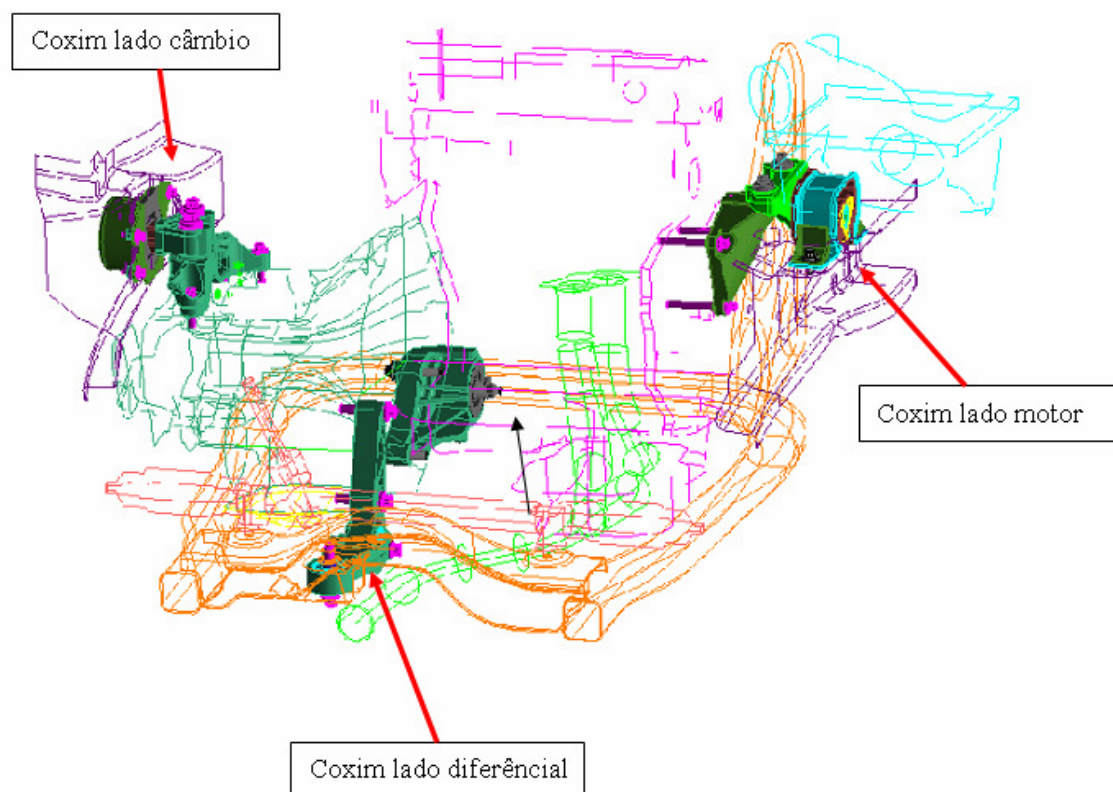


Figura 5 – Distribuição espacial dos coxins em um motor

Fonte: o autor

Estes coxins estão ligados diretamente ao conforto do condutor do carro visando evitar que as vibrações do motor passem à carroceria, o que resultaria em

desconforto aos ocupantes do veículo. Contudo, estes coxins também têm uma outra componente muito importante a ser considerada que é a questão segurança, visto que em casos de colisão é preciso que seja garantido que a junção motor/carroceria não será quebrada, pois além de comprometer inteiramente a função, a qual foi proposto também impossibilitaria a remoção do veículo. E devido a esse compromisso entre conforto e segurança, estes são os coxins com o maior grau de complexidade.

No caso dos coxins de suspensão, são basicamente usados na junção do amortecedor com a carroceria.

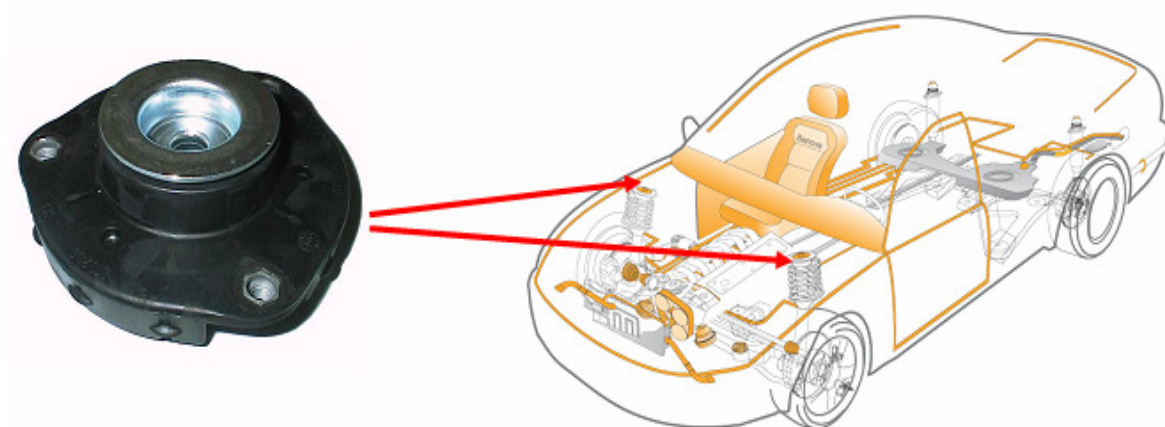


Figura 6 – Coxim de suspensão dianteira

Fonte: **o autor**

Este seria o componente final no sistema de absorção de vibrações recebidas do contato do pneu com o pavimento. Em comparação aos coxins de motor, uma das razões por ter seu grau de complexidade menor é devido a ser utilizado em uma área menos agressiva devido a não exposição de grandes temperaturas irradiadas pelo motor.

E por fim, o item “diversos” trata de coxins que filtram as vibrações de outras áreas do veículo como: direção, escapamento, radiador e outros. Mas neste tópico além dos coxins diversos estão incluídas também as buchas e batentes. E quanto ao seu grau de complexidade, se assemelha a dos coxins de suspensão.

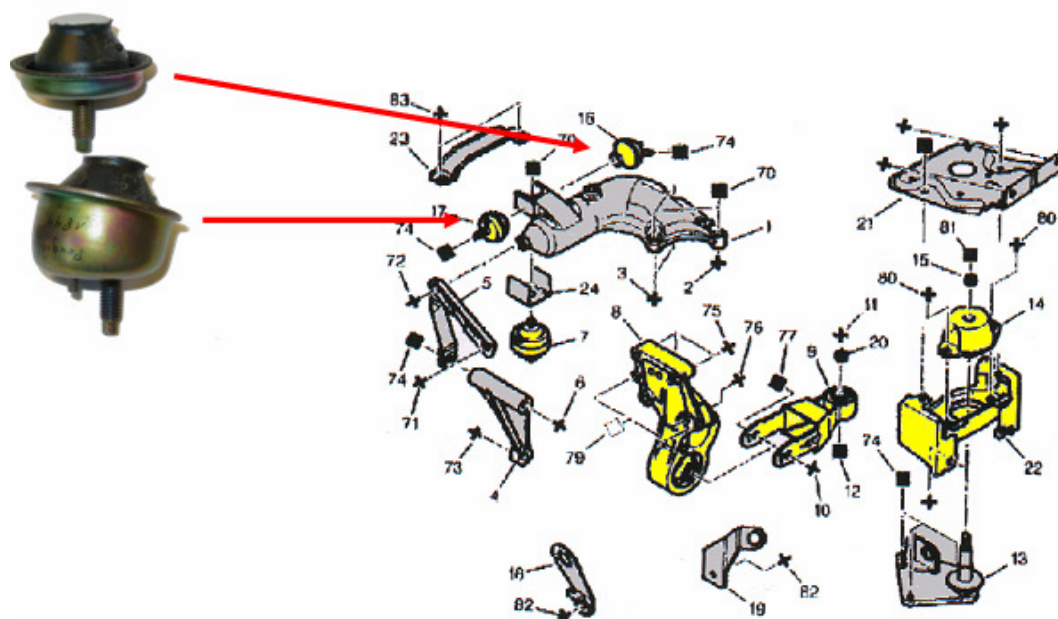


Figura 7 – Batentes para o suporte do coxim lado motor

Fonte: o autor

Como é possível observar o produto foco dessa pesquisa pode ser encontrado em diversos pontos nos veículos. E sua complexidade pode variar conforme a sua aplicação e as especificações do cliente, o que irá exigir combinações de materiais ou borrachas mais sofisticadas que busquem compromisso entre conforto, acústica, durabilidade e resistência a temperaturas elevadas.

4.2.2. - Os clientes

Os clientes aqui são as montadoras de veículos, as quais têm uma política de co-responsabilidade do desenvolvimento do produto junto a seus fornecedores de primeira linha ou diretos, denominados de fornecedores Tier 1, visto que estes fornecedores são especialistas nos produtos, que estão desenvolvendo. Tendo em vista que a cadeia produtiva para uma montadora é extremamente grande, os fornecedores diretos da montadora ou Tier 1 se responsabilizam pelos seus fornecedores, que por sua vez são os sub-fornecedores, para garantir um bom

fornecimento. Esta política de co-design ou co-responsabilidade passa ao fornecedor a responsabilidade do desenvolvimento do produto com base nas especificações fornecidas pela montadora.

Tendo em vista o mercado globalizado, as montadoras que têm suas unidades espalhadas por diversos países buscam a produção de plataformas mundiais que viabilizem a manufatura de um determinado veículo em algumas plantas do mundo seguindo as exigências do mercado local.

Desta maneira é possível para a montadora ter um mesmo fornecedor que forneça produtos para duas ou mais plantas em países diferentes, visto que em alguns casos esta flexibilidade possibilita a redução de custos de fabricação devido ao volume de produtos a serem fornecidos. E por essa razão, a montadora busca de seus fornecedores, produtos com alto grau de qualidade e confiabilidade.

4.2.3. – O fornecedor

O fornecedor é uma multinacional especialista, em produtos de metal-borracha destinados ao controle de vibrações, instalado no Brasil a 5 anos. Como descrito anteriormente, as montadoras que estão espalhadas globalmente solicitam as matrizes de seus fornecedores Tier 1, que os mesmos instalem plantas o mais próximo possível das unidades fabris das montadoras e a vinda deste fornecedor, que será abordado na pesquisa, ao Brasil ocorreu por este motivo.

Sendo o fornecedor focado em seu negócio ou competência, nas suas unidades no mundo e também no Brasil, tem como processo interno a vulcanização da borracha e a montagem de componentes para a produção do coxim. Para o fornecimento de componentes como: mistura de borracha para a vulcanização, itens de alumínio, itens de aço estampado, itens de plástico, itens de ferro fundido, parafusos, porcas e outros componentes, o fornecedor faz uso de sub-fornecedores. Ou seja, o fornecedor está diretamente ligado aos dois extremos da cadeia produtiva, que é o desenvolvimento do produto, a produção final do coxim para a entrega a montadora e o acompanhamento do desenvolvimento e recebimento dos componentes oriundos dos sub-fornecedores. E é por esta razão que iremos abordar a importância

do D-FMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis) dentro da cadeia produtiva, tendo em vista os diversos elementos que compõem o processo de desenvolvimento de novos coxins.

4.2.4. - Os sub-fornecedores

Os sub-fornecedores são os mais variados possíveis. Como indicado anteriormente, o fornecedor possui diversos sub-fornecedores que fornecem os componentes do coxim. Mas os sub-fornecedores não são apenas empresas de manufatura, visto que existem também empresas de suporte, como por exemplo, para cálculos de elementos finitos, empresas de prototipagem e ferramentarias.

Estes sub-fornecedores estão espalhados pelo Brasil como também no exterior, o que por algumas vezes torna o ciclo de vida de um produto algo ainda mais complexo. Essa complexidade se dá devido à localização de sub-fornecedores dentro e fora do Brasil tanto para fornecimento de serviços como matéria-prima, o que torna a cadeia produtiva um ponto importante na garantia da qualidade do produto, quer no momento da sua concepção e desenvolvimento como também na sua vida em série.

Todos os sub-fornecedores são auditados e avaliados para que mediante aprovação interna se tornem efetivamente sub-fornecedores da empresa quer em serviços, quer em produtos. E através dessa avaliação prévia, se visa garantir os padrões de qualidade exigidos, além de ser um requisito das normas de qualidade em que o fornecedor já possui certificação.

4.3 - Processo de desenvolvimento de produto na indústria automobilística - Contextualização.

Durante um processo de desenvolvimento de produto para a indústria automobilística existem diversas etapas. E para o acompanhamento dessas etapas são utilizados controles através de cronograma de atividades. Um deles é o APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto), no caso da FORD ou outro

procedimento equivalente no caso de outra montadora, mas que também serve de indicador do andamento de cada etapa do projeto.

E em algumas dessas etapas a condição para prosseguir à etapa seguinte é a avaliação do desenvolvimento pelo Design FMEA, o qual irá avaliar os Modos e Efeitos de Falhas possíveis de ocorrerem com o item em desenvolvimento e seus componentes. No decorrer deste capítulo será abordada de forma mais detalhada cada etapa deste processo de desenvolvimento para que seja possível ter uma visão geral deste fluxo e para isso deve-se observar o fluxograma proposto na figura 8 por Bellomo *et al.* (2000), o qual exemplifica algumas etapas deste processo:

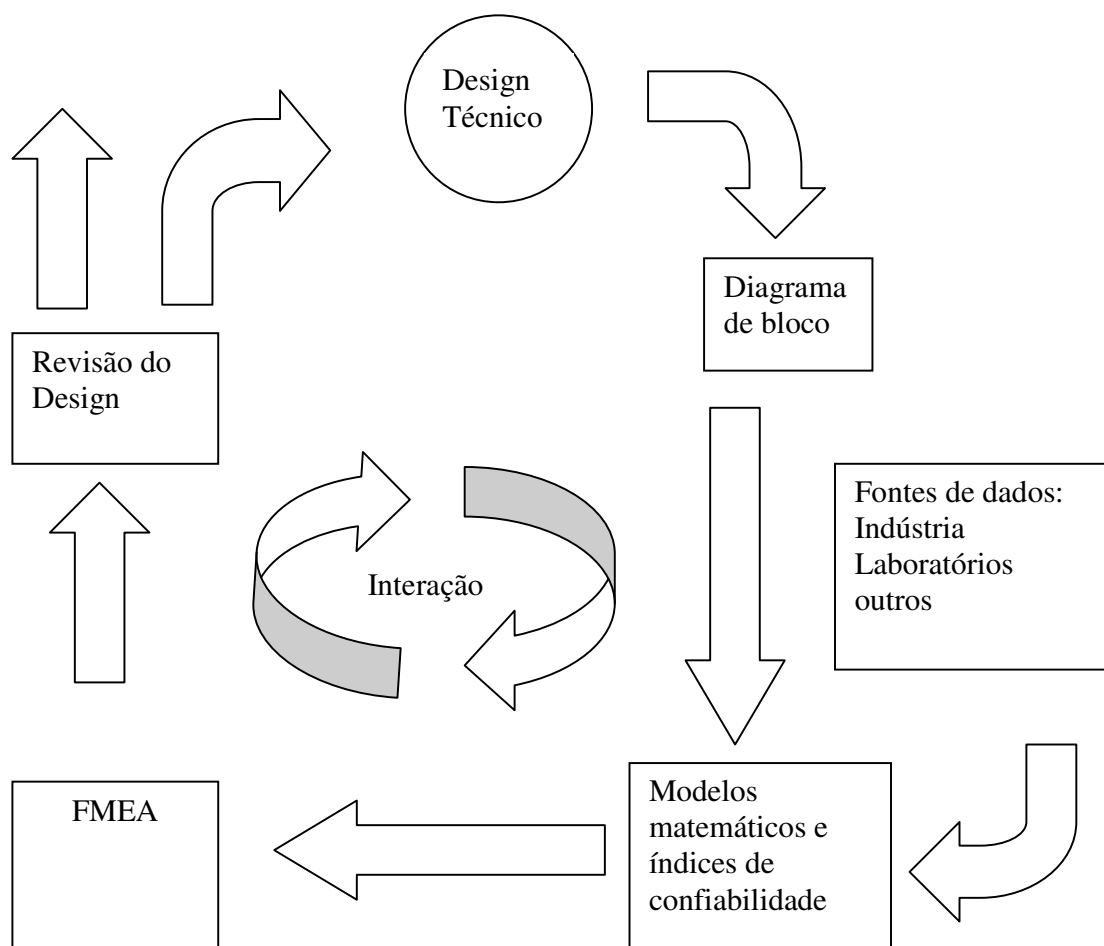


Figura 8 – Fluxograma de desenvolvimento de novos produtos

Fonte: **Bellomo *et al.* (2000)**

Com base no fluxograma da figura 8, tem-se um exemplo de parte do processo de desenvolvimento. Essa etapa tem início com a concepção de um novo design de veículo, no qual é feito um diagrama de bloco com esta primeira etapa o projeto e suas áreas de responsabilidade, são consultados as fontes de dados para definição de especificações do projeto e após isso são criados modelos matemáticos que irão fornecer os primeiros dados do projeto para o desenvolvimento em si, estes dados são analisados com o D-FMEA a fim de identificar possíveis falhas no projeto. É feita uma revisão do design caso sejam encontrados pontos frágeis no projeto e após a possível correção, a engenharia define seu conceito de produto final a ser desenvolvido.

Esta seria uma visão macro do desenvolvimento, mas a seguir serão abordadas as etapas do desenvolvimento de uma forma mais detalhada para uma compreensão melhor por parte do leitor.

Na figura 9 são ilustrados os principais momentos do desenvolvimento de um produto pelo fornecedor que está sendo estudado nesta pesquisa.

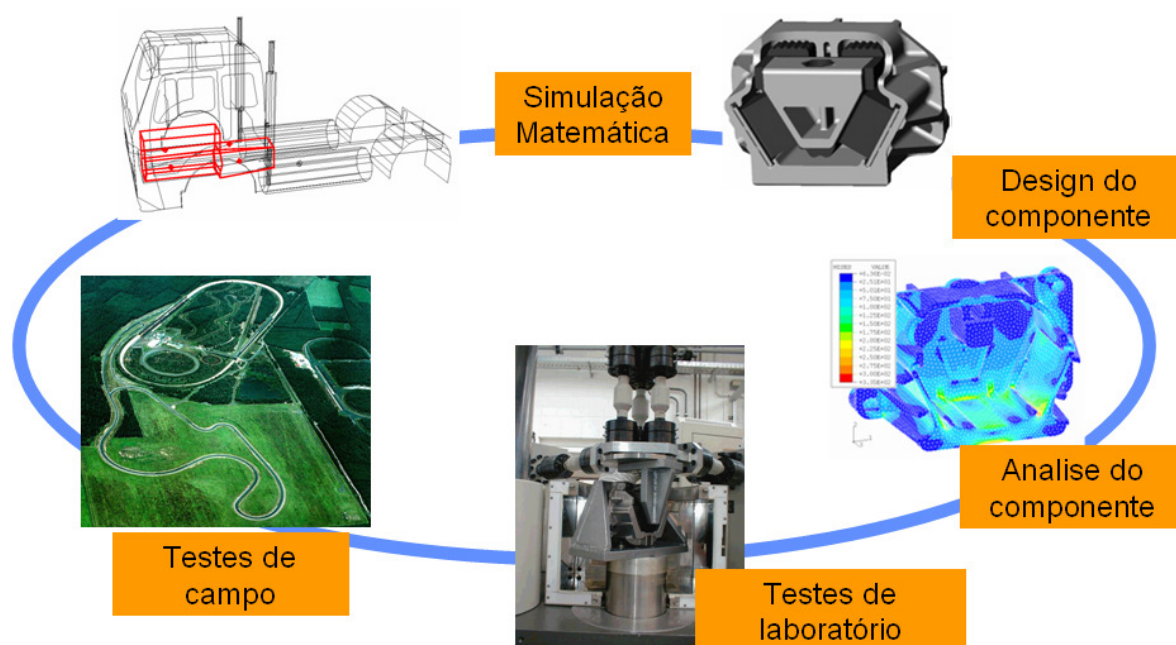


Figura 9: As principais etapas do processo de desenvolvimento de novos produtos realizadas pelo fornecedor.

Fonte: o autor

Durante o desenvolvimento existem outras etapas que não foram contempladas no diagrama anterior, mas que também fazem parte do processo de desenvolvimento de um produto. Contudo em ambos os modelos, não se observa a preocupação de haver interação entre os “elos” da cadeia produtiva.

Na tabela 5, tem-se um exemplo de um cronograma mais detalhado dos passos de um projeto de desenvolvimento. Neste cronograma fica claro a dependência da aprovação do processo de desenvolvimento pelo resultado do Design FMEA, célula em amarelo, mas isso só ocorre uma vez durante o projeto. Durante o estudo de caso será analisado mais detalhadamente este ponto.

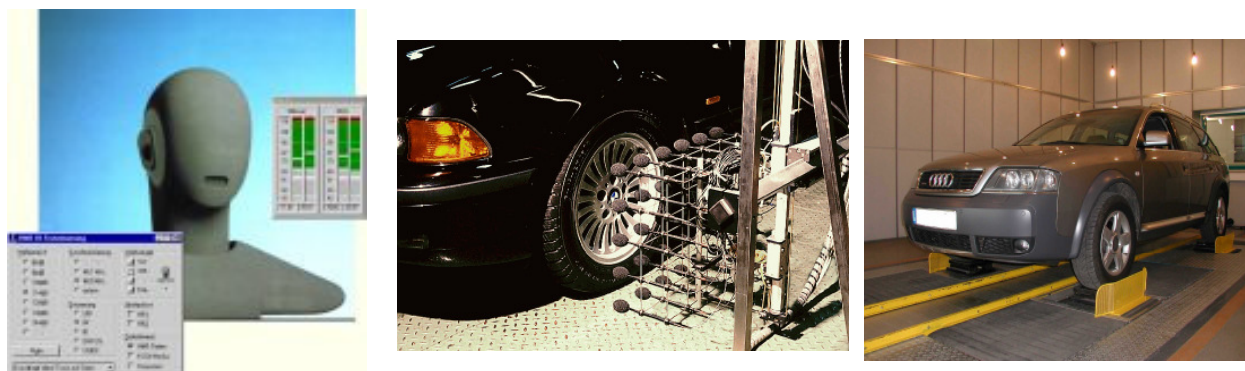
O processo de desenvolvimento de um novo veículo e por sua vez de novos componentes pelos fornecedores das montadoras é algo complexo que consome vários recursos e que tem um elevado custo. E por essa razão não se admitem falhas, que podem resultar em grandes perdas financeiras como também de imagem, ao ocorrerem falhas ou atrasos no cronograma do projeto.

A fim de evitar estas perdas que podem acontecer devido a mudanças necessárias no decorrer do projeto, as quais segundo Kidd e Thompson (1999) podem ser de até 10.000 vezes em relação do custo de uma alteração durante o estágio conceitual no período de desenvolvimento. É que se faz necessário ou até mesmo imperativo o uso do Design FMEA como fator condicional para uma fase posterior entre o design e a produção de amostras.

Estas alterações que resultam em custo, por vezes são identificadas após alguns testes de validação do produto, que evidenciam falhas nos mesmos. E estes custos já têm início com o valor dos próprios testes que têm um alto valor devido ao equipamento envolvido ou devido ao tempo necessário. Um exemplo disso é o teste de campo, que dura em torno de três meses com um veículo realizando os mais diversos trajetos a fim de cumprir a quilometragem exigida pela montadora que varia em torno de 25 a 30 mil quilômetros.

Por esta razão, é tão importante ferramentas como o D-FMEA que venham garantir a confiabilidade de um produto, quer como condição prototipal ou como produto serial para que estes testes sejam cumpridos e seja possível avaliar seus resultados, pois é um transtorno quando um veículo cumpre, por exemplo 80% do seu teste e um coxim quebra por fadiga ou perda de função e é necessário se reiniciar toda a programação de um novo teste. Mesmo porque, em um veículo de teste, são testados diversos componentes em um mesmo momento e sendo assim nesta situação a falha de um componente pode prejudicar a avaliação de inúmeros outros componentes. E ao ser ponderado que um veículo possui em média seis mil componentes, a probabilidade deste tipo de problema ocorrer seria extremamente alta se não houvesse um cuidado neste sentido por parte dos fornecedores das indústrias do setor automobilístico.

Além dos testes realizados pelas montadoras o próprio fornecedor também realiza seus testes:



a) Qualidade de som b) Holograma Acústico c) Gerador de vibrações

Figura 10: Testes realizados pelo fornecedor

Fonte: o autor

Após esta pequena introdução do ambiente do setor automobilístico, serão abordadas em detalhe as principais etapas de desenvolvimento.

- **Definição conceitual do veículo ou Design Técnico;**

Este evento reflete a etapa de definição do produto a nível conceitual. Esta é a primeira etapa e neste momento são definidos o gestor do projeto e a equipe de trabalho que irá atuar nas mais diversas áreas, os prazos e o orçamento do projeto. As equipes são "divididas" em áreas específicas para que existam especialistas atuando em cada uma delas no caso quando considerado o veículo como um todo. Um exemplo dessas áreas seria, por exemplo, interiores e forração, sistema de suspensão, sistema de moto-propulsão e admissão, elétrica e chassi. Cada área é responsável pelo cumprimento de suas metas de orçamento e prazos, como também da gestão de seus fornecedores. Por esta razão nas próximas etapas será abordada somente a etapa de desenvolvimento do coxim, que na montadora está incluso na área do sistema de moto-propulsão e admissão.

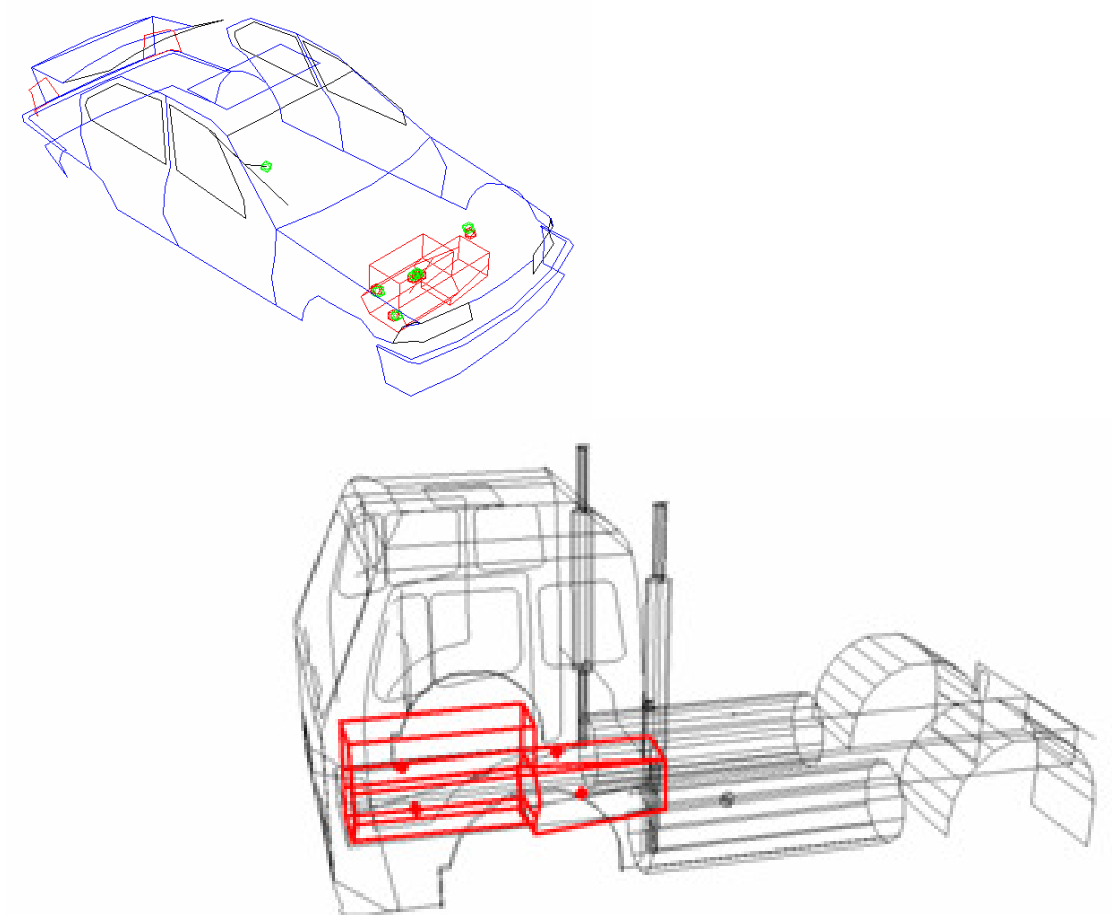


Figura 11: Definição conceitual do veículo

Fonte: **o autor**

- **Definição técnica dos principais itens do veículo no tocante a desempenho;**

É de responsabilidade da montadora fornecer subsídios básicos a seus fornecedores para que sirvam de primícias na definição do produto. No caso em questão, o produto será coxim para motor e suspensão.

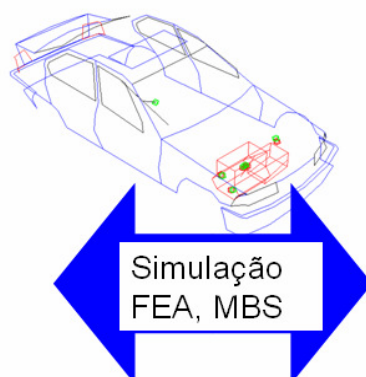
A montadora fornece informações quanto aos pontos de fixação, cargas estáticas, cargas dinâmicas e torques, aos quais os coxins estarão submetidos nas diversas condições de uso. Como também o espaço disponível para o produto que muitas vezes é um fator de grande limite ao design das peças.

Estas informações são processadas e tem-se início ao desenvolvimento propriamente dito.

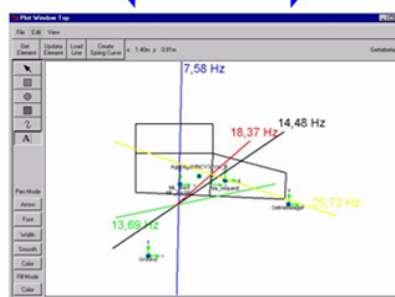
Design do sistema

Objetivo de desenvolvimento

- Partida e parada do motor
- Vibração ideal
- Excitação da estrada
- Limitação do movimento do motor
- Custos



Simulação
FEA, MBS



Design de parâmetros

- Conceito de montagem
- Números de coxins
- Posição dos coxins
- Características estáticas
- Propriedades dinâmicas

Figura 12: Dados de entrada e saída no desenvolvimento de um coxim

Fonte: o autor

•Definição das especificações técnicas preliminares e requerimentos do cliente

Na figura 12, pode-se observar os primeiros passos efetivos do desenvolvimento, nos quais são geradas as primeiras especificações e conceitos do novo produto. Neste momento são realizadas as primeiras análises das características que serão relevantes ao desenvolvimento e conceitos que serão utilizados durante todo o decorrer do projeto, como por exemplo a quantidade de coxins que serão utilizados.

Neste evento, já são considerados os resultados obtidos no Design FMEA ou FMEA de Projeto, pois para que sejam definidos parâmetros de segurança ao projeto se faz necessário a realização de uma avaliação previa, que resultará nos coxins que serão propostos ao desenvolvimento. Contudo é importante observar que o D-FMEA pode ter várias versões, pois como é algumas vezes denominado,

trata-se de um documento vivo e isso é devido ao seu caráter dinâmico durante o processo de desenvolvimento.

Após a definição conceitual e da avaliação do modelo matemático que representa o futuro produto que será fabricado. É dado andamento ao projeto de desenvolvimento do produto seguindo os passos listados abaixo:

- **"Congelamento" do design:**

Mediante a definição do design que será usado, são utilizadas ferramentas de modelagem matemática para atividades em caráter virtual. Através desta ferramenta é possível se avaliar a interação e interferência com outros componentes como também avaliar suas características funcionais mediante simulação de teste de fadiga e resistência a impacto. E mediante aos resultados já propor melhorias ao design dos componentes mostrados na figura 13.

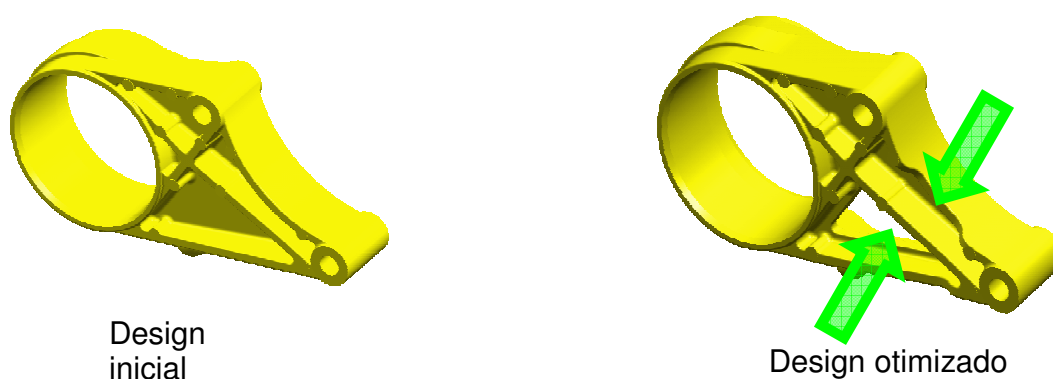


Figura 13: Otimização dos componentes durante o processo de desenvolvimento

Fonte: **o autor**

Na figura 14 é possível observar a avaliação de posição relativa dos pontos de fixação do coxim em relação a carroceria e motor.

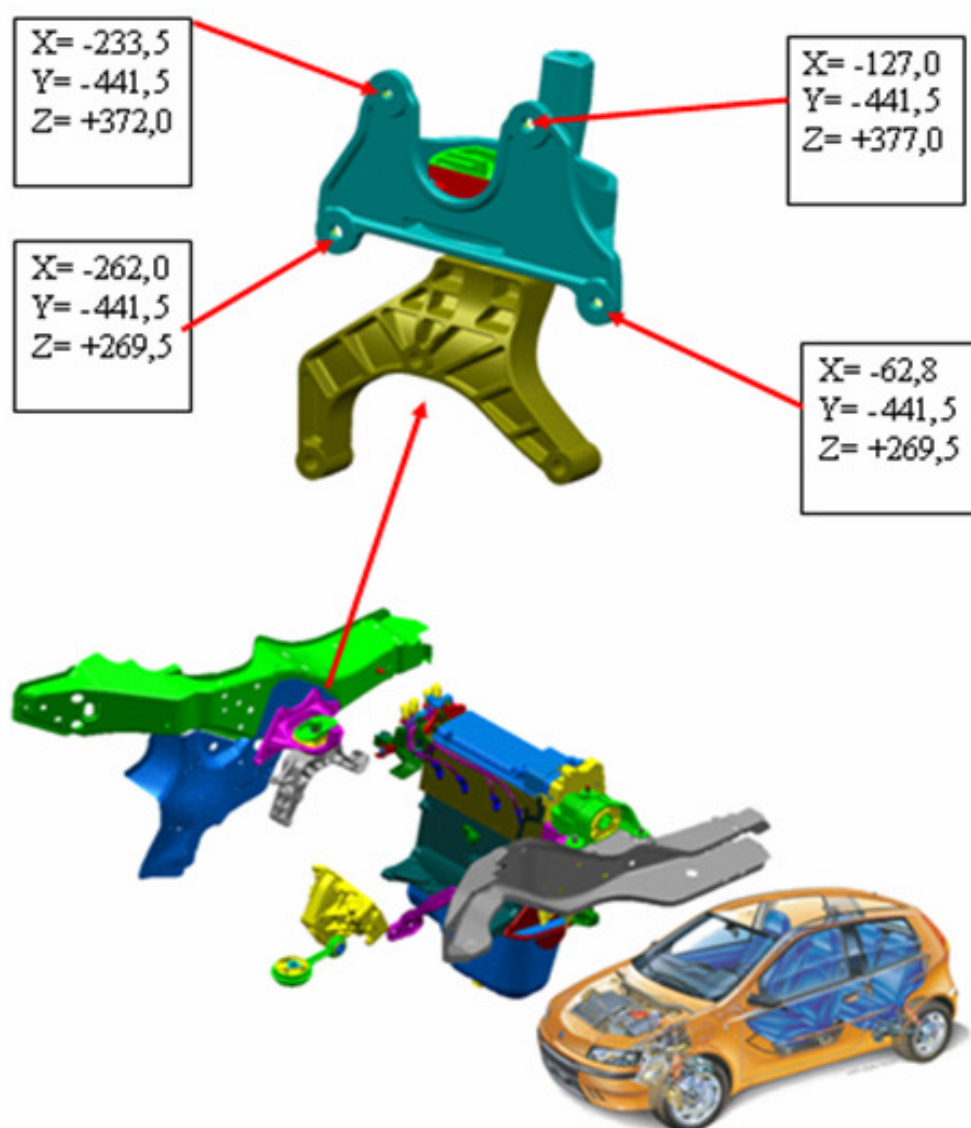


Figura 14: Concepção do produto com base nas coordenadas espaciais e posterior avaliação de lay-out virtual.

Fonte: **o autor**

Na figura 14 pode-se observar o modelo matemático do coxim com as coordenadas que indicam uma posição espacial relativa a um ponto fixo de origem de coordenadas e com base neste ponto são avaliadas interferências entre os componentes de vários fornecedores como, por exemplo, a interferência entre o coxim e a chapa da carroceria ou os furos de fixação no motor. Dessa forma é

possível agilizar o processo de desenvolvimento de um produto evitando-se a produção de protótipos ou até mesmo itens seriais que venham a acarretar problemas de montabilidade. Por esta e por outras razões é que se deve utilizar a avaliação do modelo matemático como uma ferramenta de auxílio ao D-FMEA, pois alguns modos de falha podem já ser identificados com essa simulação o que resulta em um grau de detecção baixo que venha a reduzir os NPR de uma falha como montabilidade impossibilitada. E caso haja alguma não conformidade observada, vir a ser indicada na coluna 19 em Ações Recomendadas na tabela do FMEA de projeto evitando a ocorrência deste modo de falha durante a vida em série.

Após a definição conceitual e da avaliação do modelo matemático que representa o futuro produto que será fabricado, dado andamento ao projeto de desenvolvimento do produto seguindo os passos listados abaixo:

- **Identificação dos sub-fornecedores capazes de desenvolver os componentes de cada item;**
- **Início efetivo do desenvolvimento;**
- **Produção dos primeiros protótipos;**
- **Testes de validação dos protótipos pelo próprio fornecedor;**
- **Apresentação de protótipos ao cliente;**
- **Fornecimento de primeiras amostras com o resultado dos testes interno para o cliente;**
- **Testes, por parte do cliente;**
- **Aprovação dos protótipos e liberação do cliente para a produção de peças seriais;**
- **Fabricação dos ferramentais de série;**
- **Qualificação das peças seriais via teste de laboratório feitos pelo fornecedor;**
- **Testes do cliente para validação do produto;**
- **Validação do produto;**
- **Liberação do processo produtivo.**

As etapas acima estão divididas de uma forma macro com o intuito de dar uma visão geral do processo de desenvolvimento de novos produtos na indústria automobilística. Contudo durante a apresentação dos estudos de caso será possível observar de forma mais detalhada cada etapa deste processo com um foco maior na utilização do D-FMEA como instrumento fundamental de apoio ao desenvolvimento de novos produtos objetivando evitar as falhas, que como descrito anteriormente, pode afetar de forma considerável o processo de desenvolvimento.

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

Os estudos de casos que serão apresentados ocorreram em um mesmo cliente, mas em veículos diferentes. Através desses casos é possível observar equívocos na identificação de falhas. Contudo, neste capítulo apresenta-se os fatos e no capítulo seguinte haverá a discussão.

5.1 – Caso 1 – coxim lado diferencial e coxim lado motor

5.1.1 – Descrição do produto

O caso 1 foi um desenvolvimento realizado pelo fornecedor no Brasil em conjunto com outra filial na Europa.

Os primeiros protótipos foram entregues em três meses após o início do projeto e o início de produção ocorreu quinze meses após a entrega dos protótipos. Tendo em vista, que este era o primeiro desenvolvimento feito pelo fornecedor no Brasil o cliente solicitou que algumas atividades fossem realizadas na filial da Europa, tendo em vista que o laboratório da filial européia já estava homologado pelo cliente para a realização dos testes internos. E por esta razão houve o suporte da unidade européia, também para a fabricação dos primeiros protótipos, além dos testes.



Figura 15: Imagens ilustrativas do produto em desenvolvimento

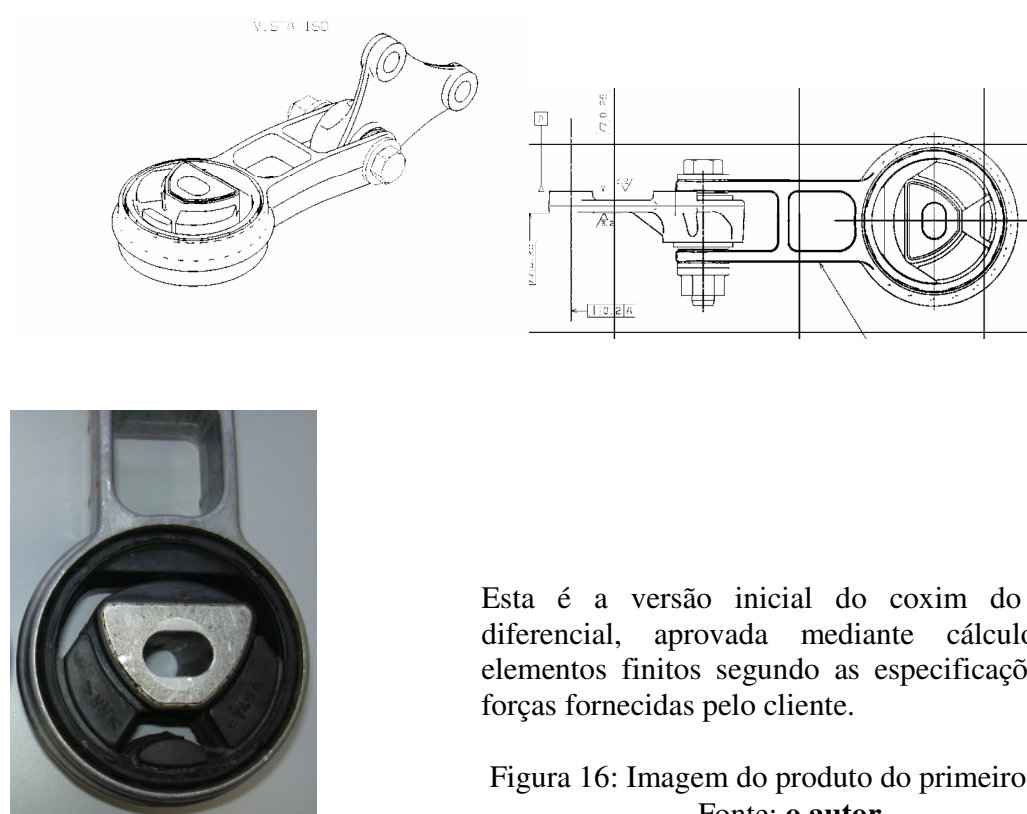
Fonte: o autor

5.1.2 – Problemática observada 1 - falta de critério para aplicação de premissas no coxim lado diferencial.

A problemática observada neste desenvolvimento foi um re-trabalho que teve que ser feito tendo em vista uma falha ocorrida do Coxim do lado Diferencial.

Esta falha ocorreu durante um teste de durabilidade realizada em um veículo de teste, o qual estava com aproximadamente 13.000km rodados de um total de 25.000km.

A peça em questão é a indicada na figura 16, coxim do lado diferencial.



Esta é a versão inicial do coxim do lado diferencial, aprovada mediante cálculo de elementos finitos segundo as especificações de forças fornecidas pelo cliente.

Figura 16: Imagem do produto do primeiro caso
Fonte: **o autor**

O item em questão assim como os outros dois coxins: do lado câmbio e do lado motor, já haviam sido testados internamente e os protótipos fornecidos ao cliente foram testados e liberados para a produção do ferramental em série. Contudo, os

protótipos não eram 100% significativos, pois no caso com coxim do lado diferencial a biela foi fornecida em alumínio extrudado com o intuito de testar a componente de borracha do coxim e para a peça serial a biela foi definida como em alumínio injetado. Tendo em vista os estudos feitos pelo fornecedor de cálculo FEM, os resultados foram plenamente aprovados e consequentemente liberada a fabricação do molde de injeção de alumínio para a biela.

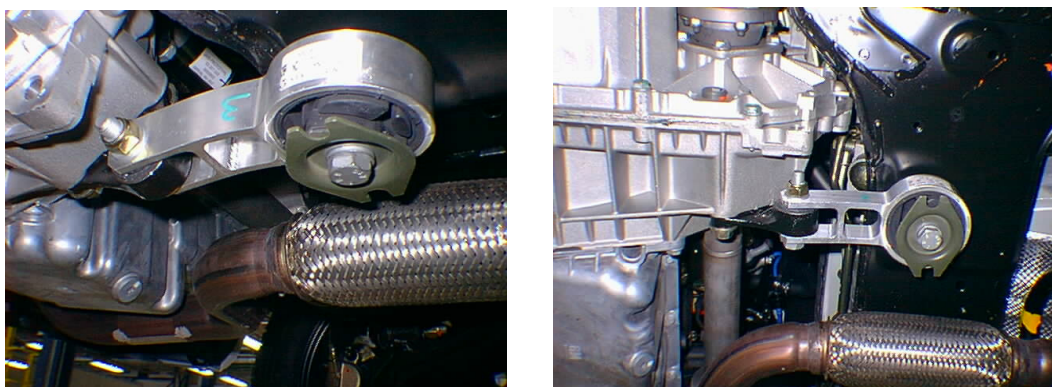


Figura 17: Versão protótipo do coxim diferencial instalada para teste em veículo.

Fonte: **o cliente**

A biela utilizada nas primeiras amostras fornecidas para testes de validação tinha o lay-out ilustrado na figura 18.

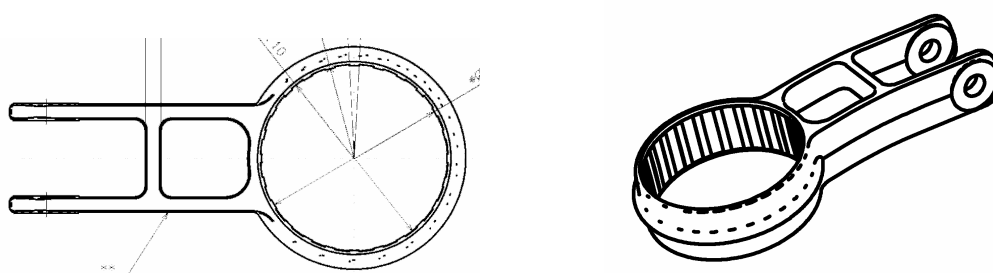


Figura 18: Corpo biela, primeira versão.

Fonte: **o autor**

Tendo em vista a falha evidenciada pelo cliente no momento do teste de durabilidade, o fornecedor iniciou o processo de pesquisa do motivo da falha, visto que os procedimentos de análise, testes e avaliação por elementos finitos haviam sido feitos. Quando então foi analisado o estudo FEM e foi mais uma vez verificado se os valores de cargas aplicadas sobre os coxins conforme fornecido pelo cliente foram considerados no cálculo, sendo estes confirmados conforme figura 19.

Tabela 6: Tabela de forças aplicada ao coxim durante sua utilização em veículo

Suspensão - Corpo Biela

Tabela de tensões máximas de Von Mises

Descrição das cargas	Von Mises [Kg/mm ²]
Freada máxima	0.70
Curva a direita	0.01
Curva a esquerda	0.05
Aceleração vertical -3g	0.12
Aceleração vertical +4g	0.09
80% do torque em primeira marcha	3.43
80% do torque em marcha ré	3.37
Assentamento do desenho (peso próprio motor)	0.03
Impacto de -2.5g da condição estática	0.11
Impacto de -3.5g da condição estática	0.13
Freada de 6.5 m/s ²	0.47
Aceleração ao limite de giro do motor (f=0,7)	2.39

Cargas de trabalho

Objetivo: (ver tensão)

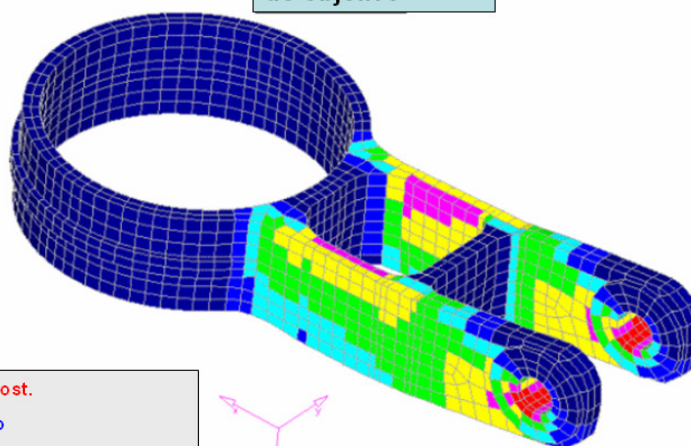
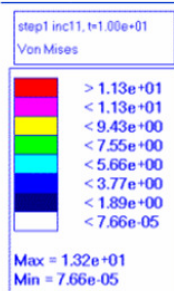
$\text{Sigma máx} < \text{Sigma} * 0.7 = 10,5\text{Kg/mm}^2$

Fonte: o cliente

Mediante confirmação do uso correto dos dados fornecidos pelo cliente e a confirmação da aprovação da biela como é possível verificar na figura 19, foi então feito um contato com o sub-fornecedor, responsável pelo cálculo, para que fosse feita uma reunião a fim de identificar a possível falha.

Impacto posterior no veículo

Aprovado dentro
do objetivo



Carga de impacto post.
Objetivo: ver tensão
Sigma máx. < Sigma r = 22 kg/mm²

Figura 19: Análise de elementos finitos biela

Fonte: o autor

Após o contato com o sub-fornecedor, foi possível identificar a falha no estudo de elementos finitos. Essa falha ocorreu no momento das considerações de distribuição de forças. A premissa feita pelo fornecedor foi a de uma distribuição linear de forças no interior da biela.

Modelo de cálculo para análise estática

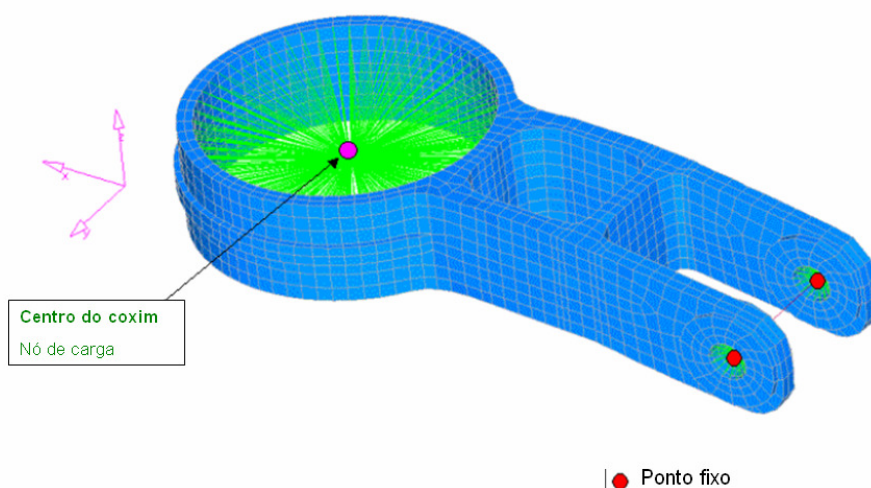


Figura 20: Representação da distribuição de forças no interior da biela

Fonte: o autor

Contudo ao se observar o coxim é possível identificar que há concentração de forças em determinados pontos, devido a configuração da parte de borracha, como indicado na figura 21.

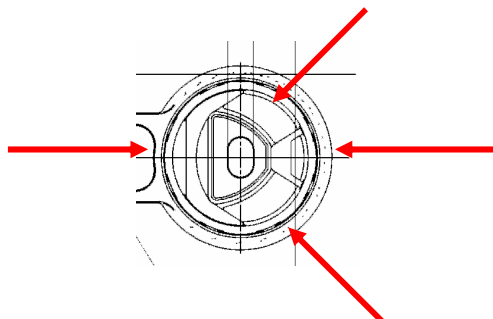


Figura 21: Coxim de borracha montado dentro da biela com indicação dos vetores de forças.

Fonte: o autor

Essa concentração faz com que o critério de avaliação deva ser diferente e então foi solicitado ao sub-fornecedor que refizesse a análise, conforme indicado na figura 22.

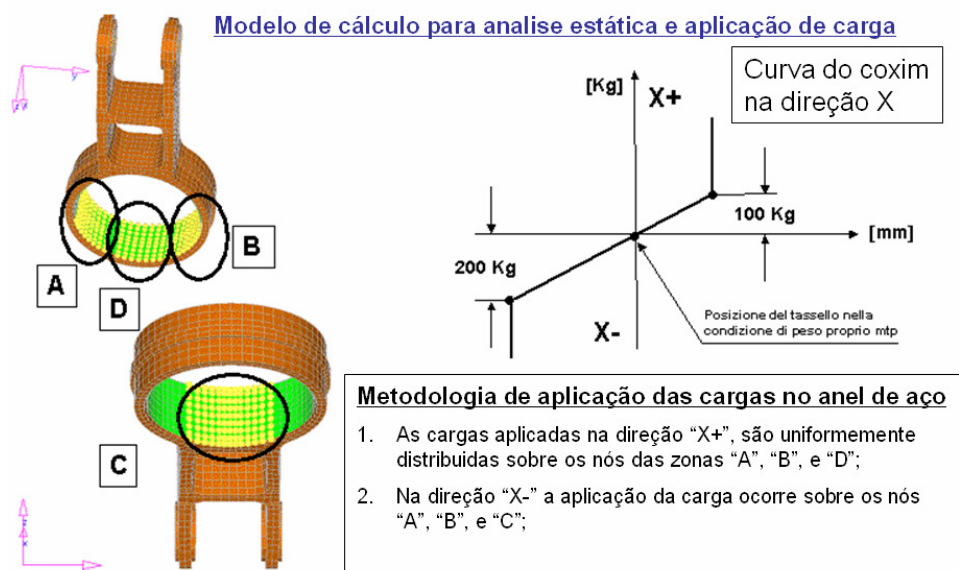


Figura 22: Indicação dos pontos de concentração de forças para o cálculo de elementos finitos.

Fonte: o autor

Ao se aplicar as forças nos pontos corretos o resultado obtido pelo sub-fornecedor foi de reprovado como era de se esperar. Na figura 23 é possível identificar os pontos de concentração de tensão, pontos estes que foram exatamente os que apresentaram fissuras e quebras no coxim testado no veículo de teste.

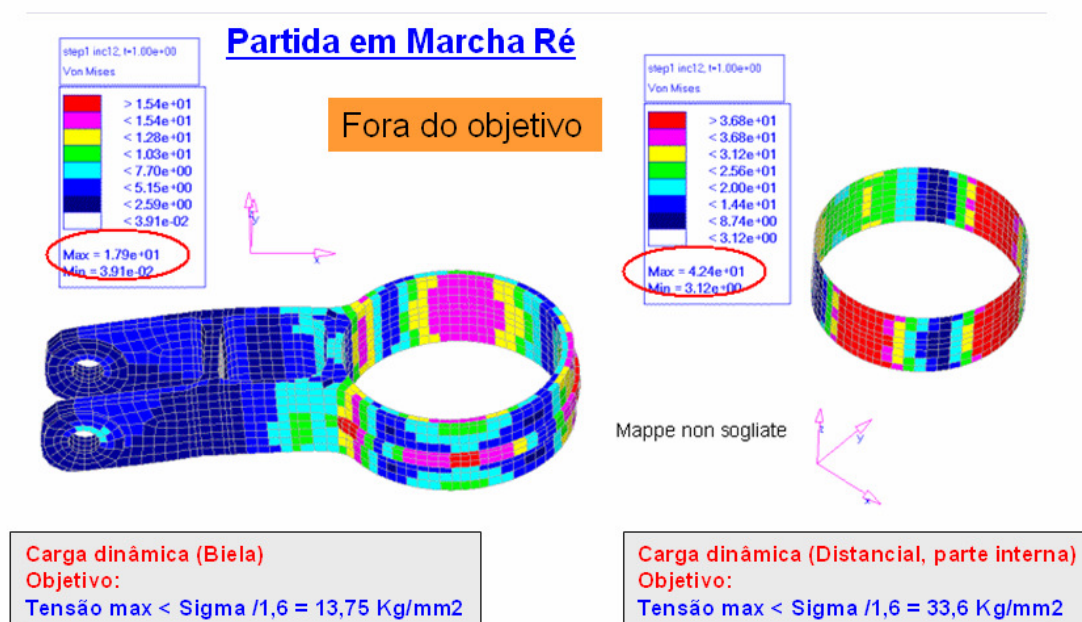


Figura 23: Cálculo feito com a nova distribuição de forças, para pontos de concentração.

Fonte: o sub-fornecedor

Mediante o novo cálculo foi constatado que o componente não atendia as exigências de esforços. Em virtude do resultado não satisfatório, foram feitas outras análises com o intuito de reforçar a biela e após três tentativas foi possível obter um modelo que atendesse as especificações de resistência às cargas aplicadas.



Figura 24: Versão aprovada em acordo com a distribuição correta de forças aplicadas sobre a biela.

Fonte: **o sub-fornecedor**

Mediante o modelo sugerido, foi feito um estudo posterior com o objetivo de definir o lay-out da biela que durante o processo de injeção de alumínio apresentasse a melhor performance a fim de evitar acúmulo de ar no molde e consequentemente porosidade na peça devido ao aumento de massa. Na figura 25a é possível observar o modelo em CATIA da biela e a peça real na figura 25b.

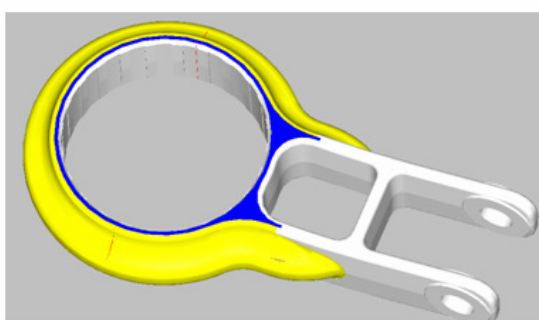


Figura 25a: Modelo 3D em Catia da nova versão

Figura 25b: Detalhe peça real

Fonte: **o autor**

Fonte: **o autor**

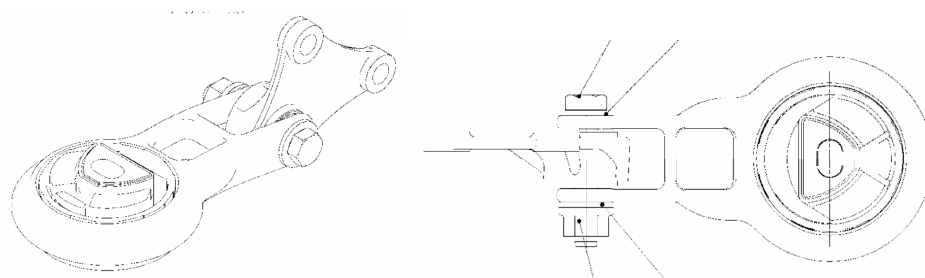


Figura 26: Modelo coxim do lado diferencial com a biela modificada.

Fonte: **o autor**

A ocorrência desta falha resultou em custos extras para o projeto, os quais foram repassados para o fornecedor de cálculo de elementos finitos. Estes custos foram na ordem de 72,80 % do valor do ferramental original de injeção de alumínio para a biela, os quais incluíram:

- Produção de uma cavidade provisória para fornecimento urgente ao cliente de novas amostras para que o veículo pudesse voltar ao teste de quilometragem, visto que isso afetava não apenas os testes dos coxins, mas de diversos outros componentes do veículo;
- Produção de cavidades definitivas para o molde de injeção definitivo, responsável pela produção de peças seriais;
- Custos com as peças já produzidas na primeira versão e que foram inutilizadas;
- Custos com transportes urgentes de peças;
- Custos com viagens.

Além desses custos, houve também uma perda de 42,09% do valor do ferramental original quanto ao aumento de custo na peça acumulado em um ano, devido ao aumento de massa na biela que teve que ser absorvido pelo fornecedor, visto que o orçamento da peça havia sido feito com base na sua primeira versão.

5.1.3 – Problemática observada 2 – falta de critério para aplicação de premissas no coxim lado motor.

Ainda no caso 1, ocorreu uma outra falha durante o projeto.

No início do projeto foi solicitado ao cliente o valor de forças aplicadas aos coxins. Estas forças são utilizadas nos cálculos de elementos finitos para a análise virtual dos produtos. E esta análise é o pré-requisito básico para a liberação das próximas etapas do desenvolvimento.

Mediante os valores recebidos foram definidos os modelos matemáticos dos coxins e realizados seus cálculos. Após a aprovação foram produzidas as amostras iniciais e fornecidas para o cliente. Na figura 27a e b, é possível visualizar a peça física e os resultados dos cálculos para o suporte do coxim lado motor.

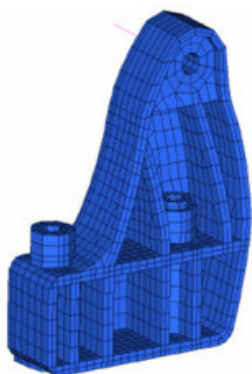


Figura 27a: Suporte em Catia 3D

Fonte: **o autor**



Figura 27b: Foto da peça real

Fonte: **o autor**

Tabela 7: Resultados aprovados em todos os critérios de avaliados

CLIENTE:		PROJETO						Data: 15/02/2002	
		Produto: Suporte lado motor							
CARGA [Kg]		ENTRADA			SAÍDA	REFERÊNCIA		VERIFICA	
		FX	FY	FZ	Max Calc	Critério de Avaliação	Verifica	Verifica Max Calc.	Objetivo
Estática	Freada máxima	-80,4	0,7	-107,8	3,66	$\frac{0.6 ?_{max}}{?_{max\ calc}} ? 1$	21,5	5,87	Sim
	Curva a direita	3,3	-76	-151,9	2,36		21,5	9,11	Sim
	Curva a esquerda	-1	76,1	-63,8	2,79		21,5	7,71	Sim
	Aceleração vertical -3g	4,6	-1,4	-431,8	10,3		21,5	2,09	Sim
	Aceleração vertical +4g	-3,5	-1,7	323,6	7,72		21,5	2,78	Sim
	80% do torque em primeira marcha	131	-0,1	-107,9	2,67		21,5	8,05	Sim
	80% do torque em marcha ré	-128,9	0,1	-107,9	4,37		21,5	4,92	Sim
	Impacto de -2.5g da condição estática	4	-1	-377,8	8,98		21,5	2,39	Sim
	Impacto de -3.5g da condição estática	5,1	-1,6	-485,8	11,5		21,5	1,87	Sim
	Freada de 6.5 m/s^2	-52,3	0,5	-107,9	3,24		21,5	6,64	Sim
	Aceleração ao limite de giro do motor (f=0,7	89,9	-0,1	-107,9	2,37		21,5	9,07	Sim
Dinâmica	Partida em primeira marcha	228,7	0	-107,9	3,72	$\frac{?_{rotor}}{?_{max\ calc}} ? 1.6$	40	10,75	Sim
	Partida em marcha ré	-226,4	0	-107,9	5,83		40	6,86	Sim
	Limite de giro do motor em primeira marcha	177,3	-0,1	-107,9	3,17		40	12,62	Sim
	Limite de giro do motor em marcha ré	-258,8	0	-107,9	6,32		40	6,33	Sim
Impacto	Impacto Posterior	2223	0	-108	34,6	$\frac{?_{rotor}}{?_{max\ calc}} ? 1.6$	64	1,85	Sim
FREQUÊNCIA PRÓPRIA: 580 Hz									

Fonte: o autor

Contudo, durante os primeiros testes em veículo foi detectada uma deficiência da amostra. Segundo o cliente, na etapa de aprovação do produto, onde ocorrem os teste por parte do cliente. Foi identificado uma falha na carcaça do coxim lado motor. Contudo, tal problema foi uma surpresa, pois os cálculos de elementos finitos haviam sido feitos para a carcaça e a mesma havia sido aprovada como será possível ver a seguir.

Na figura 28, temos o modelo do coxim lado motor em sua primeira versão.

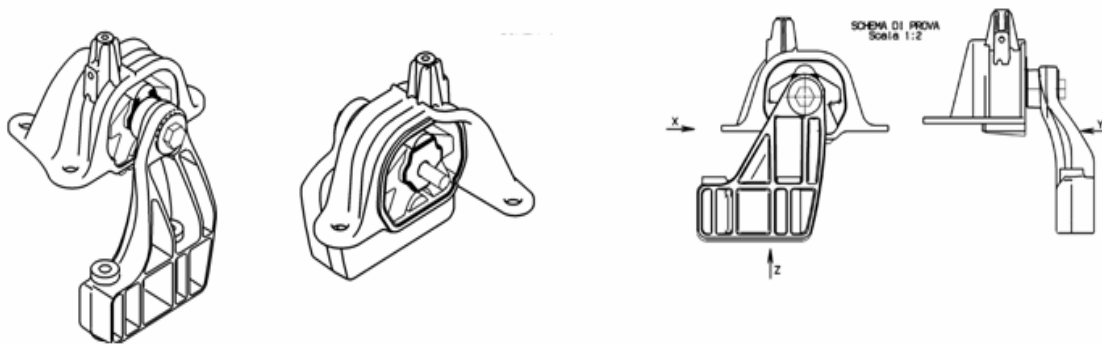


Figura 28: Coxim lado motor em perspectiva

Fonte: **o autor**

Após os resultados satisfatórios dos cálculos e as outras avaliações necessárias como inspeção dimensional no componente em CATIA, a fim de garantir não existir interferência física com outra peça, o fornecedor iniciou a construção dos ferramentais de produção da carcaça. Na figura 30 é possível ver os detalhes do molde de injeção de alumínio da carcaça do coxim do lado motor.

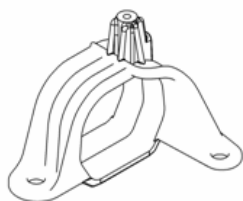


Figura 29a:Carcaça Catia
Fonte: **o autor**



Figura 29b:Carcaça real
Fonte: **o autor**



Figura 29c:Coxim vulcanizado
Fonte: **o autor**

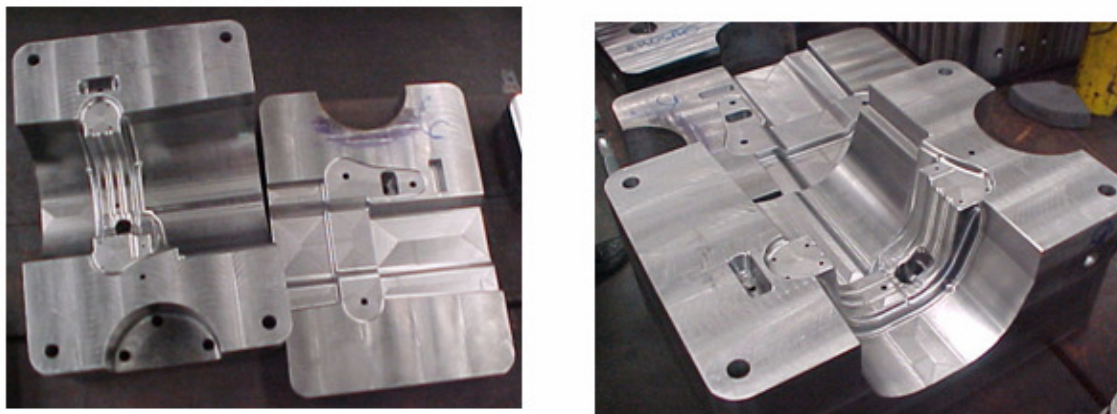


Figura 30: Molde de injeção de alumínio para carcaça coxim lado motor

Fonte: **o autor**

Tão logo foram concluídos os ferramentais, foram produzidas as primeiras amostras significativas. Este termo é usado, quando são produzidas amostras em ferramentas de produção serial.

As amostras foram fornecidas ao cliente para a realização dos testes de validação do produto. Estes testes fazem parte da última etapa do processo de aceitação do produto antes de sua liberação para produção serial e fornecimento. Todos estes testes estão contemplados no plano de provas do produto e parte deles, são de responsabilidade do fornecedor da peça enquanto outros são de responsabilidade do cliente.

O fornecedor já havia realizado seus testes e o cliente estava aguardando apenas a finalização do último dos três carros que estavam fazendo o teste de durabilidade, quando foi realizado o teste de impacto posterior. Este teste consiste em um teste de impacto que reproduz um choque traseiro com um outro automóvel em movimento a 25 km/h.

Nas condições de avaliação das especificações do produto, durante a formulação do Design FMEA foi contemplada esta exigência, pois a falha resultante de um evento como esse, apesar de ter um grau de ocorrência baixo, tem uma difícil detecção e altíssimo grau de severidade. E por estas razões, seria imperativo no início do desenvolvimento a simulação através de elementos finitos a fim de detectar e

corrigir possíveis riscos de ocorrência da falha. Sendo assim o fornecedor realizou esta avaliação segundo os objetivos do cliente e as normas internacionais, obtendo resultados satisfatórios como é possível evidenciar na figura 31 e que não correspondiam ao resultado do teste realizado pelo cliente.

Carcaça Lado Motor – Impacto Traseiro no veículo a 25 Km/h

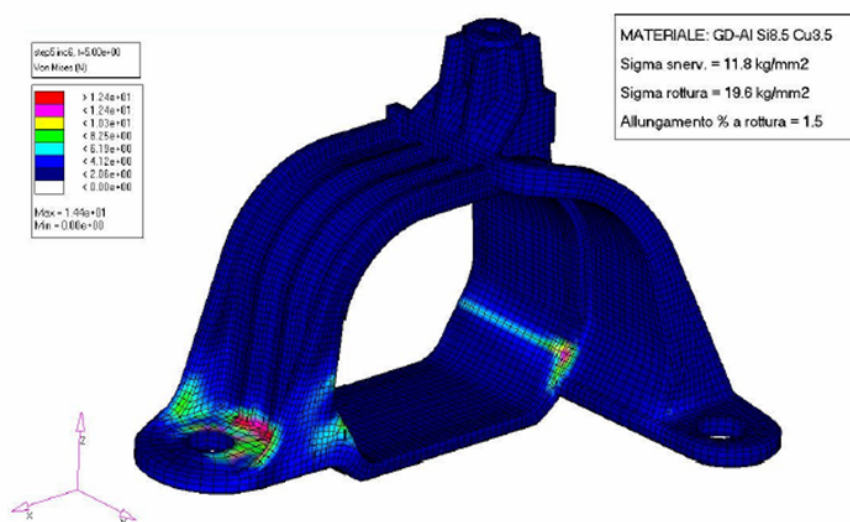


Figura 31: Simulação matemática feita sobre a carcaça do coxim lado motor

Fonte: o autor

Fornecedor		Projeto de Coxinização						Responsável:	
		Item:	Carcaça Lador Motor						
		Material : Alluminio GD-AS8.5 C3.5 FZ-NAT							
Carga [Kg]		Entrada			Saída	Referência		Verificação	
		FX	FY	FZ	Sigma Max Calc	Criterio di verifica	Sigma Verifica	Sigma ver Sigma MaxC	Obiett.
URTO	Impacto Traseiro	2223,0	0	-108	14,40	$\frac{\text{Sigma}_{\text{rotura}}}{\text{Sigma}_{\text{Max Calc}}} \geq 1$	19,6	1,36	OK

Tabela 8: Resultado da simulação matemática do teste de urto posteriore

Fonte: o sub-fornecedor

Contudo, mesmo com todos os resultados satisfatórios o cliente acusou uma falha grave durante o teste de impacto, ou impacto traseiro ou posterior, nas suas instalações. Essa falha grave se caracteriza pela quebra do coxim, que por sua vez resulta em perda completa de função.

Neste momento o fornecedor manteve contato com o cliente para obter informações mais detalhadas da falha, quando foi identificado um grave erro por parte do cliente.

Segundo as normas para esse teste, o procedimento a ser usado são dois veículos se colidindo a uma velocidade controlada de 25 km/h. Contudo o cliente decidiu realizar o teste com um banco de provas, devido a falta de disponibilidade da sua matriz para a realização do teste e mediante os custos envolvidos, o qual se aproximava as condições exigidas, mas que de fato não conseguia reproduzir as condições exigidas por norma. Isso porque as aproximações feitas não reproduziam o índice de absorção da energia de impacto que são obtidos com um veículo real.

Na figura 32 é possível observar a quebra da carcaça do coxim lado motor no banco de provas utilizado para a realização do teste de Urto, por parte do cliente.

Este banco de prova consistia na parte frontal do veículo presa a um trilho e uma massa que era solta sobre os trilhos na parte de trás dessa estrutura para exercer o choque pretendido. Esta massa como também o ângulo de inclinação do trilho necessário para obter a aceleração da mesma foram algumas das “adaptações” feitas ao teste.



Figura 32: Evidência da quebra da carcaça do coxim lado motor em teste em banco

Fonte: **o cliente**

Tendo em vista a essa falha observada, o cliente exigiu o reforço da carcaça. Mesmo após argumentarmos quanto ao critério de nossas análises e da falta de coerência do teste o cliente manteve sua posição. E isso agravado pela data de início de produção devido ao lançamento do veículo e impossibilidade de realização do teste nas condições ideais.

O fornecedor acatou a solicitação do cliente com a condição de que após o lançamento do veículo seriam realizados novos testes e mediante os resultados desses testes os custos das alterações seriam repassados para o devido responsável.

Dessa forma foram feitas novas análises e a carcaça teve uma nova configuração como mostrada na figura 33.

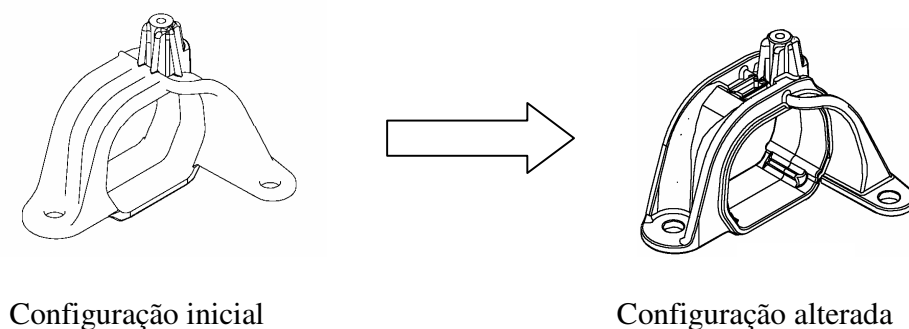


Figura 33: Reforço da carcaça com aumento das nervuras existentes na peça.

Fonte: **o autor**

Foram reforçadas as nervuras na peça a fim de garantir maior resistência na direção +X e -X, que é o sentido de movimento do veículo e que corresponde às forças sofridas na condição de choque traseiro como proposto pelo teste de Urto.

Após esta alteração, foram fornecidas novas amostras para o cliente, pois o mesmo desejava repetir o teste com a nova configuração da carcaça. Contudo alertou-se mais uma vez para a falta de confiabilidade do teste, quando realizado dessa forma. E na figura 34 é possível observar o resultado do teste.

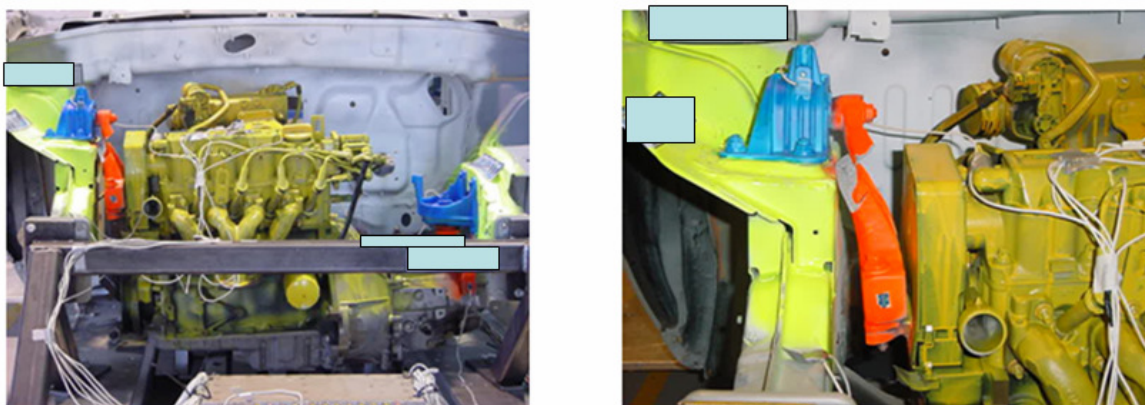


Figura 34: Resultado do segundo teste de impacto com a carcaça reforçada.

Fonte: **o cliente**

Neste segundo teste o suporte do coxim lado motor se rompeu, isso porque a energia aplicada ao sistema de fixação do motor foi a mesma que no teste anterior e devido a essa força estar fora dos limites especificados para o cálculo dos materiais, acreditava-se que outro componente seria afetado durante o teste.

Foi então que a pedido do cliente, sob as mesmas condições acordadas anteriormente, foram feitos reforços ao suporte. Como indicado na figura 35.

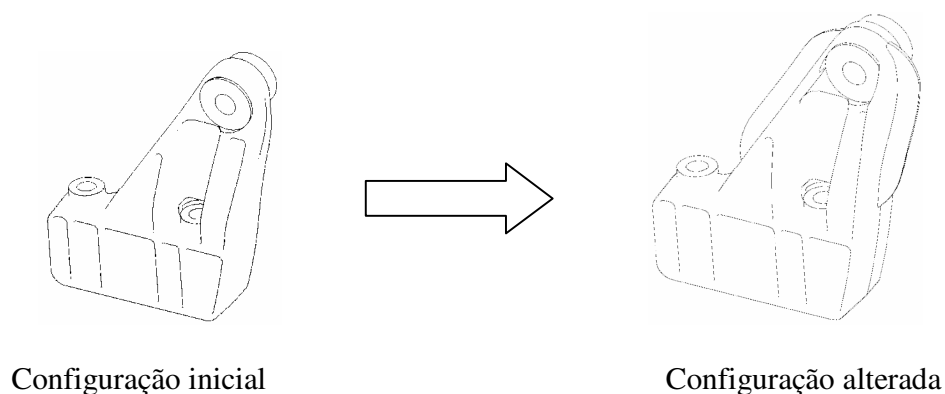


Figura 35: Versões do suporte coxim lado motor

Fonte: **o autor**

Após a alteração realizada no suporte, foi realizado um terceiro teste o qual

não apresentou falha. E mediante esse resultado o cliente concedeu a liberação para o fornecimento do produto.

Tendo em vistas os custos acrescidos com alterações nos ferramentais da carcaça e do suporte, como também acréscimo no custo dos dois componentes devido ao aumento de material, o fornecedor requisitou do cliente a comprovação dos resultados. E através da realização do teste nas condições reais, ou seja, com o choque de dois veículos utilizando a versão inicial do coxim, não houve falha do mesmo.

Mediante tal resultado foram repassados ao cliente os custos de alteração dos moldes de injeção e ajustado o valor pago pelo produto, devido ao aumento de massa.

Os custos resultantes dessas alterações devido a fabricação de novas cavidades para o molde de injeção da carcaça e do suporte, custos com as peças perdidas, transportes e custo com a modificação também do molde de vulcanização, pois a carcaça faz parte no processo de vulcanização, resultaram e um aumento de 98,71% dos custos já pagos para a primeira versão dos ferramentais.



Figura 36 - Detalhe do molde de vulcanização: ajuste da carcaça na cavidade do molde

Fonte: **o autor**

Na figura 37b é possível observar a versão final do coxim do lado motor após as alterações que foram efetuadas para o reforço do coxim conforme solicitação do cliente.

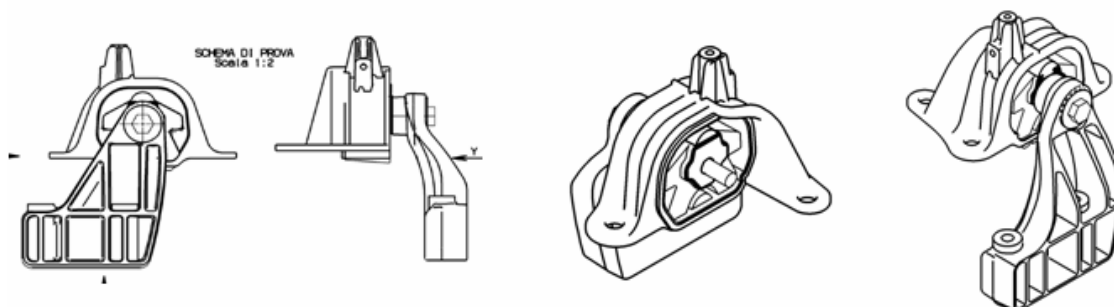


Figura 37a: Visão da versão inicial do coxim lado motor.

Fonte: **o autor**

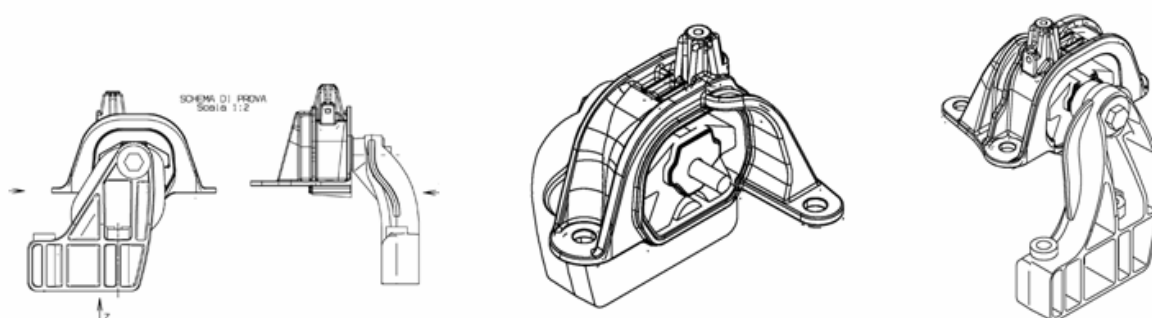


Figura 37b: Vista do coxim lado motor reforçado segundo solicitação do cliente

Fonte: **o autor**

Contudo ao se analisar detalhadamente estes fatos, com o objetivo de se encontrar a causa raiz destes problemas foi identificada uma falha por parte do cliente. Falha essa, que tem início na atribuição dos dados iniciais do projeto. Essa afirmação tem origem na tabela de cargas aplicadas aos coxins. Isso porque o cliente utilizou uma tabela de um outro veículo de sua produção que utilizava o mesmo

motor para atribuir os mesmos valores. Infelizmente não houve uma análise eficiente quanto a criticidade de se utilizar estes dados sem qualquer tratamento. O que poderia ter sido evitado, caso o cliente tivesse solicitado o suporte do fornecedor para se certificar quanto a possibilidade de utilizar esses dados que apesar de serem de um motor idêntico, tem uma posição espacial e condições de fixação diferentes, sem contar nas cargas provenientes do pavimento ou estradas aplicadas aos coxins que são muito diferentes entre Brasil e Europa. Mediante o fato, a soma das incertezas causadas pela tabela de forças inadequada e pelo procedimento do teste de urto incorreto, levaram as falhas durante o desenvolvimento.

5.2 – Caso 2 – Coxim diferencial

5.2.1 – Descrição do produto

Os produtos do caso 2 também são coxins de motor. Neste projeto a apresentação dos primeiros protótipos ocorreu em quatro meses e o início de produção como no projeto analisado anteriormente correu no prazo de quinze meses.

Neste caso, todo o desenvolvimento ocorreu no Brasil sem a interferência da filial européia como no caso 1. E foi de responsabilidade do fornecedor local gerir todo o projeto e para este veículo o sub-fornecedor de cálculo também foi alterado em relação ao do caso 1. Desta vez, ele estava localizado no Brasil, o que resultou em maior eficiência na comunicação e redução do risco de erros durante a troca de informações entre fornecedor e sub-fornecedor.

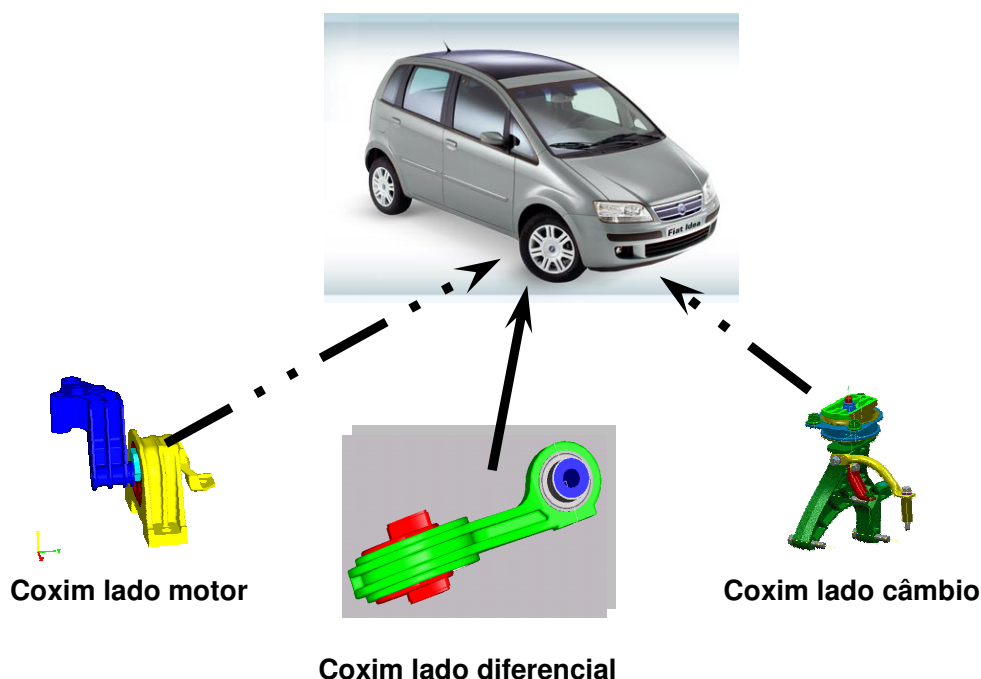


Figura 38: Imagens ilustrativas do produto em desenvolvimento

Fonte: o autor

5.2.2 – Problemática observada 1 – Avaliação simplista por parte do cliente para o coxim lado diferencial.

A primeira problemática a ser estudada é a avaliação simplista por parte do cliente durante o desenvolvimento.

Neste caso será estudado também o desenvolvimento do coxim do lado diferencial como no primeiro caso, mas aqui se trata de outro veículo.

O cliente no início do desenvolvimento com o intuito de reduzir o prazo para o desenvolvimento como também ter os custos o mais próximo possível do estimado, fez algumas análises e distribuiu para os fornecedores Tier 1 as matemáticas dos componentes do carro com um grau de significatividade quase de 100%, segundo seu critério. E no caso do coxim lado diferencial a matemática fornecida é a indicada na figura 39.

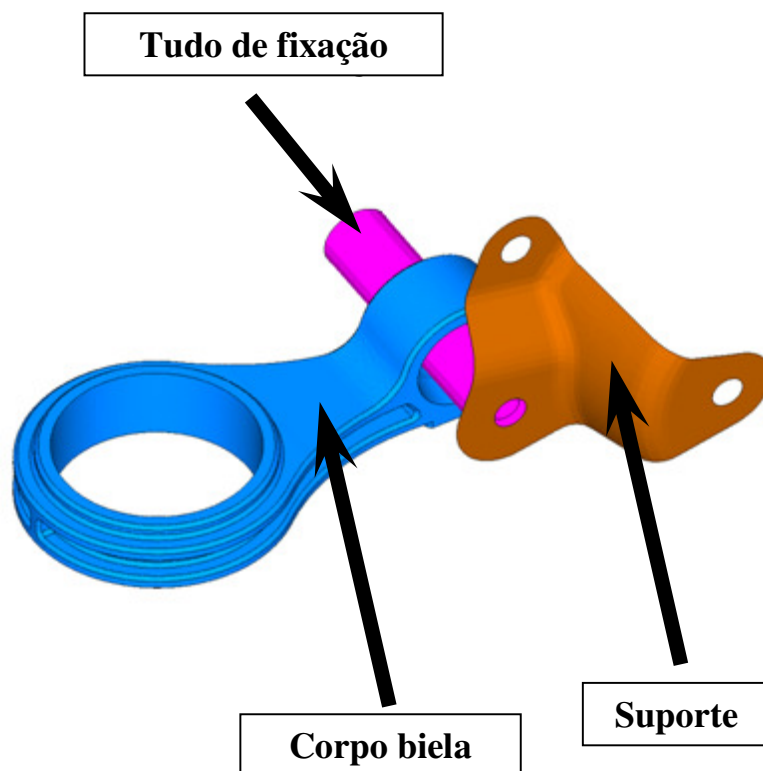


Figura 39– Modelo matemático considerado pelo cliente

Fonte: **o cliente**

Ao receber a matemática, o fornecedor avaliou o estudo feito pelo cliente e suas considerações podem ser vistas nas figuras 40 e 41 onde estão indicados o detalhe do lay-out da biela e o resultado da simulação do teste de impacto traseiro, visto que é o teste de maior severidade para um coxim. E mediante este resultado e outros que estavam inclusos no relatório, o lay-out do coxim foi pré-definido pelo cliente.

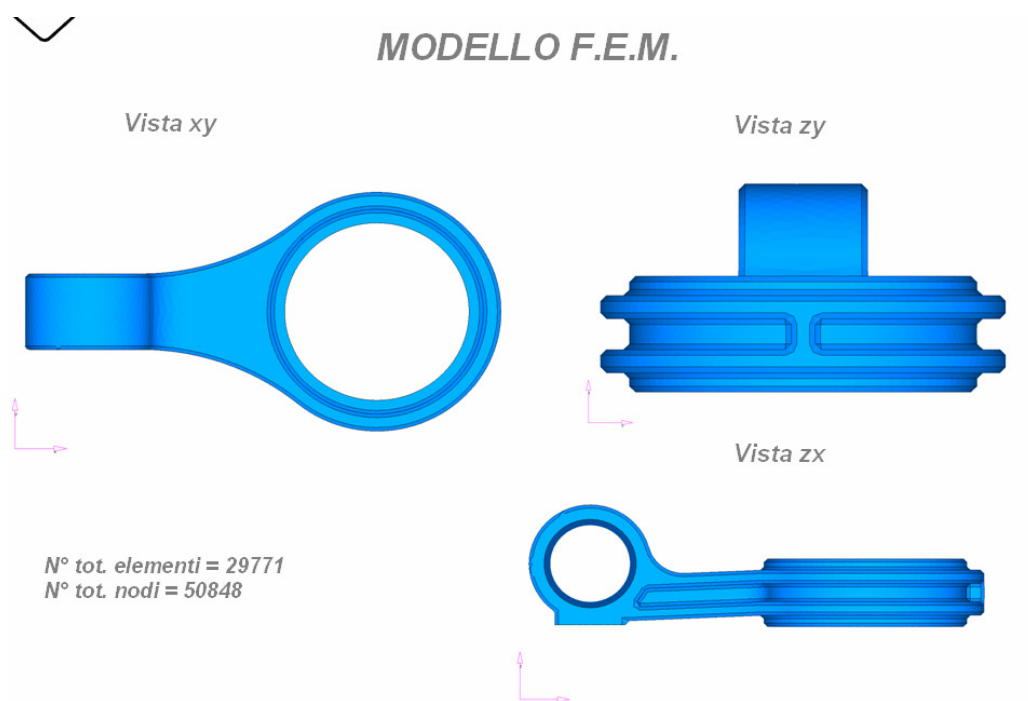


Figura 40: Configuração do corpo biela utilizado para a simulação, vistas: frontal, superior e lateral.

Fonte: **o cliente**

Na figura 43, é possível notar o primeiro erro cometido pelo cliente. Ao ser comparado o modelo matemático básico que considera o coxim mais seus pontos de fixação para definir a distribuição das forças, são identificados três elementos: o corpo biela, o tubo de fixação e o suporte.

Tendo em vista que essa é uma configuração já utilizada em um outro veículo fabricado pelo mesmo cliente já a alguns anos, o mesmo simplesmente utilizou a matemática existente e fez a simulação por elementos finitos, mas sem critério, pois como o cliente não compreendeu que o tudo fazia parte do coxim, o mesmo não fez sua simulação. E isso é fácil de atestar com o resultado da avaliação feita pelo cliente na figura 41 que mostra apenas o corpo biela.

IMPACTO TRASEIRO A 25 Km/h ($dv/dt = 27g$)

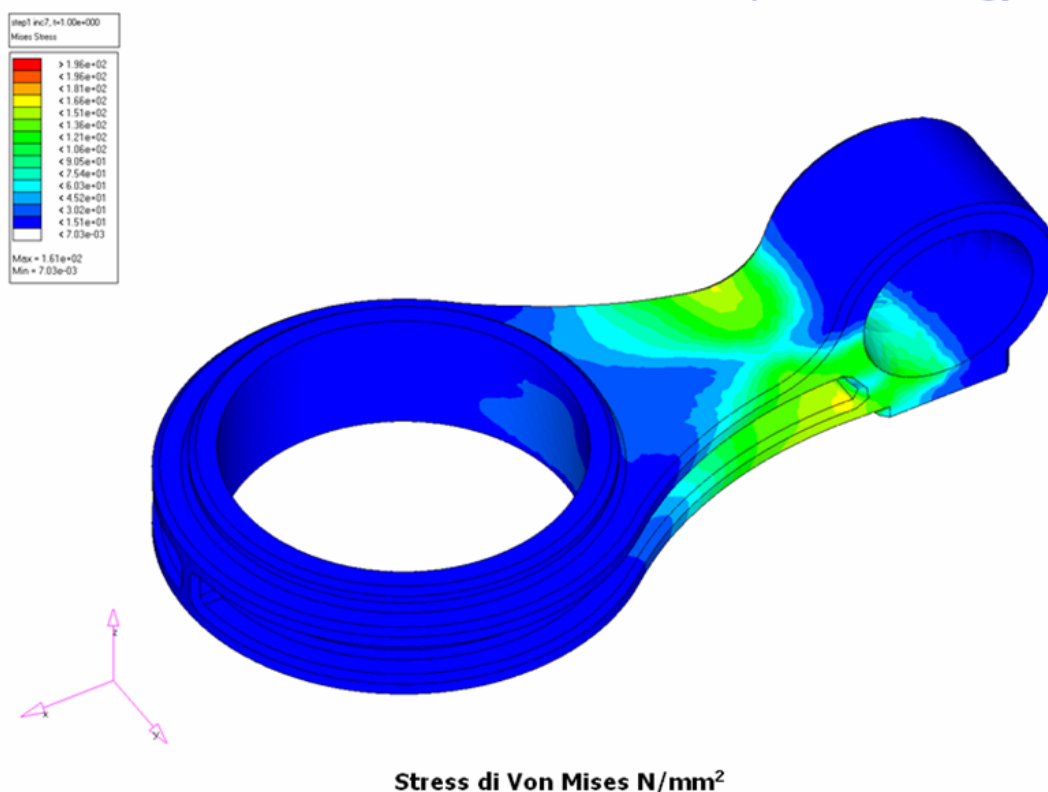


Figura 41: Resultado da simulação do cliente para o teste de impacto.

Fonte: **o cliente**

Mediante este fato, o fornecedor através de sua competência como fabricante de coxins, refez o estudo feito pelo cliente, mas considerando o tubo como parte do coxim. Como também a distribuição de forças sofridas pelo corpo biela mediante a configuração do coxim de borracha que estará no seu interior, pois como no caso 1 as forças que atuam sobre a biela são diretamente ligadas a configuração do coxim de borracha que estará inserido em seu interior. E tal consideração o cliente não teria condições de fazer, pois a proposta da parte de borracha o cliente não tinha a menor condição de propor ou fazer alguma avaliação.

Na figura 42 está indicada a análise feita pelo fornecedor, onde se observa o movimento dinâmico do conjunto.

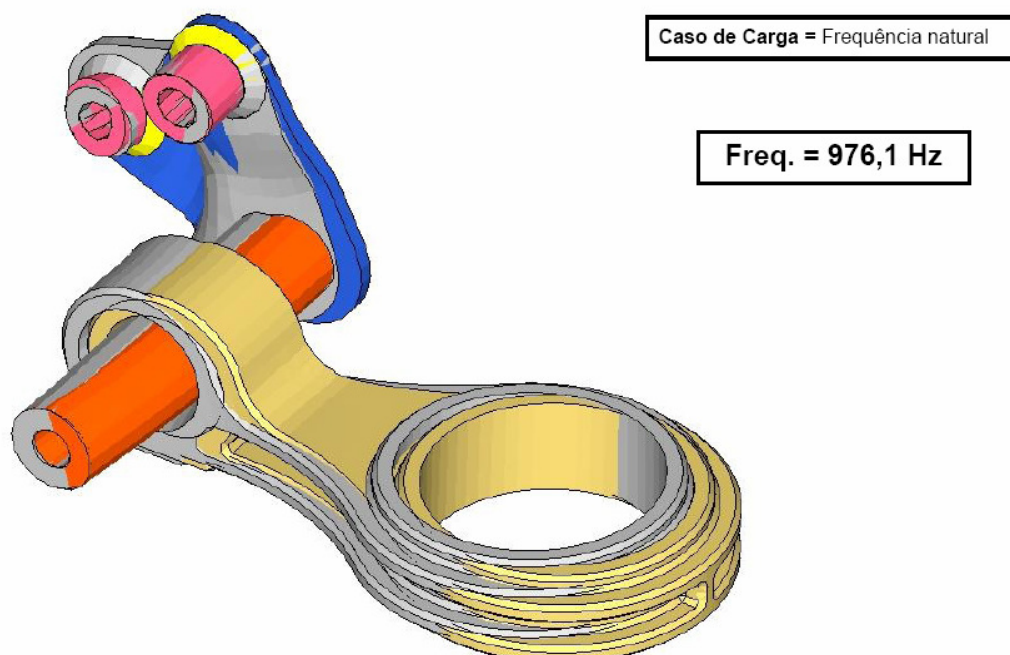


Figura 42: Modelo matemático feito pelo fornecedor – Conjunto considerado biela e tubo.

Fonte: **o fornecedor**

Conforme as análises feitas foram obtidos os resultados de simulação mostrados nas figuras 43a e 43b tanto para o corpo biela quanto para o tubo. E com esta avaliação é possível ter a confiabilidade necessária para a função da peça, pois o tubo também foi aprovado. Isso foi algo de “sorte” para o cliente em sua análise simplista, pois caso não fosse feita esta avaliação e se o tubo viesse a quebrar em uso poderia resultar em acidente ao condutor do veículo e seus ocupantes.

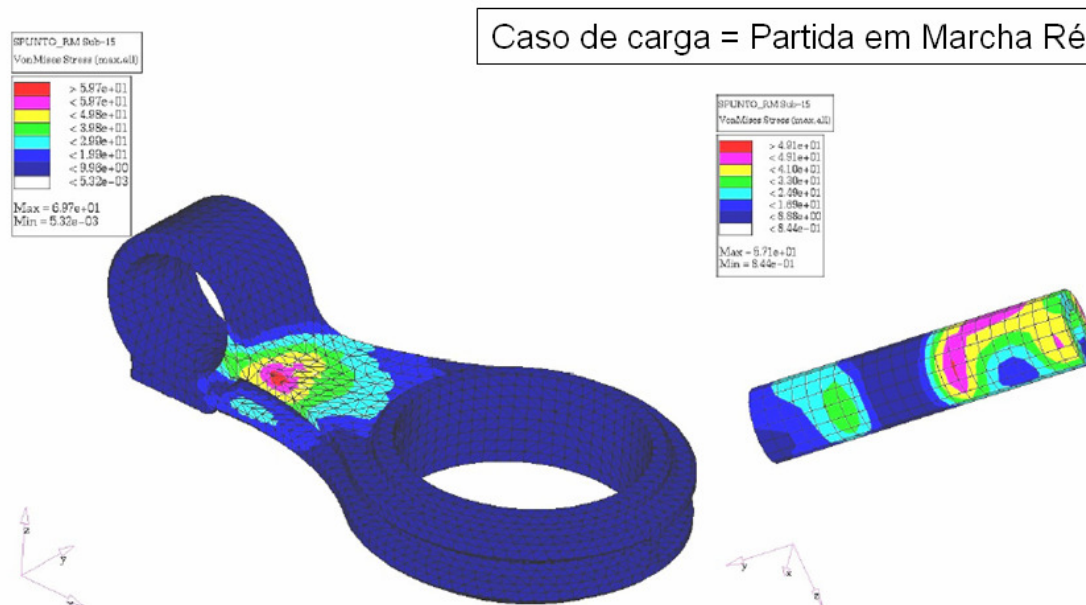


Figura 43a: Simulação matemática do conjunto – consideração do fornecedor

Fonte: o fornecedor

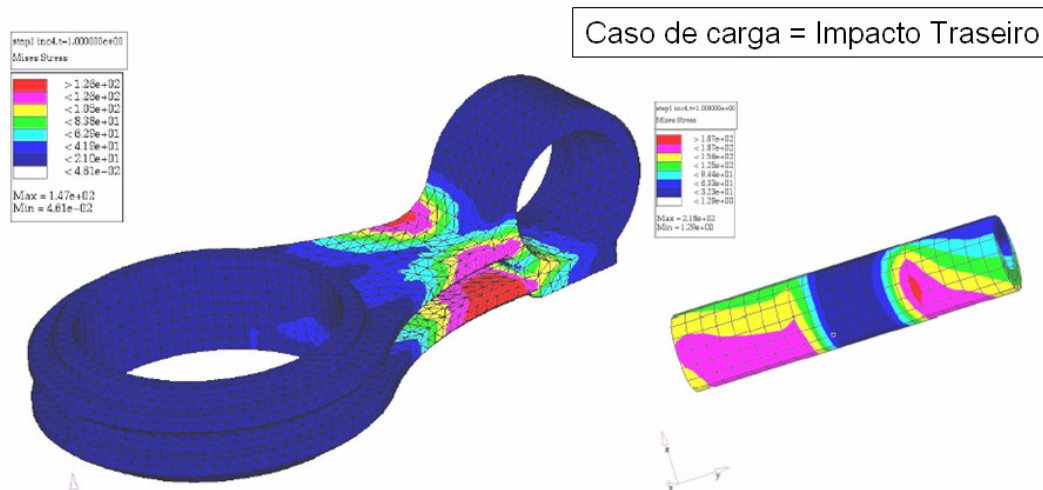


Figura 43b: Simulação matemática do conjunto – consideração do fornecedor, configuração aprovada.

Fonte: o fornecedor

Nesta problemática estudada, foi possível observar a falta de comunicação entre fornecedor e cliente e que poderia ser melhorada caso a equipe multifuncional do D-FMEA tivesse a participação de componentes do cliente e do fornecedor.

5.2.3 – Problemática observada 2 – Negligência quanto a severidade da função do produto por parte do sub-fornecedor mediante critérios pré-definidos para o coxim lado diferencial.

Assim como na primeira problemática observada em que foi identificada uma negligência por parte do cliente em entender que poderia avaliar a funcionalidade do coxim mesmo sem ter o know-how necessário, na problemática que será abordada a seguir é possível identificar o mesmo problema por parte do sub-fornecedor.

Neste item será abordada uma falha que ocasionada pelo sub-fornecedor com o mesmo coxim analisado anteriormente.

Após a liberação do modelo matemático do corpo biela e do tubo pelo resultado obtido com a avaliação de elementos finitos, o modelo foi passado ao sub-fornecedor de injeção de alumínio para a industrialização das primeiras amostras. E para isso foi enviado ao sub-fornecedor o modelo matemático do corpo biela para a fabricação do molde de injeção.

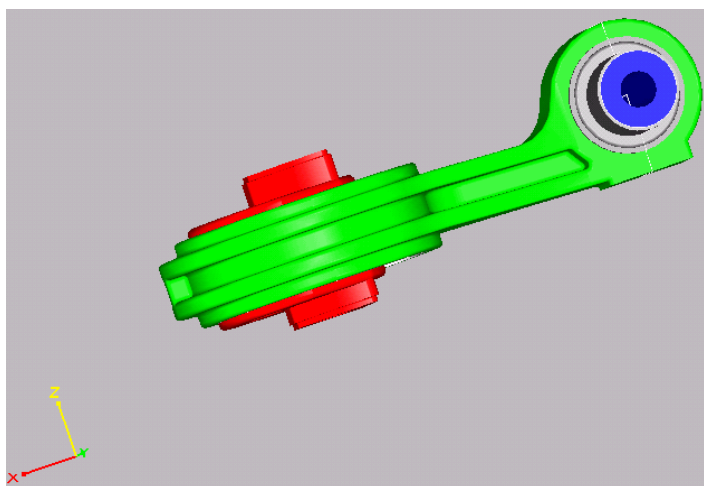


Figura 44: Modelo matemático enviado ao sub-fornecedor para fabricação do molde de injeção e controle do produto injetado.

Fonte: **o fornecedor**

Ao receber o modelo, o sub-fornecedor iniciou suas atividades para a produção do molde de injeção para a fabricação da peça. Contudo o mesmo fez sua avaliação de criticidade apenas nas cotas de interferência que foram os dois orifícios da peça onde são colocados o coxim de borracha e o tubo emborrachado. E não houve critério quanto a outras áreas da peça.

Esta falta de critério é possível identificar na figura 45, com a comparação do modelo matemático e a peça real.

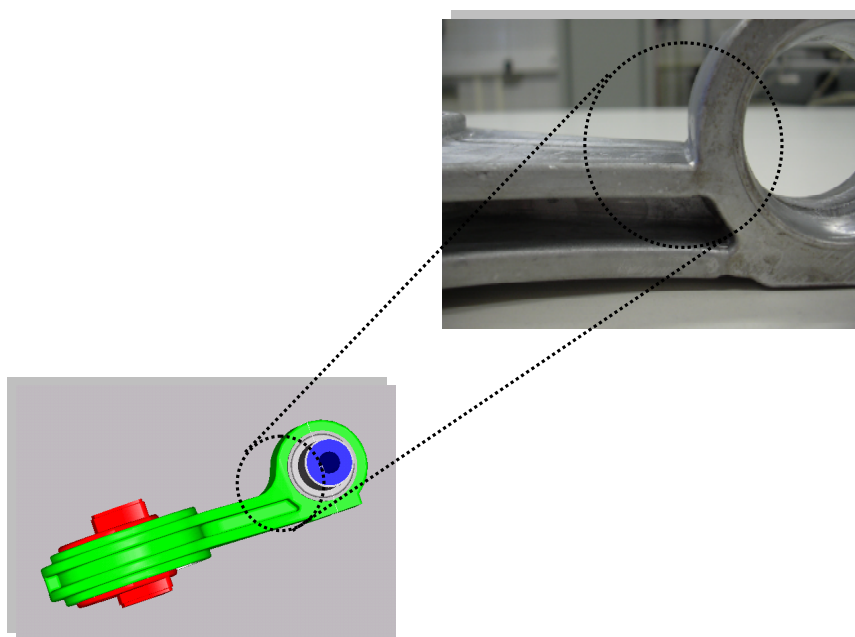


Figura 45: Exemplo de divergência entre modelo e peça real

Fonte: **o fornecedor**

A falta dessa avaliação por parte do sub-fornecedor e a consideração do fornecedor de que não haveria a possibilidade de equívoco na área destacada na figura 45, fez com que não fosse gerado um plano de controle para esta peça nesta região. E essa falta resultou na aceitação do componente, montagem do coxim e envio para o cliente.

Após a chegada da peça no cliente, ao ser iniciado o teste de campo o coxim apresentou falha devido a quebra do corpo biela no local do canto vivo, o qual deixou a peça fragilizada.

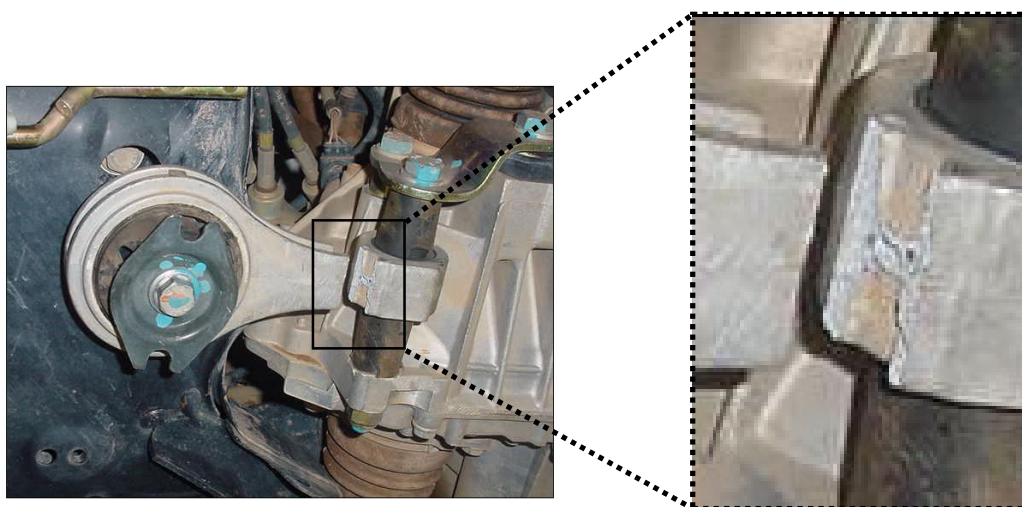


Figura 46: Quebra do corpo biela devido ao componente fornecido fora do especificado

Fonte: **o cliente**

Nas figuras 46, 47 e 48 é possível identificar que a causa da falha do coxim se deu por razão do canto vivo no corpo biela. A possibilidade de quebra era considerada e por isso foi feito o estudo do coxim mesmo com uma avaliação prévia feita pelo cliente, contudo não era se quer cogitada a ocorrência desta quebra após o estudo realizado e liberado o modelo matemático para a industrialização.

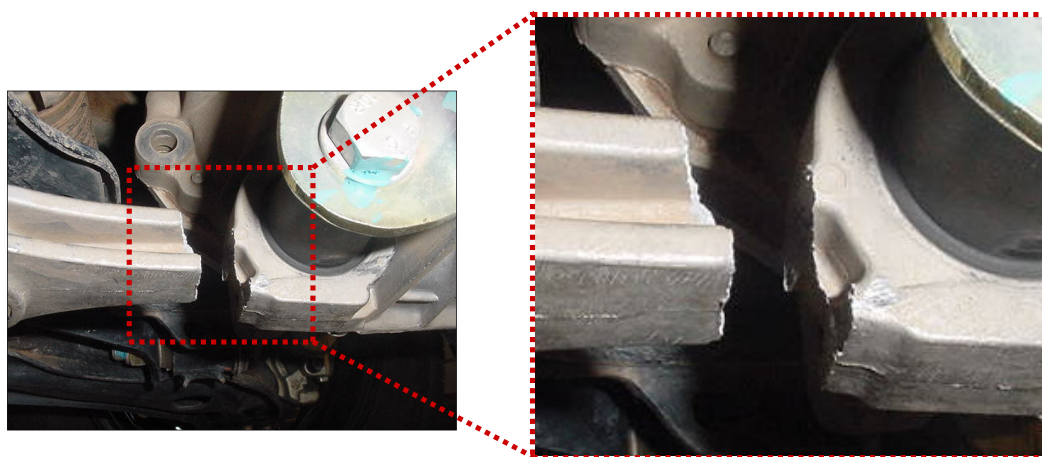


Figura 47– Vista lateral da biela quebrada onde é nítido o canto vivo na peça injetada ao invés do alívio como indicado no modelo matemático.

Fonte: **o cliente**

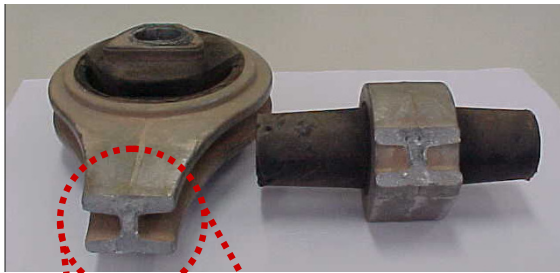
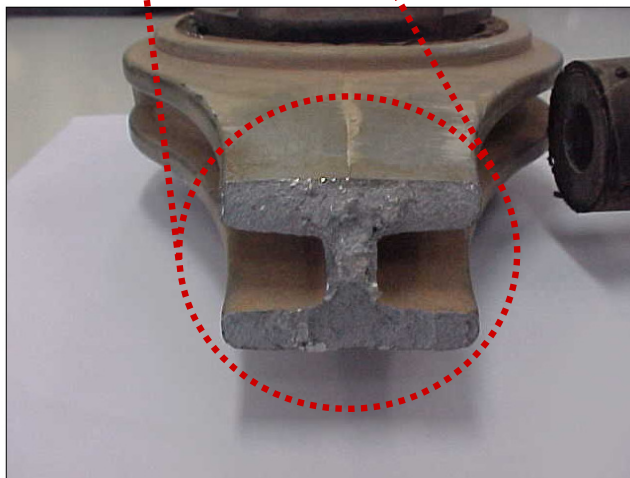


Figura 48: Detalhamento do corpo biela, área da quebra.

Fonte: **o cliente**



Após a correção do corpo biela conforme o modelo matemático, as novas amostras foram fornecidas ao cliente e os testes no veículo puderam ser concluídos e a peça foi aprovada pela qualidade do cliente.

Neste caso os custos envolvidos com re-trabalho das cavidades de injeção de alumínio, troca de peças, transporte e devolução das peças com o canto vivo ficaram por parte do sub-fornecedor.

Já no caso da avaliação simplista do cliente, como o fornecedor efetuou os cálculos para garantir que não haveria falha e por coincidência, o modelo matemático do cliente não apresentou falha na análise virtual, não houve repasse de custos adicionais ao cliente.

CAPÍTULO 6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

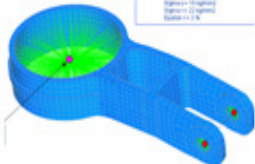
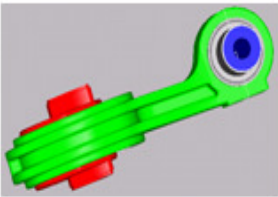
O estudo de casos múltiplos foi aplicado em quatro casos com o objetivo de avaliar a utilização do D-FMEA no desenvolvimento de novos produtos na indústria automobilística

Mediante a coleta de informações dos desenvolvimentos expostos no capítulo anterior, foi possível identificar de que maneira o D-FMEA foi considerado e utilizado por cada componente da cadeia produtiva, sendo considerados como elo dessa cadeia: o cliente, o fornecedor e o sub-fornecedor.

Para uma melhor visualização dos resultados obtidos durante a coleta de dados, foi concebida a tabela 4. Nesta tabela estão listados os elementos envolvidos durante o desenvolvimento, pois dessa maneira é possível destacar que a falha na utilização do D-FMEA não ocorreu em apenas um elemento envolvido no processo de desenvolvimento.

Contudo um ponto importante a salientar é que em nenhum dos desenvolvimentos foi feito um D-FMEA em conjunto com o cliente ou com o sub-fornecedor. O que ocorreu foi uma verificação se o mesmo existia e se havia algum NPR (número de prioridade de risco), com valor significativo para avaliar as ações de redução. E essa prática ocorreu tanto do fornecedor para com o sub-fornecedor como do cliente para o fornecedor. Ou seja, o critério de equipe multifuncional intra-empresas é um conceito ainda não existente. Embora a avaliação do D-FMEA tenha ocorrido após o momento das falhas que foram de responsabilidade do sub-fornecedor o que infelizmente não foi possível junto ao cliente, mediante a concepção que ainda existe entre o cliente montadora e seus fornecedores, visto que neste aspecto são identificadas deficiências ou fragilidades no sistema de controle ou no corpo técnico do cliente.

Tabela 9: Resumo dos estudos de caso

Eventos	Causa do erro	Elemento da cadeia produtiva, no qual ocorreu a falha	Consequência do erro	Custos acrescidos
Caso 1 Problemática 1	Falta de critério para aplicação das premissas	Sub-fornecedor 	Perda de função resultando na quebra do componente. Impacto no cronograma e custos extras comparados aos custos do ferramental original.	Serviços 72,80% Matéria-prima 42,09%
Caso 1 Problemática 2	Falta de critério para aplicação das premissas	Cliente 	Perda de função resultando na quebra do componente. Impacto no cronograma e custos extras comparados aos custos do ferramental original para a fabricação da peça.	Serviços 77,20% Matéria-prima 21,51%
Caso 2 Problemática 1	Avaliação simplista por parte do cliente	Cliente 	Neste caso não houve consequência, mas poderia ter resultado em aumento de custos e impacto no cronograma.	Custo extra nulo
Caso 2 Problemática 2	Negligência quanto a severidade da função do produto mediante critérios pré-definidos	Sub-fornecedor 	Custos extras com ajuste no molde de injeção, perda da função resultando em parada do teste em veículo e comprometimento do prazo.	Custos extras não informados pelo sub-fornecedor

Fonte: o autor

No caso 1, na primeira problemática foi destacada a falta de critério para aplicação das premissas, uma vez que, foi comprovado o erro do sub-fornecedor quanto à distribuição de forças no cálculo de elementos finitos. O erro do sub-fornecedor foi o de assumir condições de forma autônoma sem o suporte do seu cliente direto.

Ainda no caso 1, a problemática 2, novamente foi identificada esta falta de critério para a aplicação das premissas. Neste caso o critério passado pelo cliente para o controle da peça, não estava correto, o que ocasionou quebra de coxins devido as condições de testes serem extremas.

No caso 2, foram estudadas mais duas problemáticas, onde na primeira foi identificada uma avaliação simplista por parte do cliente, dos itens que seriam desenvolvidos, uma vez que no cálculo de elementos finitos não foi considerado um dos componentes do coxim. E isso se deu exclusivamente por falta de competência técnica por parte do cliente.

A segunda problemática do caso 2, assim como já ocorrido anteriormente a falha se deu devido a uma má avaliação por parte do sub-fornecedor do modelo da peças que o mesmo deveria fabricar. E por esta razão é possível afirmar que houve uma análise simplista por parte do sub-fornecedor, o qual não reproduziu a matemática fornecida, mas sim aquilo que ele, o sub-fornecedor, havia considerado importante.

Ainda sobre os resultados, vale ressaltar quanto a confiabilidade e relevância dos mesmos os seguintes aspectos.

Nesta pesquisa foram estudados quatro casos sendo divididos em 2 grupos: caso 1 e caso 2. Cada grupo deste ocorreu em eventos distintos, pois se referem ao desenvolvimento de veículos diferentes e em períodos diferentes com um intervalo de 3 anos entre eles.

Outro fator a ser considerado foi que entre os dois casos, apesar do cliente ser o mesmo, as equipes responsáveis no cliente para cada desenvolvimento eram diferentes e quanto aos sub-fornecedores também foram distintos entre o caso 1 e o caso 2. Vale salientar que entre os casos houve diferença até de países quanto aos sub-fornecedores o que torna a amostragem dessa pesquisa mais relevante ao estudo,

pois fornece maior credibilidade e critério ao resultado do estudo, uma vez que desta maneira não há a tendência de que fosse um comportamento específico por parte de um determinado sub-fornecedor devido a não ter a competência para a utilização do D-FMEA.

Outro ponto a ser também destacado é que todos os sub-fornecedores possuíam certificação ISO-9.000 e/ou QS-9.000, o que reforça a sua competência na utilização de procedimentos documentais como também na utilização do FMEA em suas variações: D-FMEA e P-FMEA.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

7.1 – Conclusão

Através da pesquisa realizada, chegou-se a conclusão que as falhas ocorridas tiveram sua causa raiz na ineficiência da análise das falhas potenciais. E isso se deu devido a ausência de capacidade ou competência técnica para esta análise e que resultava em definição de critérios menos rígidos de controle ou procedimento. Contudo esta falta de competência para a análise deve ser compensada quando se é feita a análise dos riscos utilizando-se o critério básico da teoria do D-FMEA que parte da equipe multifuncional, pois dessa forma as competências de diversos níveis são somadas.

Infelizmente, o que foi possível observar é que o critério de equipe multifuncional não foi utilizado na íntegra em nenhum dos casos estudados. Segundo Palady 2004, em termos mais diretos, na maioria dos casos, não é possível fazer um FMEA bem-feito sem o input do cliente ou do fornecedor. Ele ressalta ainda que geralmente nas empresas automobilísticas a contribuição dos fornecedores é solicitada apenas depois que o problema ocorre. O que reforça ainda mais a necessidade de se mudar essa prática fazendo com que a equipe multifuncional seja algo mais amplo se tornando um elo de ligação entre cliente e fornecedor.

Contudo essa prática deve ir mais além. É necessário que os envolvidos nesse processo sejam capazes de exercer a função de agente unificador dos elos dessa cadeia. Tendo em vista existir diversas ramificações na cadeia produtiva de um veículo. Na figura 49 é possível notar essas ramificações em uma breve simulação da cadeia produtiva de uma indústria automobilística.

Como é possível notar, foi feita a mesma consideração de níveis de elos como cliente (1), fornecedor (2) e sub-fornecedor (3). E com esta figura se torna mais evidente outro fator que não foi considerado, mas que pode exigir ainda mais a necessidade dessa interação entre os diferentes níveis durante a concepção de um D-FMEA. E este fator é a inter-relação entre os “elos” dos mesmos níveis, ou seja, ao tomarmos como base a figura 49 e considerar o produto estudado em todos os casos,

o coxim. Haverá uma relação entre o fornecedor de coxim e o fornecedor de chapa como também o fornecedor do motor (power train), visto que os pontos de fixação do coxim ocorre nos produtos fornecidos por estes dois fornecedores. E quaisquer variações causas nos seus produtos por seus sub-fornecedores poderá afetar diretamente a montabilidade ou função dos coxins.

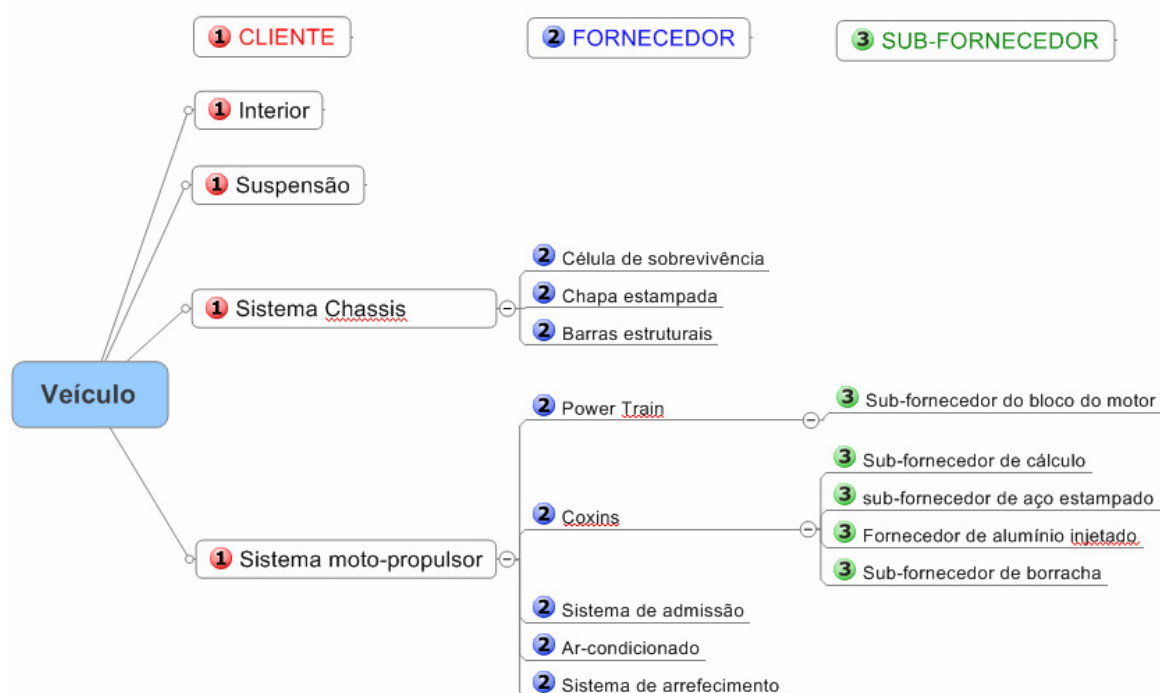


Figura 49: Exemplo simplificado de parte da cadeia produtiva da indústria automobilística.

Fonte: o autor

Por esta razão o processo de desenvolvimento alcança proporções ainda maiores a nível de complexidade, resultando em riscos de falha maiores. E isso, por sua vez destaca ainda mais a necessidade de se aplicar o D-FMEA com a utilização de uma equipe multidisciplinar que abranja os diversos níveis da cadeia produtiva.

Tendo em vista a complexidade deste processo é fundamental o comprometimento do cliente em aglutinar os fornecedores, para em conjunto,

conforme as inter-relações existentes por meio da citada equipe e envolver direta ou indiretamente os fornecedores e seus sub-fornecedores.

Desta maneira, o D-FMEA terá as condições necessárias para alcançar seu propósito que é de evitar a ocorrência de falhas durante o desenvolvimento de novos produtos resultando em impacto positivo direto sobre os prazos e os custos do projeto. Contudo é preciso que sejam definidas regras ou ferramentas que venham “forçar” a utilização de uma equipe multifuncional eficiente e que também o processo de avaliação dessa equipe seja algo periódico tendo em vista o processo de desenvolvimento fazendo a ligação com as principais fases ou eventos do projeto.

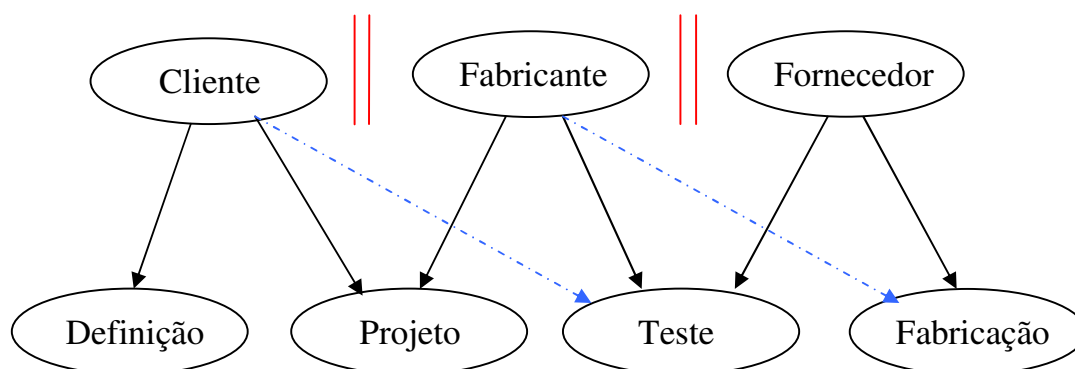


Figura 50: Configuração real das relações: cliente-fornecedor-sub-fornecedor no desenvolvimento de novos produtos e aplicação do D-FMEA.

Fonte: **o autor**

Na figura 50, está demonstrada a atual interação entre cliente, fornecedor e sub-fornecedor. Neste exemplo é explícita a relação entre cada elo da cadeia-produtiva.

- **Cliente / Fabricante (fornecedor)**

O cliente informa ao fabricante os dados básicos do projeto e o mesmo tem a responsabilidade de fornecer o projeto do produto. Neste momento o Cliente fornece ao fabricante as normas que irão regulamentar os testes de validação do produto;

- Fabricante (fornecedor) / Fornecedor (sub-fornecedor)

O fabricante fornece os dados para produção do produto como documentação, desenho, normas de teste, prazos objetivos e etc. E o fornecedor interage com o fornecimento do produto.

Infelizmente neste processo não há interação entre todos os elos e os que se relacionam, isso ocorre de forma superficial, o que é prejudicial para o fluxo de informações e troca de experiências necessários durante o desenvolvimento de novos produtos.

7.2 – Recomendações para futuras pesquisas

- A concepção de um novo D-FMEA para o desenvolvimento de produtos que envolvam um número maior de fornecedores da cadeia produtiva;
- Um estudo para a melhoria de interação existente entre o D-FMEA e o P-FMEA;
- Estudo de caso do D-FMEA para outros tipos de produtos de cadeia produtiva complexa, que venham confirmar os resultados obtidos nessa pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

BELLOMO, P.; RAGO, C. E.; SPENCER, C. M.; WILSON, Z. J.. **A Novel Approach to Increasing the Reliability of Accelerator Magnets.** IEEE Transactions on applied superconductivity., v. 10, n. 1, p. 284-287, March/2000.

BERVIAN, P.A.; CERVO, A.L.. **Metodologia Científica.** 3ª ed. São Paulo: McGraw - Hill, 1983.

BOISOT, Max. **Is there a complexity beyond the reach of strategy?** Emergence. V. 2, i. 1, p. 114-134, 2000.

BRUNS, W. J. Jr.. **Case Study Research: Design and Methods.** Beverly Hills: Sage Publications, 166 pages - Revised Edition, 1989

BUSBY, J. S.; HBBERD, R. E.; MILEHAM, M. A.; Mullinex G. **Failure modes analysis of organizational .** Proc. Instn. Mech. Engrs, v. 218, Part B, n. 1211-1215, p. 19-40, Ergonomics, 2004.

CALABRESE, G.. **Managing information in product development.** Logistics Information Management Volume 12 - Number 6 - 1999, pp. 439-450.

CANCIGLIERI, O. J.; YOUNG, R. I. M.. **Information sharing in multiviewpoint injection moulding design and manufactuting.** International Journal of Production Research, v. 41, n. 7, p. 1565-1586, 2003.

CANCIGLIERI, Osiris; IAROZINSKI, Alfredo. **Proposta de um modelo conceitual de gestão da produção baseado na teoria da complexidade: o modelo IMPLEXE.** XXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ENEGEP 2002. v. 1, p 1-8.

CARNEVALLI, J. A.; CAUCHICK, P. A.. **QFD application in different countries: a comparison of an exploratory study in Brazil with other surveys.** Núcleo de Gestão da Qualidade & Metrologia, Faculdade de Engenharia e de Produção, UNIMEP.

CARO, J. L.; GUEVARA, A. and AGUAYO, A.. **Workflow: a solution for cooperative information system development.** Business Process Management Journal Vol. 9 No. 2, 2003 pp. 208-220.

CHEN, I. J. and POPOVICH, K.. **Understanding customer relationship management (CRM) People, process and technology.** Business Process Management Journal Vol. 9 No. 5, 2003 pp. 672-688.

DAIMLER CRYSLER CORPORATION et al. **Planejamento avançado da qualidade do produto e plano de controle- APQP.** Ed. IQA - Instituto da Qualidade Automotiva, 1997.

DAVIDSON, G. G.; LABIB, A. W.. **Learning from failures: design improvements using a multiple criteria decision-making process.** Proc. Instn. Mech. Engrs, v. 217, Part G, p. 207-216, Aerospace Engineering, 2003.

DAVIG, W.; BROWN S.; FRIEL T. and TABIBZADEH K.. **Quality management in small manufacturing.** Industrial Management & Data Systems 103/2 (2003) - Eastern Kentucky University; www.emeraldinsight.com/0263-5577.htm.

EISENHARDT, K. M.. **Building Theories from Case Study Research.** Academy of Management Reveiw, 1989, Vol. 14, No. 4, 532-550.

ESTORILIO, C. e SZNELWAR, L. I.. **MELHORANDO O DESEMPENHO DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO ATRAVÉS DA ANÁLISE DO PROCESSO: UM ESTUDO DE CASO.** 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto Florianópolis, SC - 25-27 Setembro de 2001.

FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M. **A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA.** International Journal Product Res., v. 39, n. 13, p. 2991-3002, 2001.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLLOMP, B. P.. **Energy efficiency gain through partial recovery of surplus energy induced by nonlinear operating conditions and environments.** IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 52, no. 4, Augut 2003.

HARDING, J.A.; POPPLEWELL, K. **Driving concurrency in a distributed concurrent engineering project team: a specification for an engineering moderator.** International Journal Product Res., v. 34, n. 3, p. 841-861, 1996.

HARDING, J.A.; POPPLEWELL, K. and COOKS D. **Manufacturing system engineering moderator: na aid for multidiscipline project teams.** INT. J. PROD. RES., 2003, VOL. 41, NO. 9, 1973-1986.

HELMAN, Horacio; ANDREY, Paulo Roberto Pereira. **TQC Gestão da Qualidade Total - Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA e FTA).** Volume 11. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1995.

HOLST, L. and BOLMSJÖ, G.. **Simulation integration in manufacturing system development: a study of Japanese industry.** Industrial Management & Data Systems, 101/7 - 2001, pp. 339-356.

HOWARD, A.; KOCHHAR, A. and DILWORTH, J.. **Case studies based development of a rule-base for the speci® cation of manufacturing planning and control systems.** INT. J. PROD. RES., 2000, VOL. 38, NO. 12, 2591± 2606.

HUANG, S.H.; DISMUKES, J.P; SHI, J; SU, Q.; RAZZAK; M.A.; BODHALE, R.; ROBINSON D. E.. **Manufacturing productivity improvement using effectiveness**

metrics and simulation analysis. International Journal Product Res., v. 41, n. 3, p. 513-527, 2003.

INMAN, R. R.; BLUMENFELD, D. E.; HUANG, N. and LI J.. **Designing production systems for quality: research opportunities from na automotive industry perspective.** INT. J. PROD. RES., 2003, VOL. 41, NO. 9, 1953-1971.

INTERRANTE, L. D. and MACFARLANE, J. F. **Lawrence Berkeley Laboratory, University of California - Conference, Montreal, Quebec, Canada, August 19-25, 1995.**

KIDD, M.W. and THOMPSON, G., **Engineering design change management - Integrated Manufacturing Systems 11/1 [2000] 74±77.**

LASETER, T. M. and RAMDAS, K.. **Product Types and Supplier Roles in Product Development: An Exploratory Analysis.** IEEE Transactions on engineering Management, v. 49, no. 2, p. 107-118, May/2002.

LINTON, J. D.. **Facing the Challenges of Service Automation: An Enabler for E-Commerce and Productivity Gain in Traditional Services.** IEEE Transactions on Engineering Management, v. 50, n. 4, p. 478-484, November/2003.

LUCZAK, H.; REUTH, R.; SCHMIDT, L.. **Development of error-compensating UI for autonomous production cells.** Taylor & Francis, v. 46, n. 1-3, p. 19-40, Ergonomics, 2003.

MACPHERSON, I.; BROOKER, R. and AINSWORTH, P.. **Case study in the contemporary world of research: using notions of purpose, place, process and product to develop some principles for practice.** INT. J. SOCIAL RESEARCH METHODOLOGY, 2000, VOL. 3, NO. 1, 49 ± 61.

Manual QS-9000 - Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial – FMEA – Manual de Referência. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 1997.

Manual VDA (Verband der Automobiliindustrie e. V.) – Sistema-FMEA – volume 4, parte 1, seção 5. 1ª ed. São Paulo: IQA – Instituto da Qualidade Automotiva, 1996.

MATOSO, N. P.; VALLE, P. D.; CANGILIERI, O. **Metodologia para gerenciamento de ferramentas de corte baseada no Sistema Toyota de Produção.** XXIII ENEGEP. October/2003.

McDERMONT, Robin E.; MIKULAK, Raymond J.; BEAUREGARD, Michael R.. **The Basics of FMEA.** Portland, OR: Productivity, Inc., 1996.

MCDONNELL, A.; JONES, M. L. and READ S.. **Practical considerations in case study research: the relationship between methodology and process.** Journal of Advanced Nursing, 2000, 32(2), 383±390.

MUNDIM, A. P. F.; ROZENFELD, H.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L.; GUERRERO, V. e HORTA, L. C.. **Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional.** Gestão & Produção, v.9, n.1, p.1-16, abril/2002

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

QUALITY ASSOCIATES INTERNATIONAL INC. **Advanced Product Quality Planning.** Disponível em: <<http://quality-one.com/services/fmea.cfm>>. Acesso em: 29 mar. 2005.

QUALITY ASSOCIATES INTERNATIONAL INC.. **FMEA / Advanced Product Quality Planning – FORD.** Disponível em: <<http://quality-one.com/services/fmea.cfm>>. Acesso em: 29 mar. 2005.

RAGO, C. E.; SPENCER, C. M.; WOLF, Z.; YOCKY G.. **High reliability prototype quadrupole for the next linear collider.** IEEE Transactions on applied superconductivity, v. 12, n. 1, p. 270-273, March/2004.

REILING, J. G.; KNUTZEN, B. L.; STOECKLEIN, M.. **FMEA – the Cure for medical errors .** Quality Progress, v. 36, n. 8, p. 67-71, Academic Research Library, August/2003.

REMENYI, D. and SHERWOOD-SMITH, M.. **Maximise information systems value by continuous participative evaluation.** Logistics Information Management Volume 12 - Number 1/2 - 1999, pp. 14-31.

SAMPSON, S. E., **Costumers-supplier duality and bidirectional supply chains in service organizations.** International Journal of Service Industry Management, Vol. 11 No. 4, 2000, pp. 348-364.

SANKAR, N. R.; PRABHU, B. S.. **APPLICATION OF FUZZY LOGIC TO MATRIX FMECA.** American Institute of Physics, v. 20, p. 1987-1994, 2001.

SCHWARZWALD, Richard. **Integração vertical e as empresas colaborativas no futuro do setor automobilístico: A capacidade de integração das áreas técnicas no desenvolvimento preventivo de fornecedores, baseado no risco que os mesmos representam a novos projetos, como principal fator de vantagem competitiva sustentável.** São Paulo: EAESP/FGV, 2003. 165 p.

SILVA, E. L. e MENEZES, E. M.. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 3a edição revisada e atualizada – Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001., 121p.

SILVA, S. L. e ROZENFELD H.. **Modelo de avaliação da gestão do conhecimento no processo de desenvolvimento do produto: aplicação em um estudo de caso.** Revista Produção v. 13, nº 2 – 2003.

SOUZA, M. F. S.; MOORI, R. G. e MARCONDES, R. C.. **Sincronização das Expectativas dos Clientes com a Prática dos Fornecedores Quanto a Custos, Confiabilidade e Qualidade.** ENANPAD2003 - gol – 0976.

SPENCER, C. M. and RHEE S. J.. **Comparison study of electromagnet and permanent magnet system for an accelerator using cost-based failure modes and effects analysis.** IEEE Transactions on applied superconductivity, vol. 14, no. 2, June 2004.

STAMATIS, D. H.. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution.** ASQC Quality Press-Technometrics. , v. 38 n. 1, p. 80. February/1996.

SWIFT, K. G.; RAINES, M.; BOOKER, J. D.. **Tolerance optimization in assembly stacks based on capable design.** Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 213 Part B – 1999

SWIFT, K. G.; RAINES, M.; BOOKER, J. D.. **Advances in probabilistic design: manufacturing knowledge and applications.** Proc. Instn. Mech. Engrs., v. 215, Part B, p. 297-313, 2001.

TEOH, P. C.; CASE, K.. **Modelling and reasoning for failure modes and effects analysis generation.** Proc. Instn. Mech. Engrs, v. 218, Part B, p. 289-300, Engineering Manufacture, 2004.

THOMPSON, G.; PARKINSON, H. J.. **Systematic approach to the planning and execution of product remanufacture.** Proc. Instn. Mech. Engrs, v. 218, Part E, p. 1-13, Process Mechanical Engineering, 2004

VERGARA, Sylvia Constant. **Gestão de Pessoas**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.

YIN, Robert K.. **Estudo de caso – Planejamento e Métodos**. 2ª ed. São Paulo: Bookman, 2001.

YOSHIMURA, M.; IZUI, K; FUJIMI. **Optimizing the decision-making process for large-scale design problems according to the criteria interrelationships**. International Journal Product Res., v. 41, n. 9, p. 1987-2002, 2003.

YACOB, S. M.; AMMAR, H.H.. **A Methodology for Architecture-Level Reliability Risk Analysis**. IEEE Transactions on software engineering., v. 28, n. 6, p. 529-547, June/2002.

YOUNG, R. I. M.; CANCEGLIERI, O. **Manufacturing information interactions in data model driven design**. Proc. Instn. Mech. Engrs., v. 213 – Part B, p. 527-532, 1999.

YOUNG, R. I. M.; CANCEGLIERI, O.. **A multi-viewpoint in design for manufacture of injection moulding products**. XVI Congresso Brasileiro de Eng. Mecânica - Engenharia para o novo milênio, 2001, Uberlândia. XVI Congresso Brasileiro de Eng. Mecânica - Engenharia para o novo milênio, 2001. v. 1, p. 1-8.

YU, Z.; YAN, H. and CHENG, T. C. E., **Benefits of information sharing with supply chain partnerships**. Industrial Management & Data Systems, 101/3 [2001] 114±119, # MCB University Press <http://www.emerald-library.com/ft>

ZANCUL, Eduardo; Rozenfeld, Henrique. **Engenharia simultânea**.

DisponívelOem:<http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_p_ort/pag_conhec/fmeav2.html>. Acesso em: 29 mar. 2005.

ZHAO, X.; XIE, J. **Forecasting errors and value of information sharing in a supply chain**. International Journal Product Res., v. 40, n. 2, p. 311-335, 2002.