ALESSANDRO SANTANA

ENGENHARIA DO VALOR ASSOCIADA AO DFMEA NO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

São Paulo

2006

ALESSANDRO SANTANA

ENGENHARIA DO VALOR ASSOCIADA AO DFMEA NO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Automotiva (Mestrado Profissionalizante)

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva (Mestrado Profissionalizante).

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo
2006

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 14 de dezembro de 2006.

Assinatura do autor_____

Assinatura do orientador_____

FICHA CATALOGRÁFICA

Santana, Alessandro
Engenharia do valor associada ao DFMEA no desenvolvimen-
to do produto / A. Santana. – ed.rev. --São Paulo, 2006.
104 p.

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenha-
ria Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1.Garantia da qualidade 2.Engenharia e análise do valor 3.De-
senvolvimento do produto I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II.t.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo constante apoio. A minha esposa Sandra, pelo incentivo e paciência, e aos meus filhos, razão de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Dr. Marcelo Massarani, pela sua paciência louvável e pela sua sábia maneira de transmitir as diretrizes necessárias para atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho, o que muito contribuiu para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A minha querida filha Daniele, razão da minha vida, que mesmo em sua pureza infantil soube me compreender.

A minha querida esposa Sandra, meu porto seguro, pela paciência incalculável, principalmente neste momento em que fecunda mais um fruto de nosso amor.

Aos meus pais Aristeu e Maria, responsáveis pela construção de meu alicerce como pessoa, pelo seu eterno amor, dedicação e incentivo à educação.

A Dura Automotive Systems do Brasil Ltda, pela credibilidade e apoio na realização deste trabalho.

A meu colega de trabalho e amigo Valdir Souza que, de modo direto ou indireto, cooperou decisivamente para a conclusão deste trabalho.

A Walter de Oliveira, detentor de vasta cultura, a quem tenho profundo respeito e admiração, responsável em fornecer-me a tranqüilidade necessária para que eu pudesse estruturar e concluir este trabalho.

E a Deus sobre todas as coisas.

RESUMO

O presente trabalho propõe uma nova metodologia para elaboração do DFMEA (*Design Failure Modes and Effects Analysis* - Análise dos Efeitos e Modos de Falha do Projeto) utilizando as técnicas da EV (Engenharia do Valor) para determinação das funções do produto. Para isto, o trabalho é estruturado de forma que os conceitos fundamentais do DFMEA e EV sejam vistos individualmente e, em um segundo momento, mostra a intersecção dessas técnicas, surgindo assim a referida metodologia, batizada de DFFMEA (*Design Function Failure Modes and Effects Analysis* - Análise dos Efeitos e Modos de Falha para a Função do Projeto). A proposta é validada através da aplicação de três estudos de casos, cujo resultado objetivo é a redução do tempo de desenvolvimento do DFMEA e a otimização da mão-de-obra intelectual. Resultados subjetivos também são apresentados, como incentivo à criatividade. O trabalho pretende, igualmente, divulgar as técnicas da metodologia da EV dentro da organização, incentivando o seu uso e possibilitando ganhos financeiros.

Palavras chave: Garantia da qualidade, engenharia e análise do valor, desenvolvimento do produto, DFMEA.

ABSTRACT

Present work proposes a new methodology to do DFMEA (Design Failure Modes and Effects Analysis) using Value Engineering techniques in order to obtain the product functions. For this purpose, the work is structured in such a way that DFMEA and EV basic concepts are examined individually and, in a second moment, it exhibits the intersection of these techniques, when above mentioned methodology named DFFMEA (Design Function Failure Modes and Effects Analysis) appears. The proposal has been validated through the application of three studies of cases, which objective results are the time reduction for development of DFMEA and the optimization of intellectual labor. Subjective results are also brought out, as an incentive to creativity. The work equally intends to spread the EV methodology techniques throughout the organization, stimulating its use and making possible financial profits.

Keyword: Quality assurance, value and analysis engineering, product development, DFMEA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fases o DFMEA 23
Figura 2 – Fases o DFMEA - preparação..... 24
Figura 3 – Fases o DFMEA - informação..... 25
Figura 4 – Diagrama de blocos de um pára-brisa 27
Figura 5 – Diagrama p 28
Figura 6 – Diagrama de blocos genérico..... 30
Figura 7 – Parte de um diagrama de blocos genérico 31
Figura 8 – Seqüência de um processo de FMEA 34
Figura 9 – Exemplo para determinação do NPR..... 39
Figura 10 – Engenharia do Valor x Análise do Valor [14]. 42
Figura 11 – Fases da E.V. 45
Figura 12 – Conceitos fundamentais da metodologia [15] 48
Figura 13 – Atividades envolvidas no processo de definição da função. 50
Figura 14 – Modelo visual da metodologia proposta..... 58
Figura 15 – Alavanca de mudanças de marchas 62
Figura 16 – Tempo de preparação do DFMEA da alavanca de mudanças de marchas 63
Figura 17 – Diagrama de blocos / fronteiras..... 67
Figura 18 – Diagrama-p esquemático para ilustração..... 68
Figura 19 – Esquema para a fase de função..... 70
Figura 20 – Trecho do DFFMEA da alavanca de mudanças de marcha..... 74
Figura 21 – Tempo de preparação do DFMEA da alavanca de mudanças de marcha 75
Figura 22 – Perfil para absorver impacto..... 77
Figura 23 – Cabo de acionamento da embreagem 78
Figura 24 – Tempo de preparação do DFMEA do cabo de acionamento da embreagem 79
Figura 25 – Trecho do DFFMEA do cabo de acionamento da embreagem..... 84
Figura 26 – Tempo de preparação do DFMEA do cabo de acionamento da embreagem 85

Figura 27 – Cabo de acelerador 87
Figura 28 – Trecho do DFFMEA do cabo de acelerador..... 92
Figura 29 – Tempo de preparação do DFMEA do cabo de acelerador..... 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Apêndice A – objetivos da qualidade do FMEA de projeto [7] 22
Tabela 2 – Análise de interface [5] 31
Tabela 3 – Lista de funções [5] 32
Tabela 4 – Critério de avaliação de severidade sugerido para FMEA de projeto DFMEA)[7] 35
Tabela 5 – Critério de avaliação de ocorrência sugerido para FMEA de projeto (DFMEA) [7] 36
Tabela 6 – Critério de avaliação de detecção sugerido para FMEA de projeto (DFMEA) [7] 36
Tabela 7 – Lista de funções típicas [14] 49
Tabela 8 – Lista de partes e funções 72
Tabela 9 – Lista de partes e funções 82
Tabela 10 – Lista de partes e funções 90

.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APQP	*Advanced Product Quality Planning* – Planejamento Avançado da Qualidade do Produto
AV	Análise do Valor
CEP	Controle Estatístico do Processo
D	Detecção
DFFMEA	*Design Function Failure Modes and Effects Analysis* - Análise dos Efeitos e Modos de Falha para a Função do Projeto
DFMEA	*Design Failure Mode and Effect Analysis* – Análise dos Efeitos e Modos de Falha para o Projeto
DIN	*Deutsches Institut für Normung* - Instituto Alemão de Padronização
DVP	*Design Validation Plan* – Plano de Validação do Projeto
DVP&R	*Design Validation Plan & Results*– Plano de Validação do Projeto & Resultados
EV	Engenharia do Valor
FAST	*Function Analysis System Techniques* – Técnica de Diagramação para Análise da Função
FMEA	*Failure Mode and Effect Analysis* - Análise dos Efeitos e Modos de Falha
ISO/TS	*International Organization for Standardization / Technical Specification* – Organização Internacional de Padronização / Especificação Técnica
MSA	*Measure Systems Analysis* – Análise de Sistemas de Medição
NPR	Número de Prioridade de Risco
O	Ocorrência
PAPP	Processo de Aprovação de Peças de Produção
POM	Poliacetal
PUR	Poliuretano
QS	*Quality Systems* – Sistema da Qualidade
QSA	*Quality Systems Analysis* – Análise do Sistema da Qualidade

S	Severidade
SAVE	*Society of American Value Engineers* – Sociedade Americana dos Engenheiros do Valor
SJVE	*Society of Japanese Value Engineers* - Sociedade Japonesa dos Engenheiros do Valor
VDI	Verein Deutscher Ingenieure - Associação de Engenheiros Alemães

LISTA DE SÍMBOLOS

Ⓓ	Classificação para itens de segurança
▽	Classificação para itens Críticos
*	Classificação para itens Significativos
◊	Classificação para itens com Interface com o Cliente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

1.1. Objetivo 17

1.2. Estruturação 17

2. ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA DO PROJETO (DFMEA) 18

2.1. Análise dos Efeitos e Modos de Falha (FMEA) 18

2.2. Objetivos do DFMEA e suas fases 21

2.2.1. Preparação 24

2.2.2. Informação 25

2.2.2.1. Limites do Projeto – Diagrama de Blocos 26

2.2.2.2. Diagrama de Parâmetros 28

2.2.3. Função 29

2.2.4. Formulário de FMEA 32

2.2.4.1. Modo de falha 37

2.2.4.2. Efeito potencial da falha 37

2.2.4.3. Causas e mecanismos potenciais de falha 37

2.2.4.4. Controles atuais 38

2.2.4.5. Priorização dos riscos 38

2.2.5. Determinação da ação 39

3. ENGENHARIA DO VALOR 41

3.1. Histórico 42

3.2. Metodologia da Engenharia do Valor 44

3.2.1. Preparação 46

3.2.2. Informação 47

3.2.3. Função 47

3.2.3.1. Divisão do produto em partes 50

3.2.3.2. Determinação das funções de cada parte 51

3.2.3.3. Lista das funções 51

3.2.3.4. Determinação das especificações 52

3.2.4. Análise funcional 52
3.2.5. Diagnóstico 53
3.2.6. Alternativas 54
3.2.7. Escolha das alternativas propostas 54
3.2.8. Implementação das propostas 55

4. METODOLOGIA PROPOSTA 56

4.1. O objetivo 56
4.2. O método 57
4.2.1. Fase comum 59
4.2.2. Fase da EV 59
4.2.3. Fase do DFMEA 60

5. ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO DE DFFMEA 61

5.1. I – Estudo de caso: Alavanca de mudanças de marcha 62
5.1.1. Descrição do produto 62
5.1.2. Processo atual 62
5.1.3. Aplicação da metodologia 64
5.1.4. Fase da informação 64
5.1.4.1. Diagrama de blocos / fronteiras 65
5.1.4.2. Diagrama-p 68
5.1.5. Fase da função 69
5.1.5.1. Divisão do produto em partes 70
5.1.5.2. Lista de funções 71
5.1.5.3. Especificação da função 73
5.1.6. Fase do DFFMEA 73
5.1.7. Economia obtida para a empresa 75
5.2. II- Estudo de caso: Cabo de acionamento da embreagem 77
5.2.1. Descrição do produto 77
5.2.2. Processo atual 78
5.2.3. Aplicação da metodologia 79
5.2.4. Fase da função 80
5.2.4.1. Divisão do produto em partes 80

5.2.4.2. Lista de funções 81
5.2.4.3. Especificação da função 83
5.2.5. Fase do DFFMEA 83
5.2.6. Economia obtida para a empresa 85
5.3. III-Estudo de caso: Cabo de acelerador 86
5.3.1. Descrição do produto 86
5.3.2. Processo Atual 87
5.3.3. Aplicação da metodologia 87
5.3.4. Fase da função 88
5.3.4.1. Divisão do produto em partes 88
5.3.4.2. Lista de funções 89
5.3.4.3. Especificação da função 91
5.3.5. Fase do DFFMEA 91
5.3.6. Economia obtida para a empresa 93
5.4. Análise dos casos 94

6. CONCLUSÃO 96

6.1. Vantagens da nova abordagem 96
6.2. Desvantagens da nova abordagem 98
6.3. Contribuições 99
6.4. Trabalhos futuros 100

REFERÊNCIAS 102

1. INTRODUÇÃO

O desempenho e o custo são as maiores preocupações de todas as empresas que querem sobreviver [1]. Assim, o mercado automobilístico tem exigido de seus fornecedores uma progressiva redução no tempo de desenvolvimento de projetos para, dessa forma, atender às necessidades dos consumidores cada vez mais apuradas e neutralizar a concorrência. Do ponto de vista dos desenvolvedores de produtos, observou-se que um fator tem-se somado a estas exigências, chamado aqui de robustez do projeto, que, em outras palavras, significa fazer certo da primeira vez, ao menor custo possível, com a qualidade desejada e que apresente algum diferencial ao mercado.

Algumas décadas atrás, o processo de aprovação do conceito de um veículo até seu lançamento em mercado poderia levar até dez anos. Hoje, se está limitado a três ou quatro anos, muitas vezes menos, dependendo da extensão das novidades que o veículo apresenta [2]. A questão, portanto, é otimizar o uso do recurso criativo das empresas para permitir que importantes técnicas sejam sistematicamente utilizadas de forma a garantir que os projetos sejam feitos no menor tempo possível e com a qualidade necessária.

Uma destas técnicas, portanto, é o DFMEA – (*Design Failure Mode and Effect Analysis* – Análise dos Efeitos e Modos de Falha para o Projeto), que oferece uma abordagem estruturada para prevenção de problemas relacionados ao projeto do produto, bem como as suas causas e seus efeitos. O DFMEA é um diário de bordo para toda a vida do produto e a sua estrutura permite realizar trabalhos de melhoria contínua.

Outra técnica de importante relevância é a Engenharia do Valor (EV) que, através do uso de sua metodologia, obtém a reestruturação do problema, entenda-se aqui projeto, ou seja, é responsável pela completa reorientação dos esforços intelectuais para uma direção de máximo resultado. Definir o projeto do produto com base nas funções que este deve ou deveria desempenhar e não mais através de suas partes componentes. A partir desta redefinição torna-se possível a eliminação de

funções obsoletas e busca alternativas mais econômicas e criativas para o desempenho das funções reconhecidamente necessárias.

O DFMEA, mesmo sendo uma ferramenta de uso obrigatório para os signatários da IATF *International Automotive Task Force* e seus fornecedores, não possuía muita aderência nas empresas Brasileiras pelo simples fato de não haver muitos projetos desenvolvidos aqui. Atualmente, esta realidade vem se alterando e, portanto, o interesse pelo domínio da técnica também.

A relevância desta técnica, porém, não minimiza os relatos que afirmam que o DFMEA é uma atividade tediosa e que exige muito tempo [3]. Baseando-se na forma como são construídos os DFMEAs na empresa, base desta pesquisa, nota-se que uma das atividades que demandam tempo para sua correta preparação é a determinação das funções do produto. A forma pela qual as funções do produto são definidas pela metodologia do DFMEA é de maior complexidade que a forma da EV e, portanto, mais lenta que esta última.

Ao citar a EV, esta ferramenta pouco difundida na empresa base da pesquisa, logo se imagina que mais recurso humano será despendido, ou os atuais recursos terão que se desdobrar para cumprir mais esta necessidade, porém, ao se ter a EV intrínseca a uma atividade já existente (DFMEA) e esta estar contida dentro das atividades necessárias do APQP, a proposta será justamente a redução do trabalho da equipe, e ainda aumentar o seu estímulo criativo pelo fato de trabalhar com a EV.

Com a abordagem proposta, não será necessário que a alta administração apóie a metodologia, ou que o cliente "venda" testes de durabilidade, pois estes dois fatos já existem quando se está desenvolvendo um programa de uma nova plataforma.

Assim, o problema examinado nesta pesquisa trata da apresentação das ferramentas de desenvolvimento do projeto chamadas EV e Análise dos Efeitos e Modos de Falha em Projeto (DFMEA) de forma isolada e, apoiado em estudos de caso, propõe uma nova metodologia onde a EV é utilizada durante a elaboração do próprio DFMEA, permitindo que ocorra uma redução do tempo total de

desenvolvimento, e indiretamente dar subsídios aos engenheiros e projetistas para reestruturarem o projeto, pensando em termos de funções.

1.1. Objetivo

O propósito deste trabalho é apresentar uma forma de elaboração do DFMEA (*Design Failure Mode and Effect Analysis),* que reduza o seu tempo total de confecção, utilizando a técnica da EV.

1.2. Estruturação

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 2: introduz o conceito de DFMEA e apresenta subsídios que permitem interpretar toda a metodologia. Antes, porém, apresenta uma visão geral do FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis).*

Capítulo 3: introduz o conceito de EV, aborda o histórico desta técnica e a metodologia de aplicação.

Capítulo 4: apresenta o conceito da nova metodologia chamada DFFMEA (*Design Function Failure Mode and Effects Analysis)* que é a utilização de uma parte da EV no DFMEA

Capítulo 5: são citados três estudos de casos que utilizaram a metodologia proposta no capítulo anterior, e apresenta o resultado obtido em cada deles.

Capítulo 6: descreve as considerações finais de todo o escopo do trabalho.

2. ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA DO PROJETO (DFMEA)

A Análise dos Efeitos e Modos de Falha em Projeto (DFMEA) é, principalmente, uma abordagem estruturada para prevenção de problemas relacionados ao projeto do produto, suas causas e seus efeitos.

O DFMEA envolve todos os itens da estrutura do produto até as menores partes como subsistemas ou componentes, identificando os modos e causas potenciais de falha gerados por cada peça, determinando os controles atuais (ou soluções) para as causas, seguidos pelos efeitos da falha para a montagem do produto e usuários finais. Os riscos dos efeitos são estimados [4]

O DFMEA é uma categoria do FMEA voltada ao projeto do produto. As outras categorias citadas pela Ford Motor Company [5] são FMEA de processo e FMEA do conceito, que tratam do processo de fabricação e do conceito do produto ou processo respectivamente. Existem ainda, segundo Palady [6], outras subcategorias, que foram criadas a partir destas, como o FMEA de sistema e subsistemas.

Portanto, antes de avançar com o DFMEA, é conveniente apresentar o FMEA e a partir dele voltar ao entendimento do FMEA de projeto.

2.1. Análise dos Efeitos e Modos de Falha (FMEA)

O FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), pela interpretação de Palady [6], é uma ferramenta de prevenção de problemas, uma abordagem eficiente para coordenação de novos avanços ou incorporação de revisões e um diário do projeto, processo ou serviço.

De forma semelhante descreve o manual de FMEA da QS9000 [7]:

> [...] grupo sistemático de atividades destinado a: (a) reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto/processo e os efeitos desta falha, (b) identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrência de uma falha potencial e, (c) documentar todo o processo. Isto é complementar no processo de definição do que o projeto ou o processo deve fazer para satisfazer o cliente.

Outra importante definição para FMEA está contida no Manual da Ford [5]: 'FMEA identifica e confirma as características críticas e significativas potenciais para serem tratadas por mudanças de projeto, processo ou inclusão nos planos de controle e processo.O FMEA avalia a adequação dos controles propostos e o necessário para minimizar riscos por mudanças usando o plano de validação de projeto ou o plano de controle de manufatura. O objetivo da avaliação, e das ações propostas, é prevenir falhas que atinjam o cliente, melhorando a sua satisfação. '

O FMEA utiliza-se de um formulário padrão sugerido pela QS9000 [7] e terá um capitulo dedicado a este tema.

Para que um FMEA tenha eficácia, a recomendação de Palady [6] é que exista:

a) Planejamento do FMEA;

b) Listagem dos modos de falha, causa e efeitos;

c) Priorização e isolamento dos modos de falha mais importantes;

d) Interpretação ou leitura dos resultados;

e) Acompanhamento das ações necessárias.

O item (a), da seqüência anterior, deverá receber uma atenção especial, pois será o planejamento antes da elaboração e implementação do formulário padrão de FMEA, que fará que o máximo de considerações e observações estejam presentes na conclusão do trabalho, prevenindo assim o maior número possível de falhas.

O FMEA deve ser capaz de representar com retidão os interesses de todos os grupos que influenciam a qualidade e a confiabilidade finais do projeto, processo ou serviço. O cliente e o fornecedor devem estar representados.

A determinação da ABNT ISO/TS 16949 [8] no item 7.3.1.1, faz menção ao parágrafo anterior, ou seja, determina que o FMEA seja realizado por abordagem multidisciplinar.

O FMEA, juntamente com outras técnicas, passou a ser utilizado quando a QS 9000:1998 aumentou de modo significativo a quantidade de requisitos (seção I, baseada na ISO 9000), englobando os requisitos específicos dos clientes (seção II). As outras técnicas, além do FMEA, foram: APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto); CEP (Controle Estatístico do Processo); MSA (Análise de Sistemas de Medição); PAPP (Processo de Aprovação de Peças de Produção) e QSA (Avaliação do Sistema da Qualidade) [9].

Para a indústria de autopeças, uma data marcante para o inicio do uso do FMEA ocorreu quando, em julho de 2001, o FMEA tornou-se uma ferramenta de uso obrigatório para os fornecedores da Ford, General Motors e Chrysler [7].

A maior adesão das indústrias automotivas, porém, não garante que estas empreguem as técnicas de FMEA apropriadamente e se alimentem com seus autênticos benefícios. Muitas incluíram apenas o formato e tabelas do FMEA de projeto e processo em seu manual de qualidade [10]. Em outras palavras, muitas empresas usam o FMEA meramente para satisfazer aos requisitos contratuais dos seus clientes [11].

Todavia, há casos de sucesso encontrados no setor automotivo, bem como em outros setores da indústria. A melhoria de qualidade obtida pela aplicação do FMEA em uma indústria do ramo alimentício [12] é um bom exemplo.

2.2. Objetivos do DFMEA e suas fases

A categoria do FMEA que trata do Projeto do produto é o DFMEA (*Design Failure Modes and Effects Analysis*) conforme citação anterior. O DFMEA trata das atividades de *design,* tais como o projeto do produto, o de máquinas ou o projeto de ferramentas.

Deve-se estabelecer, nos estágios iniciais do projeto do produto, um sistema de qualidade eficiente e amplo. O FMEA de projeto é, portanto, uma ferramenta apropriada para este fim [13].

Os objetivos do DFMEA, de uma forma mais ampla, estão devidamente citados pelo Manual da QS9000, terceira edição [7], como apresentados na tabela 1 a seguir.

Quanto às suas fases, estas estão esquematicamente apresentadas na figura 1, onde, durante os próximos subcapítulos, serão apresentados os principais conceitos que envolvem cada uma destas fases.

Tabela 1 – Apêndice A – objetivos da qualidade do FMEA de projeto [7]

APÊNDICE A

Objetivos da Qualidade de FMEA de Projeto

Nota: Requisitos de Programas Específicos têm precedência

1. MELHORIAS DE PROJETO	A FMEA direciona as Melhorias de Projeto como o objetivo principal
2. MODOS DE FALHA DE ALTO RISCO	A FMEA aborda todos os Modos de Falha de alto risco, como identificados pela equipe de FMEA, com Plano de Ações executáveis. Todos os outros modos de falha são considerados.
3. PLANO A/D/V OU DVP & R	A Análise/Desenvolvimeto/Validação (A/D/V), e/ou Relatório e Plano de Verificação de Projeto (DVP&R) considera os modos de falha da FMEA
4. INTERFACES	O escopo de FMEA inclui integração e interface ao modo de falha nos diagramas de bloco e análise.
5. LIÇÕES APRENDIDAS	A FMEA considera todas as principais "lições aprendidas" (tais como: garantia alta, campanhas, etc) como entrada para a identificação do modo de falha.
6. CARACTERÍSTICAS CHAVES OU ESPECIAIS	A FMEA identifica candidatos para Características Chaves apropriadas como entrada para o processo de seleção das Características Chaves, conforme a política da companhia, se aplicável.
7. TEMPO	A FMEA é completada durante a "Janela de Oportunidade" onde ela poderia mais eficientemente impactar no projeto do produto.
8. EQUIPE	As pessoas certas participam como membros da equipe de FMEA durante toda a análise, e são adequadamente treinadas nos métodos da FMEA. Quando apropriado, um facilitador deveria ser utilizado.
9. DOCUMENTAÇÃO	O documento FMEA é completamente preenchido "conforme o manual", incluindo "Ações Tomadas" e novos valores de NPR.
10. USO DO TEMPO	O tempo gasto pela equipe de FMEA é utilizado de forma efetiva e eficiente, tão cedo quanto possível, resultando em valor agregado. Assumindo-se que as Ações Recomendadas são identificadas e implementadas conforme requerido.

D.F.M.E.A - Fases

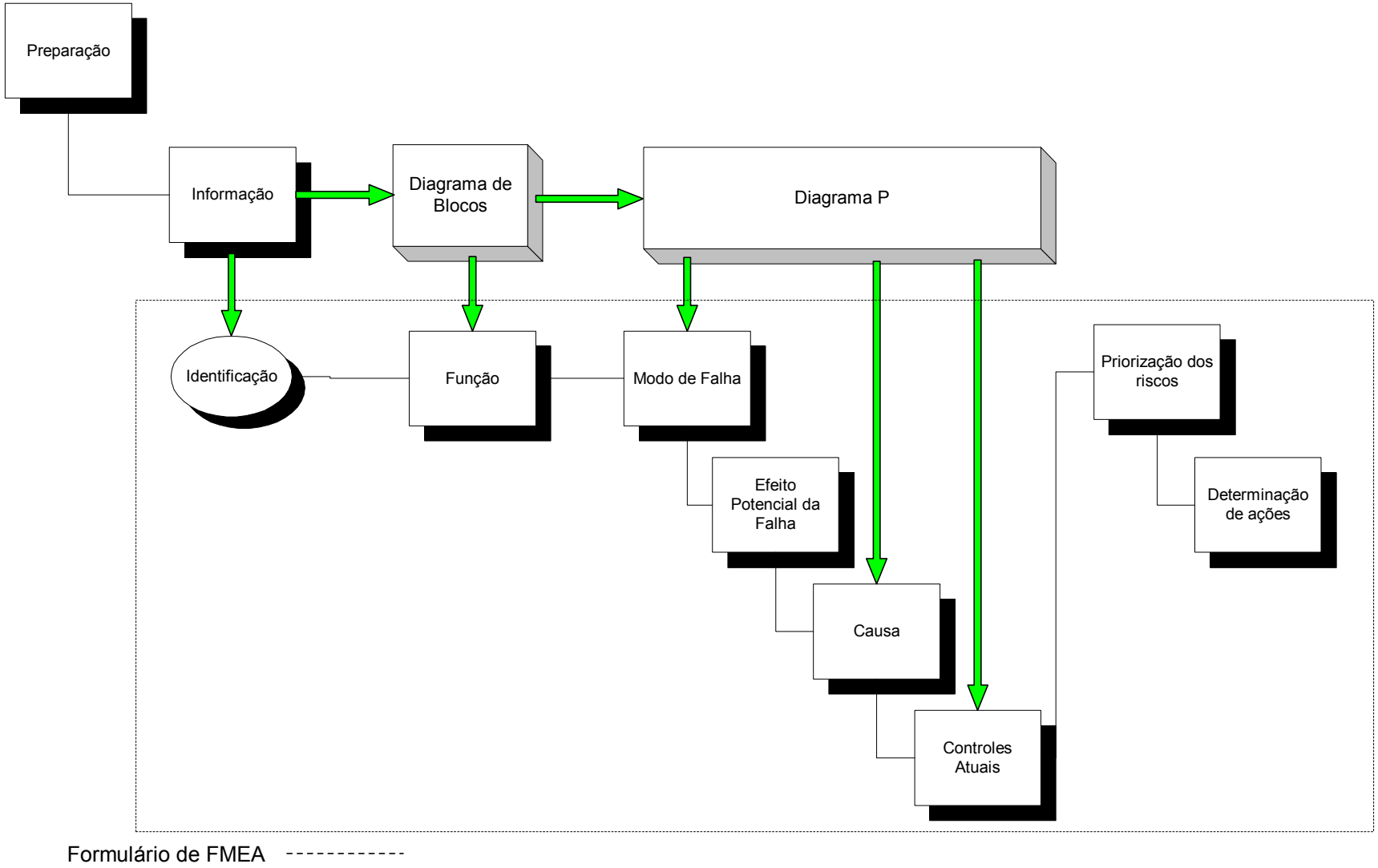

Figura 1 – Fases o DFMEA

2.2.1. Preparação

A etapa da preparação busca obter recursos e a estrutura necessária para suportar o início, andamento e conclusão dos trabalhos de DFMEA. Esquematicamente, esta etapa está dividida em atividades, conforme apresenta a figura 2.

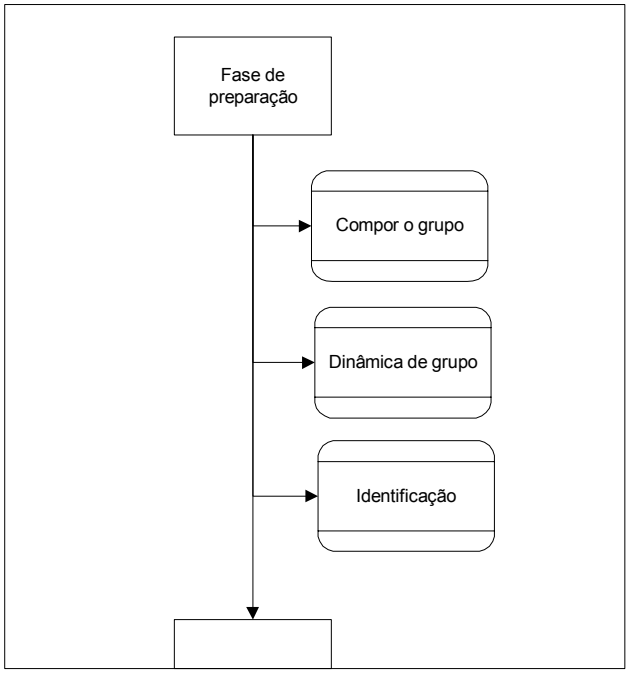

Figura 2 – Fases o DFMEA - preparação

A composição da equipe multifuncional, que irá desenvolver o trabalho, deve permitir a participação de membros de vários departamentos, baseada na habilidade de cobrir todos os aspectos da função do produto [13]. O número ótimo de participantes da equipe é de 5 (cinco) pessoas, com aptidão de trabalho em equipe e com treinamento em FMEA [14]. Esta equipe deve ter, no máximo, 2 (dois) níveis hierárquicos, e não devem nele coexistir, e também não deve haver, profissionais de elevada base teórica com outros de vivência puramente prática. Estas preocupações, principalmente as duas últimas, ajudam a aumentar a participação de todos, ampliando, portanto, a probabilidade de prever o maior número de modos de falha.

Quanto à dinâmica, as regras de como os trabalhos serão conduzidos devem ser do conhecimento de todos os participantes da equipe, horários devem ser respeitados e técnicas de dinâmica de grupo podem ser aplicadas.

A identificação das informações que possibilitarão caracterizar o assunto, as atividades, os números dos produtos, o nome da equipe com seus respectivos contatos e outras informações, será necessária para ajudar a própria manutenção do documento ou sua simples localização no futuro.

Para encerrar as atividades sobre a fase de preparação, deve-se considerar a presença de um coordenador, um profissional que seja nomeado responsável pela atividade de DFMEA na empresa.

2.2.2. Informação

A fase da informação é determinada pela obtenção dos dados de entrada. A figura 3 apresenta esquematicamente as atividades desta fase.

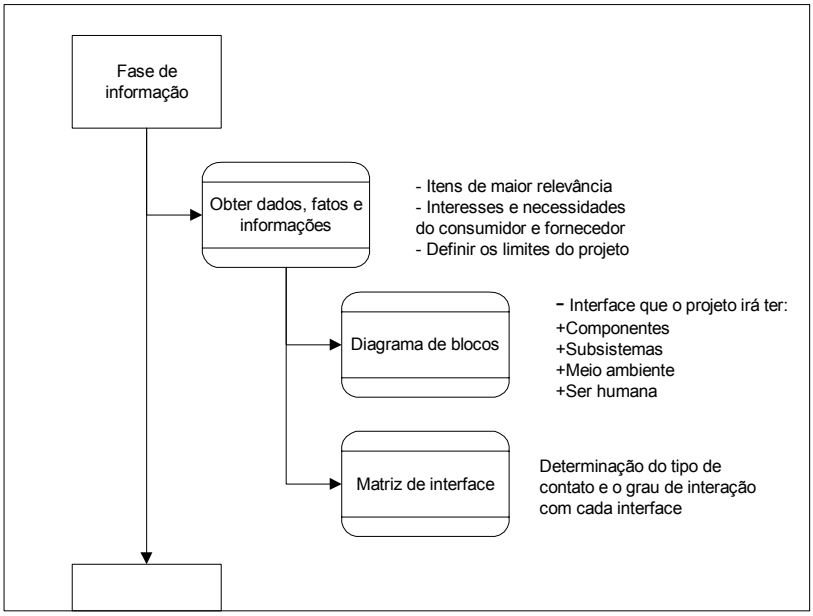

Figura 3 – Fases o DFMEA - informação

As atividades que estão contidas nesta fase são importantes para o trabalho de elaboração de um DFMEA consistente; em outras palavras, um DFMEA que contenha as análises de todas as questões que envolvem o produto o mais amplamente possível. Não saber quais os componentes que são instalados na periferia do produto, como exemplo, poderá, ao fim do projeto, resultar na impossibilidade de montagem desse produto, causando danos econômicos.

As informações para o DFMEA são as entradas e especificações do cliente [13], cabendo estender a abrangência da palavra cliente a todos os que farão uso ou manuseio do produto.

A fase da informação envolve principalmente uma profunda pesquisa nas bases de dados da empresa e do próprio cliente. Aqui se levantam os históricos de não-qualidade, reclamações, custos internos e custos de garantia.

Nos próximos subcapítulos, serão apresentadas as duas técnicas que auxiliam na obtenção de todos os dados necessários. A primeira é o diagrama de blocos, que auxilia na determinação dos limites do projeto e da função do produto; a segunda técnica é o diagrama-p, que auxilia na obtenção dos modos de falha (funcionamento intermitente, funcionamento parcial, sem funcionamento e função indesejada), fatores causadores de dano (variação peça a peça, tempo de uso, uso do cliente, ambiente externo e interações do sistema), entradas e saídas do produto e, finalmente, fatores de controle que podem ser utilizados.

2.2.2.1. Limites do Projeto – Diagrama de Blocos

Conhecido no mercado como "*Boundary Diagram*" ou diagrama de blocos ou interface, é na verdade uma ilustração gráfica das inter-relações entre os subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes, bem como com as suas "vizinhanças", que terão contato com o projeto que estará sendo desenvolvido, estendendo a análise ao ambiente de trabalho, condições de umidade, temperatura, vibração etc. [5]

O delineamento das linhas marginais é fundamental para analisarmos que influências o nosso projeto sofrerá do meio.

O diagrama de blocos também é utilizado para determinar a função do produto ou de suas inter-relações. Estas funções alimentam o diagrama-p, conforme apresentado na figura 1, e também o formulário de DFMEA. Um subcapítulo especial tratará deste tema.

A figura 4, a seguir, apresenta um diagrama de blocos, com respectivas interfaces, de um pára-brisa veicular.

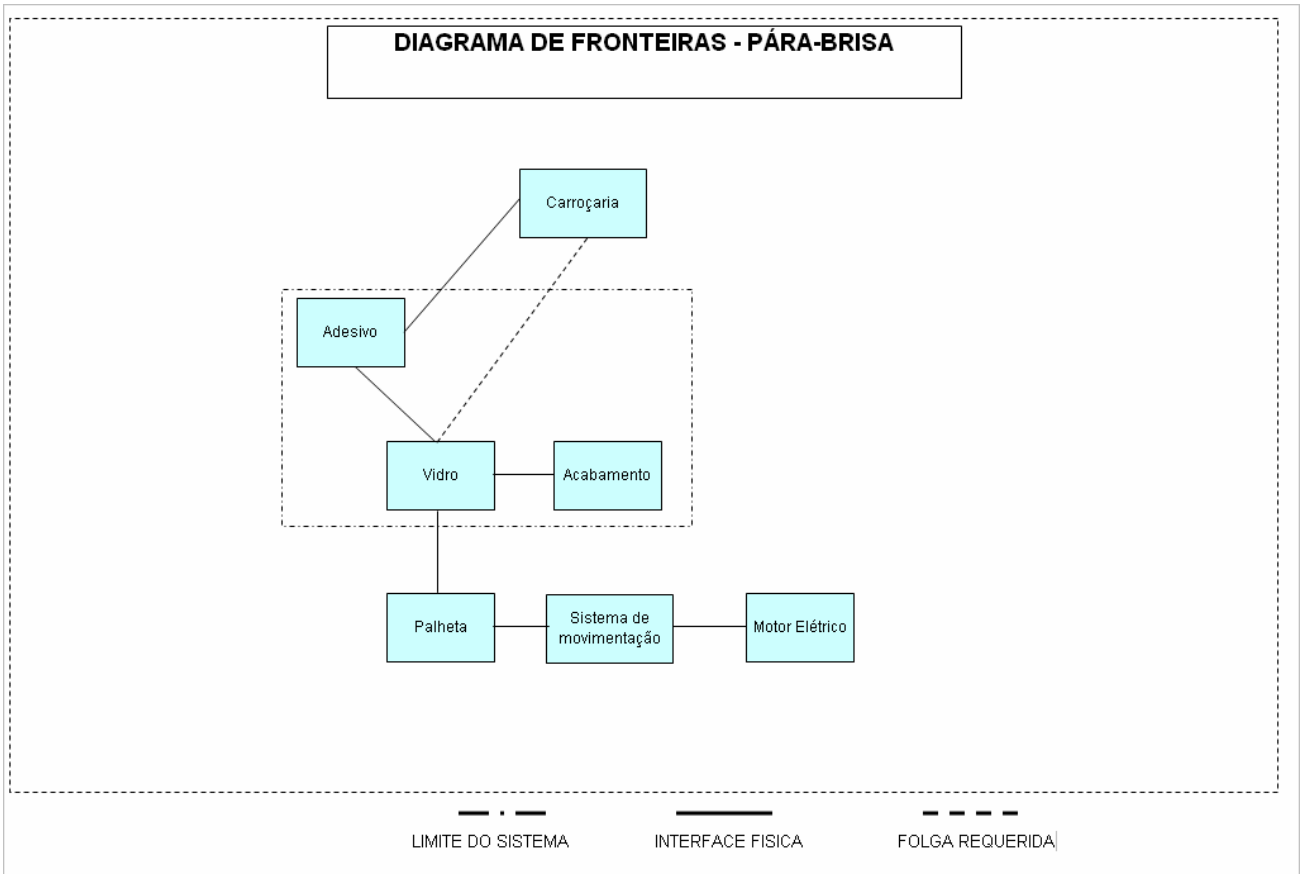

Figura 4 – Diagrama de blocos de um pára-brisa

Nota-se na figura que existe uma linha de contorno contendo os componentes: adesivo, vidro e acabamento. Esta indica os limites do projeto, ou seja, todo o seu conteúdo será desenvolvido através do DFMEA; no entanto, é fundamental que se conheçam as interfaces e o tipo de contato, como neste caso, a palheta e a carroceria, com contato físico, pois, ao fim, é o que trará funcionalidade ao conjunto.

2.2.2.2.Diagrama de Parâmetros

O diagrama de parâmetro, comumente chamado na indústria automobilística como "*P-Diagram*" ou simplesmente diagrama-p, é uma ferramenta estruturada, recomendada para identificar os sinais de entrada intencionais e os sinais de saída para o assunto sob investigação. Extrapola-se para uma análise das possíveis condições de erro, condições de controle e fatores de ruído do ponto de vista do ambiente externo, uso pelo cliente, variação de peça a peça e mudança com o uso do produto ao longo do tempo [5].

A seguir é apresentado na figura 5 um esquema de um diagrama-p.

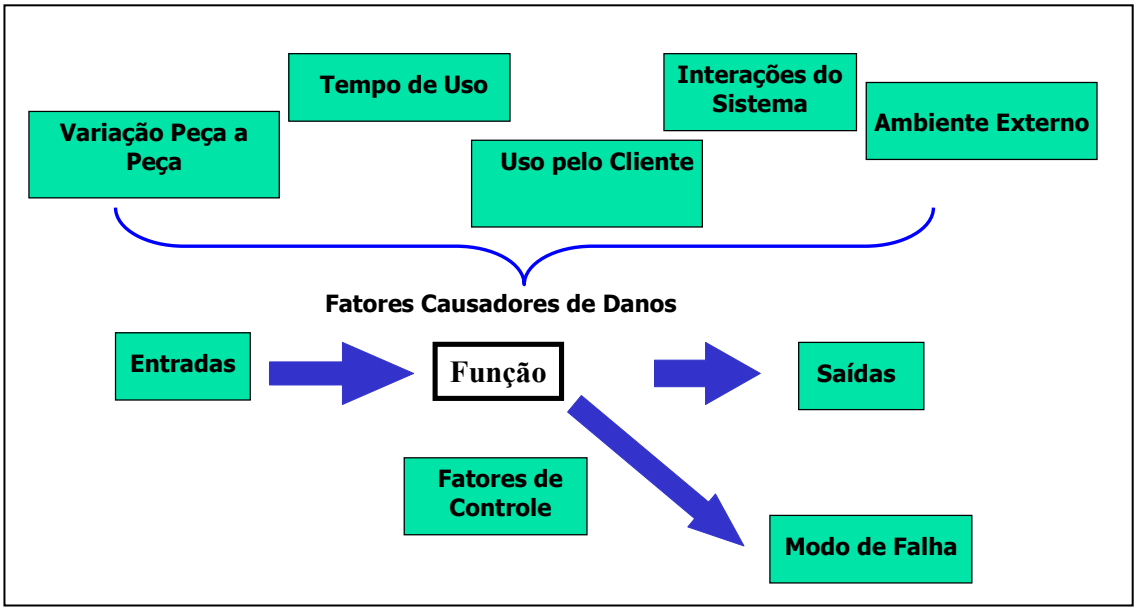

Figura 5 – Diagrama p

2.2.3. Função

A função do produto é determinada pela interpretação das inter-relações feitas no diagrama de bloco. Na figura 6, apresenta-se um diagrama de blocos genérico e pode-se observar a função f(x) destacada sob a linha que indica interface.

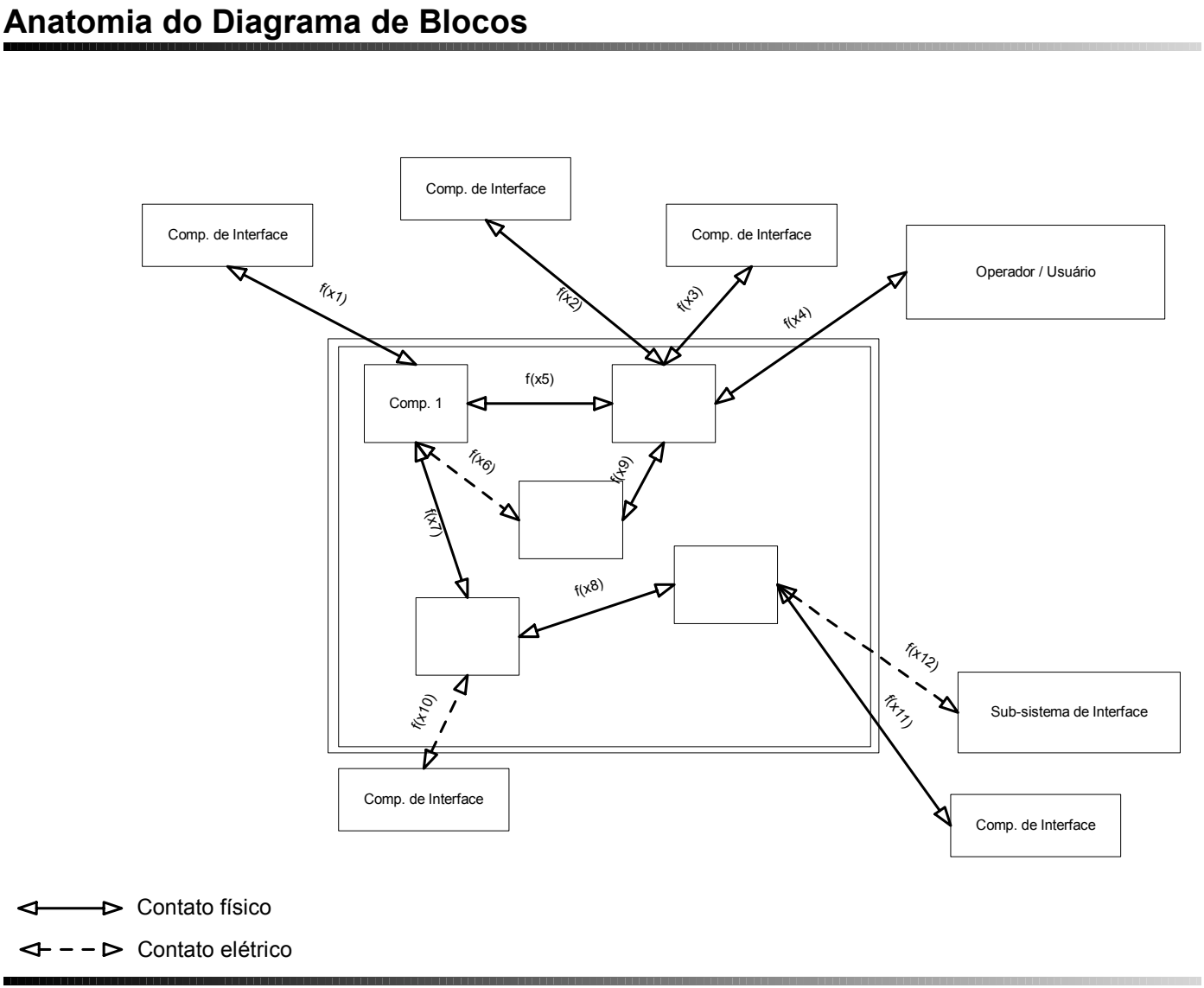

Figura 6 – Diagrama de blocos genérico

Para o exemplo genérico foram citadas 12 funções f(x), isolando-se um caso e, apresentando-se este na figura 7, avança-se para o passo seguinte, que é a determinação desta descrição desta inteface.

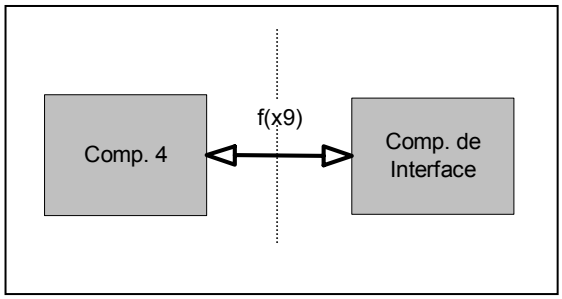

Figura 7 – Parte de um diagrama de blocos genérico

Conhecida a descrição da interface entre os dois itens, uma tabela chamada análise de interface é preenchida e, assim sucessivamente, para todos os itens. A seguir, na tabela 2, é apresentado um exemplo.

Tabela 2 – Análise de interface [5]

Análise das Interfaces

No.	Componentes de Interface	Descrição da Interface	Categoria	Obj.Fun-cional	Rang e	Unid	Requer. ID	Importa ncia	Impa cto	Cascata
9	Componente 4 para Comp. de interface	Deve vedar vazamento de fluídos ao habitáculo com 4 psi externo	Energia			psi				
		Deve vedar vazamento de ruído reduzindo 20 dBs	Energia			dB				

Com a tabela da análise das interfaces preenchida, a atividade final é interpretar a descrição da interface e preencher a tabela 3 apresentada a seguir. A partir deste ponto, a função ou as funções são utilizadas no formulário de FMEA no campo “Item/Função”

Tabela 3 – Lista de funções [5]

Item / Função

FUNÇÃO: **O que o item deve fazer?** **O que o item não deve fazer?** **Liste todas as funções e separe delas as suas especificações.**	
Descrição da Função **Verbo ativo - Substantivo**	**Especificação**

2.2.4. Formulário de FMEA

O formulário de FMEA, conforme apresentado na figura 3 (Fases do DFMEA) é uma etapa que compreende a identificação do produto, sua função, modo de falha, até a determinação de ações corretivas.

É um documento estruturado para permitir que a equipe faça uma análise sobre quais poderão ser as potenciais de falha de cada função. Registram-se, após consenso da equipe, os efeitos destas falhas, avaliando a sua severidade, suas causas e estatisticamente estimando qual a ocorrência.

Com a compreensão, pela equipe de trabalho, sobre a criticidade do problema, a segunda parte do FMEA será a determinação de ações de controle, seja preventiva ou de detecção. Estas ações objetivam maximizar a probabilidade de que, uma vez surgindo o problema, ele poderá ser detectado ou prevenido.

O formulário de FMEA permite, uma vez definida a condição do projeto, caso o resultado não seja o que a equipe deseja, utilizar planos de ações para melhorar a condição atual. Esta parte do processo permite ao documento ser conhecido como documento "vivo", ou seja, com a determinação de responsável, prazo e ação, o gerenciamento do trabalho pode ocorrer de forma clara e direta pelo uso do próprio documento.

A medição da eficácia da ação é parte integrante do formulário, ou seja, os índices inicialmente aplicados são reavaliados após a tomada da ação e índices melhores são obtidos, cabendo apenas a sua aceitação ou a elaboração de um novo plano de ação.

O fechamento do Processo de elaboração de um FMEA, não se encerra apenas no produto, processo, máquina etc, que está sendo analisado. A necessidade de trabalhos de melhoria contínua também é perfeitamente adaptada a este processo.

A multiplicação dos fatores de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) permite trazer para uma mesma base a condição de diferentes produtos ou processos. Assim, o resultado deste produto (NPR - Número de Prioridade de Risco) colocado em uma simples planilha de Excel, por exemplo, permitirá priorizar os trabalhos de forma sucessiva. A política de melhoria contínua da empresa normalmente determinará a estratégia e a forma de trabalho a serem utilizadas. Comumente, a equipe de melhoria contínua trabalha na redução dos cinco maiores índices de NPR do produto, ou dos cinco maiores índices de todos os produtos que possuem FMEA.

O formulário de FMEA propriamente dito está sugerido pelo manual de FMEA terceira edição da QS9000 [7], que se encontra na figura 8.

A divulgação das tabelas de referência do Manual da QS9000 [7] apresentadas nas tabelas 4, 5 e 6 a seguir, ajudarão ao leitor a compreender a forma pela qual são classificados os índices de severidade (s), ocorrência (o) e detecção (d).

Segundo o manual do FMEA [7], todas as tabelas devem ser utilizadas como diretriz, e a equipe deverá concordar com um critério/índice de avaliação condizente com o fenômeno, seja ele da severidade, da probabilidade de ocorrência de falha ou da sua detecção.

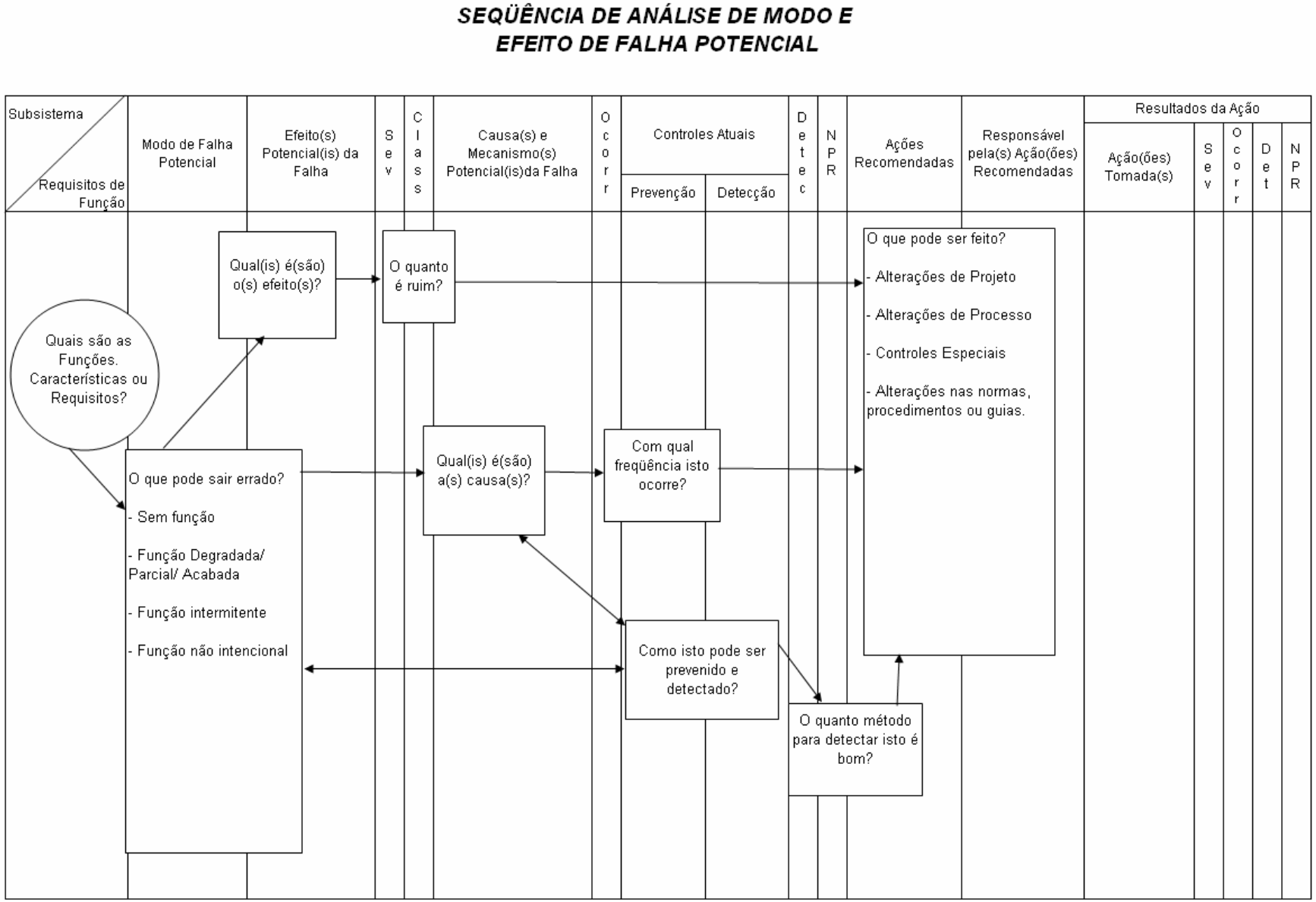

Figura 8 – Seqüência de um processo de FMEA

Tabela 4 – Critério de avaliação de severidade sugerido para FMEA de projeto DFMEA)[7]

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 do 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 do veículo e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito Alto	Veículo/item operável (perda da função primária)	8
Alto	Veículo/item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente bastante insatisfeito	7
Moderado	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito	6
Baixo	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com nível de desempenho reduzido. O cliente um tanto insatisfeito.	5
Muito Baixo	Itens de ajuste: Acabamento/Chiado e Barulho não conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais de 75%)	4
Menor	Itens de ajuste: Acabamento/Chiado e Barulho não conformes. Defeito notado por 50% dos clientes.	3
Muito menor	Itens de ajuste: Acabamento/Chiado e Barulho não conformes. Defeito notado por clientes acurados (menos de 25%).	2
Nenhum	Sem efeito perceptível	1

Tabela 5 – Critério de avaliação de ocorrência sugerido para FMEA de projeto (DFMEA) [7]

Probabilidade de falha	**Taxas de falha possíveis**	**Índice de Ocorrência**
Muito alta: Falhas Persistentes	≥100 por mil veículos/itens	10
	50 por mil veículos/itens	9
Alta: Falhas freqüentes	20 por mil veículos/itens	8
	10 por mil veículos/itens	7
Moderada: Falhas ocasionais	5 por mil veículos/itens	6
	2 por mil veículos/itens	5
	1 por mil veículos/itens	4
Baixa: Relativamente poucas fahas	0,5 por mil veículos/itens	3
	0,1 por mil veículos/itens	2
Remota: Falha é improvável	≤ 0,010 por mil veículos/itens	1

Tabela 6 – Critério de avaliação de detecção sugerido para FMEA de projeto (DFMEA) [7]

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 subseqüente 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 subseqüente modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	7
Baixa	Possibilidade baixa que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Possibilidade moderadamente alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	4
Alta	Possibilidade alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	3
Muito alta	Possibilidade muito alta que o Controle de Projeto irá detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	2
Quase certamente	O Controle de Projeto irá quase certamente detectar uma causa/mecanismo potencial e subseqüente modo de falha.	1

2.2.4.1.Modo de falha

O modo de falha para cada função é registrado, imaginando-se qual poderá ser a não-conformidade que o produto poderá ter ao longo de sua vida útil relacionada à função analisada. A consideração anterior é feita levando-se em conta que a determinada função fique degradada, ou parcialmente operacional, ou ainda funcione intermitentemente ou realize uma função não intencional. O que alimenta esta coluna no formulário de DFMEA é o diagrama-p no campo *Error States,* e o processo consiste em analisar se todos os modos de falha deste diagrama relacionados à função estão presentes no formulário de DFMEA.

2.2.4.2. Efeito potencial da falha

O efeito potencial da falha é a resposta à pergunta: Partindo do principio de que ocorrerá uma falha, qual o seu efeito? O próximo passo, através de uma classificação numérica apresentada anteriormente na tabela 2, é identificar uma nota a este efeito, quanto maior for, maior será a severidade do problema. Também, neste momento, é permitido utilizar uma classificação visual através de símbolos gráficos ou siglas, como, por exemplo, o delta invertido dentro de uma circunferência e uma letra D, (Ⓓ) significando que esta característica é um item de segurança, e a sua falha pode representar perigo de morte ao usuário.

2.2.4.3. Causas e mecanismos potenciais de falha

Na coluna do DFMEA relacionada à causa e mecanismo de falha, a equipe deve responder sobre qual ou quais poderão ser as causas que levam à falha desta função e, uma vez listadas todas as possíveis causas, qual a probabilidade de que ocorram. Elas devem também ser identificadas numericamente, significando que,

quanto maior a probabilidade de ocorrência desta causa potencial de falha, maior será a sua nota.

Deve-se também retornar ao diagrama-p para checar se todas as causas de falha estão contempladas para a função analisada.

2.2.4.4. Controles atuais

Como complemento da fase anterior, os controles atuais possuem duas diferentes abordagens: a primeira atua sobre a ocorrência, chamada de controle preventivo, que significa atuar na causa do problema, diminuindo a sua probabilidade de ocorrência; a segunda (controle de detecção), indica que, uma vez ocorrendo a falha, ela será detectada pelo processo. Da mesma forma apresentada anteriormente, aqui também existe uma identificação numérica e, neste caso, ao contrário, quanto maior for a nota, menor a probabilidade de detecção do modo de falha ou de sua causa.

A coluna de controle preventivo também dever ser alimentada pelo diagrama p e deve-se confirmar que todos os métodos de controle preventivos estão contemplados.

2.2.4.5. Priorização dos riscos

A priorização dos riscos, conforme anteriormente citado é a multiplicação dos fatores de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). A figura 9, a seguir, ilustra a forma pela qual é feita esta multiplicação.

NPR	=	Índice de Severidade	X	Índice de Ocorrência	X	Índice de Deteção

Figura 9 – Exemplo para determinação do NPR

Para o cálculo de NPR, utiliza-se o maior índice de Severidade, o Índice de Ocorrência e o menor Índice de Detecção.

Não é determinada um valor limite para a análise dos NPRs, ou seja, a utilização de um parâmetro mínimo para que tomar ações preventivas não é recomendável. Na prática, em geral, atenção especial deve ser dedicada quando a severidade é elevada independente do NPR.

2.2.5. Determinação da ação

A determinação da ação pode ser feita como uma melhoria do índice de prioridade (NPR), tornando o produto problemático menos susceptível a ser construído, ou mesmo de chegar às mãos do cliente.

A determinação de um responsável pela ação com o respectivo prazo é obrigatória.

É pratica comum realizar este trabalho apenas nos índices de NPR mais elevados, não aplicando nenhuma ação para os restantes dos índices. Como forma de priorização esta é indicada, no entanto, como desenvolvimento de um produto novo. Não podemos deixar de ter em mente como projetar um novo produto vislumbrando o atendimento de cada uma de suas funções, conscientes de sua severidade e de como poderemos prevenir e detectar as suas falhas.

Ao fim, deve-se ter como resultado desta ação novos índices de severidade, ocorrência e detecção e, portanto, novo NPR. Cabe lembrar que a alteração dos índices de severidade somente é possível com intervenções no conceito do projeto [6].

3. ENGENHARIA DO VALOR

A EV é uma metodologia que obtém a reestruturação do problema, ou seja, é responsável pela completa reorientação dos esforços intelectuais para uma direção de máximo resultado.

O projeto do produto é definido com base nas funções que este deve ou deveria desempenhar e não mais através de suas partes componentes. Esta lista de funções é estabelecida a partir da revisão da lista de funções de cada uma das partes que compõem o produto. As funções são diagnósticas e, a partir deste momento, estudam-se maneiras de desempenhar estas funções de forma que o problema inicial seja resolvido, seja ele redução de custo ou aumento de desempenho. [15].

A definição também utilizada para EV é que ela é uma aplicação sistemática de técnicas que identificam a função de um produto ou serviço, estabelecendo um valor para esta função e objetivando prover soluções que permitam exercer tal função ao menor custo total, sem degradação [16].

O "pai" da EV traz a reflexão de "Para que é feito o produto?" e "A que ele atende?", relacionando valor, função e criatividade com o intuito de elevar o "valor" de um produto ou serviço [17].

Uma última citação, a EV é definida por Heller [18], que:

> [...] é a aplicação sistemática, consciente, de um conjunto de técnicas que identificam funções necessárias, estabelecem valor para elas e desenvolvem alternativas para desempenhá-las ao menor custo possível.

O momento no qual se pode aplicar a técnica de EV é durante a concepção do projeto do produto, diferentemente da AV (Análise do Valor), que é aplicada durante a fase de produção do produto [14].

A figura 10, a seguir, objetiva apresentar as diferenças entre AV e EV do ponto de vista econômico e criativo. Nota-se que a oportunidade de obtenção de bons

resultados é justamente a da fase de concepção do produto onde, portanto, investimentos ainda não foram aplicados.

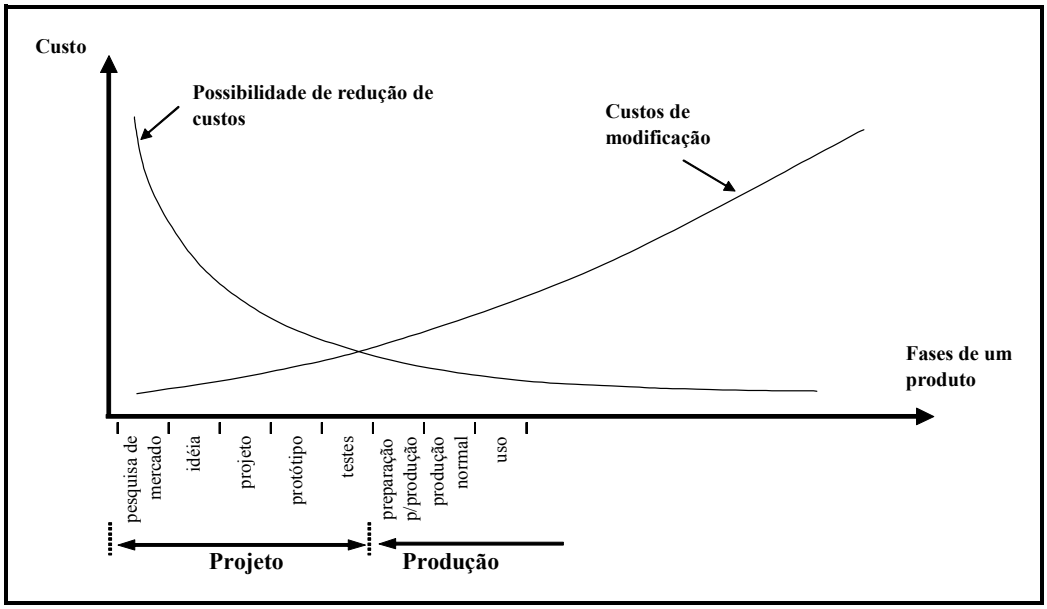

Figura 10 – Engenharia do Valor x Análise do Valor [14].

A técnica de EV será devidamente apresentada nos próximos subcapítulos; inicialmente, porém, é conveniente entender a origem e a história desta metodologia objetivando entender o que ela significou e ao mesmo tempo fazer um paralelo a sua importância nos dias atuais.

3.1. Histórico

A EV teve origem nos Estados Unidos durante a II Guerra Mundial. O Governo dos EUA determinou que matérias-primas classificadas como "nobres", tais como níquel, cromo, platina, paládio e alumínio, deveriam ficar reservadas para uso exclusivo da Indústria Bélica Americana [19]. Por esta razão, as indústrias, de maneira geral, passaram a procurar materiais alternativos para se manterem funcionando [14].

Os Executivos da General Electric Company propuseram, em 1947, a um de seus engenheiros, Lawrence Miles, que cuidasse da sistematização das técnicas que buscavam encontrar alternativas para o desempenho das funções de seus produtos ao menor custo possível.

Estavam lançadas as bases da Análise do Valor (AV), centralizadas no conceito de se estudar um produto pelas funções desempenhadas e não em termos de suas partes componentes [15].

Os executivos dos Estados Unidos perceberam as vantagens desta nova metodologia e, mesmo ao fim da Segunda Guerra, decidiram continuar os estudos e viabilizaram a sua implementação entre 1947 e 1957 [20].

A partir de 1954, o Departamento de Defesa dos EUA começou a treinar especialistas em Análise do Valor. Em 1955, Miles foi convocado pelo Exército para dar assistência ao programa de implantação de Análise do Valor no Arsenal de Wateruliet.

Em 1959, foi fundada a SAVE – *Society of American Value Engineers* – Sociedade Americana de Engenharia do Valor, tendo Miles como seu primeiro presidente.

Nesse mesmo ano, foi incluída a Análise do Valor como cláusula obrigatória nos contratos assinados pelo Pentágono, através de uma decisão tomada por Robert Macnamara, então Secretário de Defesa dos EUA [14].

A partir de então, a EV foi gradativamente sendo incorporada no governo americano, culminando com a publicação da resolução 172 de 12 de maio de 1977:

"*A Análise do Valor é um método comprovado de conservar energia, melhorar os serviços e economizar dinheiro ... sempre aplicável quando há uma função e método de medi-la ... que rende para cada dólar investido US$ 12,84 em média ... que apresentou sucesso na indústria privada gerando lucros adicionais e melhores produtos e serviços ... resolve que todos os Ministérios e Agências governamentais devem utilizar sempre que possível a AV para obter o máximo de economia e eficiência".* [15]

A Análise do Valor foi difundida na Europa e Japão a partir de 1960. Na Alemanha, foi criada uma Norma Especial para Análise do Valor – DIN 69910 – VDI 2801. No Japão, o impulso e o interesse dados a esta técnica foram significativos. Surgiu em 1965 a SJVE – *Society of Japanese Value Engineers* – Sociedade Japonesa de Engenheiros do Valor [14].

O fato decisivo para o sucesso da difusão maciça das idéias foi o apoio e a participação do Instituto de Administração de Empresas de Tóquio. Várias empresas treinaram os seus funcionários com essa metodologia, pois elas queriam o envolvimento das pessoas nesse processo [21], além de outro fato importante, o apoio de diversos professores da Universidade de Tóquio seguindo a mesma linha de raciocínio proposto por Miles, o pai da AV/EV [15]

No Brasil, a Análise do Valor tem seus primeiros registros em 1964, e a partir desta data iniciou-se a sua utilização por grandes e médias empresas. Apesar do sucesso no retorno do investimento, ela ainda não ganhou a mesma força que tem nos países desenvolvidos [14].

Em julho de 1984, a Associação Brasileira de Engenharia e Análise do Valor foi fundada com a finalidade de divulgar essa técnica no Brasil [22]

A busca de menores custos e o incremento da função do produto para o usuário, leva cada vez mais à utilização da técnica de AV/EV como ferramenta que, aliada a outras técnicas e filosofias, propicia condições de competitividade às organizações frente à concorrência de mercado [23]

3.2. Metodologia da Engenharia do Valor

A EV poderá ter os seus principais conceitos compreendidos nos próximos subcapítulos, porém a figura 11, a seguir, ajudará a se ter uma visão ampla das atividades que a compõem.

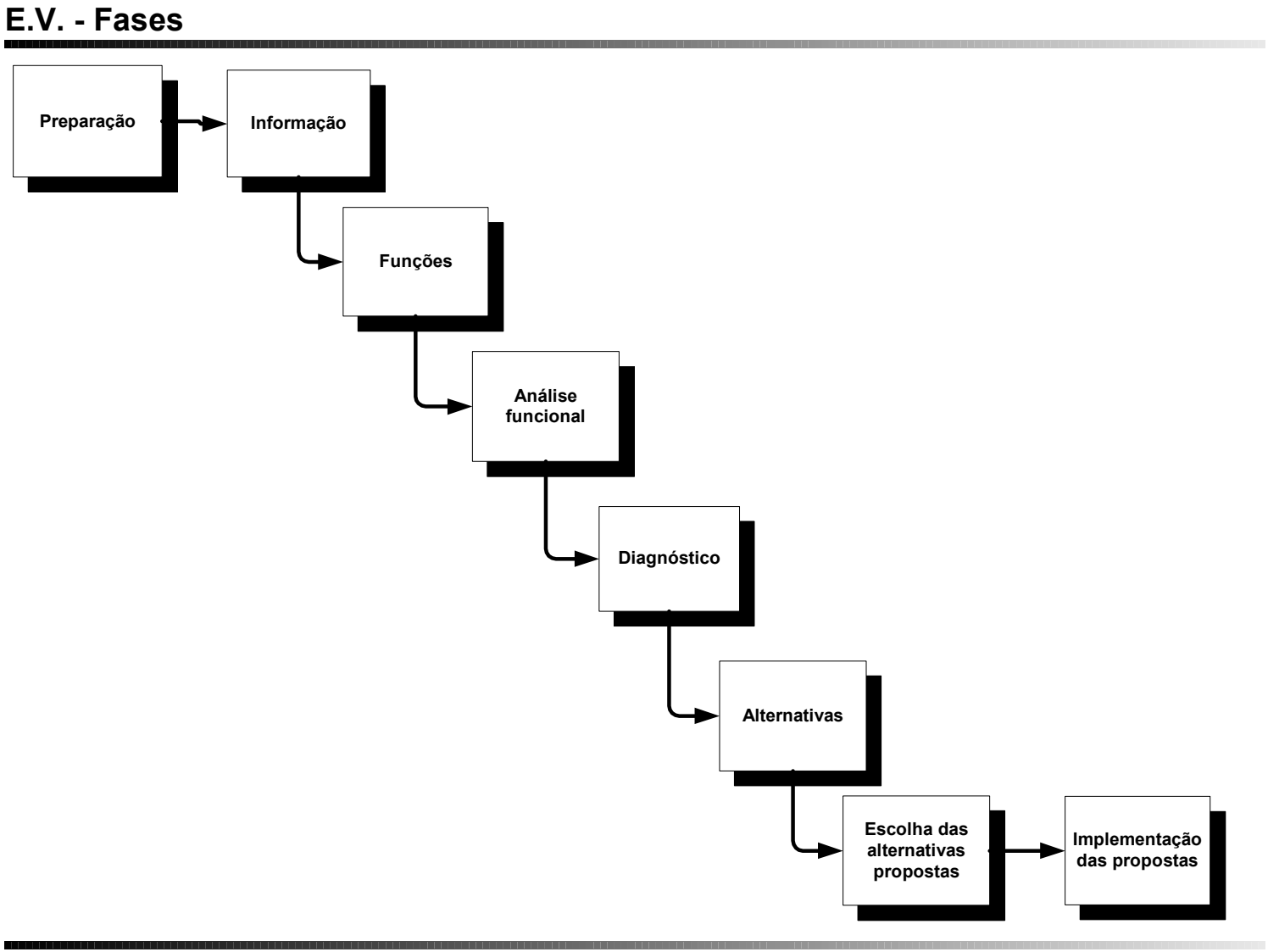

Figura 11 – Fases da E.V.

3.2.1. Preparação

A preparação, assim como para o DFMEA, é a etapa da busca para obter recursos e a estrutura necessária para suportar desde o início até a conclusão os trabalhos de EV.

A preparação para a aplicação das técnicas de EV envolve a participação multifuncional e equipes com aproximadamente 5 (cinco) pessoas [14]. Também, não deve haver grandes diferenças culturais ou hierárquicas entre os participantes da equipe.

Para a EV, o ponto chave para garantir o sucesso é a obtenção do comprometimento da alta administração, que deverá fornecer o apoio necessário aos participantes, principalmente disponibilidade, pois esta técnica não é exigida durante o APQP; logo, as equipes poderão estar alocadas em outras atividades, que envolvem o atendimento a prazos de desenvolvimento firmados com os respectivos Clientes.

Para a condução das atividades da EV, também é necessária a divulgação, a todos da equipe, das regras de trabalho e a dinâmica que será utilizada durante as reuniões.

A EV não possui um formulário padrão, porém é conveniente adotar uma forma de registro para cada uma das etapas pela qual passe o processo. Isto ajudará na continuidade dos trabalhos entre reuniões, além de servir como *lessons learned* (lições aprendidas) para o futuro.

A execução das atividades que compõem a técnica deve ser feita obrigatoriamente por uma equipe multifuncional, conforme mencionado anteriormente; no entanto, a responsabilidade pelo processo deve caber apenas a um profissional, devendo, portanto, haver a nomeação de um dos componentes da equipe para esse papel.

3.2.2. Informação

A etapa da informação consiste em obter dados sobre o produto atual, ou seja, a sua aplicação, o seu custo total e o custo por componente/operação. Dados sobre produtos da concorrência, processo de montagem utilizado e o conhecimento dos componentes periféricos serão úteis no processo. Históricos de qualidade e reclamações dos Clientes também devem estar inclusos nesta pesquisa.

Os próprios componentes da equipe serão responsáveis pela obtenção dessas informações, porém não há uma forma sistêmica para este trabalho A habilidade e a capacidade de cada um ditará a precisão dos dados de entrada.

Especialmente ao representante da engenharia caberá pesquisar sobre tecnologias contemporâneas relacionadas à linha de produtos de sua empresa; contudo, não existe obrigatoriedade de se ter um especialista na equipe; ao contrário, conforme inicialmente citado, diferenças entre os participantes podem coibir a criatividade.

3.2.3. Função

A função é um dos conceitos fundamentais da EV, conforme ilustra a figura 12, sendo as outras: desempenho e valor. O Dicionário Aurélio [24], define "*função*" como "utilidade, serventia, papel ou atribuição", em outras palavras é a descrição de toda atividade que um produto desempenha, o sentido de existir de um determinado item [15].

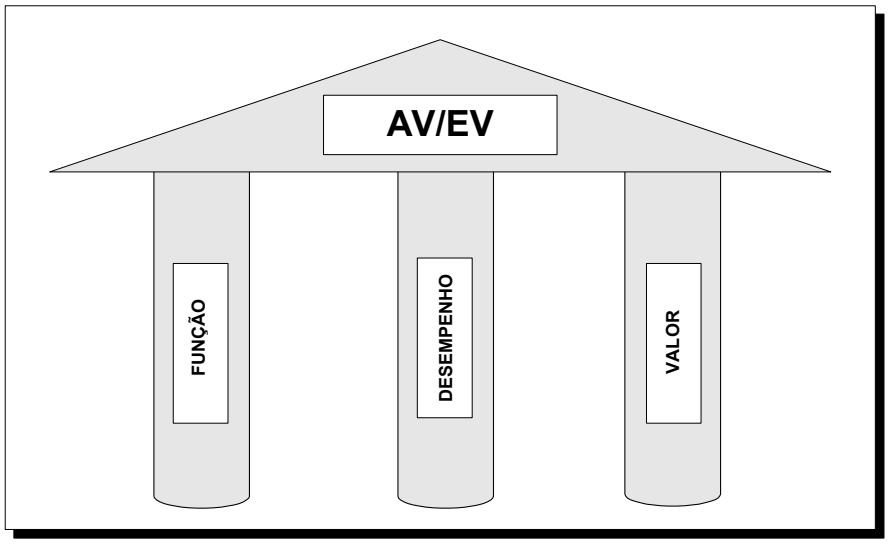

Figura 12 – Conceitos fundamentais da metodologia [15]

A anatomia de uma função é composta pela junção de um VERBO e um SUBSTANTIVO, formando uma estrutura simples e ao mesmo tempo poderosa, pois minimiza a possibilidade de falha de comunicação e interpretação [15].

Empregar a técnica do verbo e substantivo e não descrever de modo preciso e completo determinada função é sinal inequívoco de que um melhor entendimento do problema se faz necessário [15].

Para que a técnica seja corretamente empregada será útil remeter à definição dos elementos que a compõem. O próprio Aurélio [24] descreve que verbo é: "Palavra que designa ação, estado, qualidade ou existência.", e substantivo é: "Palavra com que se nomeia um ser ou um objeto, ou uma ação, qualidade, estados, considerados separados dos seres ou objetos a que pertencem."

A tabela 7 a seguir apresenta alguns verbos e substantivos utilizados na EV/AV, que poderão ajudar no processo de designação da função do produto.

Tabela 7 – Lista de funções típicas [14]

	VERBOS ATIVOS		SUBSTANTIVOS MENSURÁVEIS	
FUNÇÕES TRABALHAR	Suportar	Modificar	Peso	Corrente
	Transmitir	Interromper	Luz	Isolação
	Criar	Estabilizar	Calor	Energia
	Segurar	Modular	Radiação	Densidade
	Incluir	Controlar	Fricção	Circuito
	Colecionar	Transmitir	Tensão	Reparo
	Conduzir	Emitir	Força	Líquido
	Isolar	Repetir	Proteção	Contaminação
	Proteger	Proteger	Fluido	Dano
	Prevenir	Filtrar	Oxidação	Fluxo
	Reduzir	Impedir		
	Amplificar	Induzir		
	Aplicar	Provar		
	Retificar	Prover		
FUNÇÕES VENDER	VERBOS PASSIVOS		SUBSTANTIVOS NÃO MENSURÁVEIS	
	Descrever		Aparência	Simetria
	Melhorar		Conveniência	Efeito
	Aumentar		Estilo	Mudança
	Manter		Prestígio	Beleza
	Apresentar		Forma	Característica
	Aperfeiçoar			
	Possibilitar			
	Satisfazer			

As etapas para se chegar à determinação das funções de um produto estão representadas esquematicamente na figura 13 e nos próximos subcapítulos.

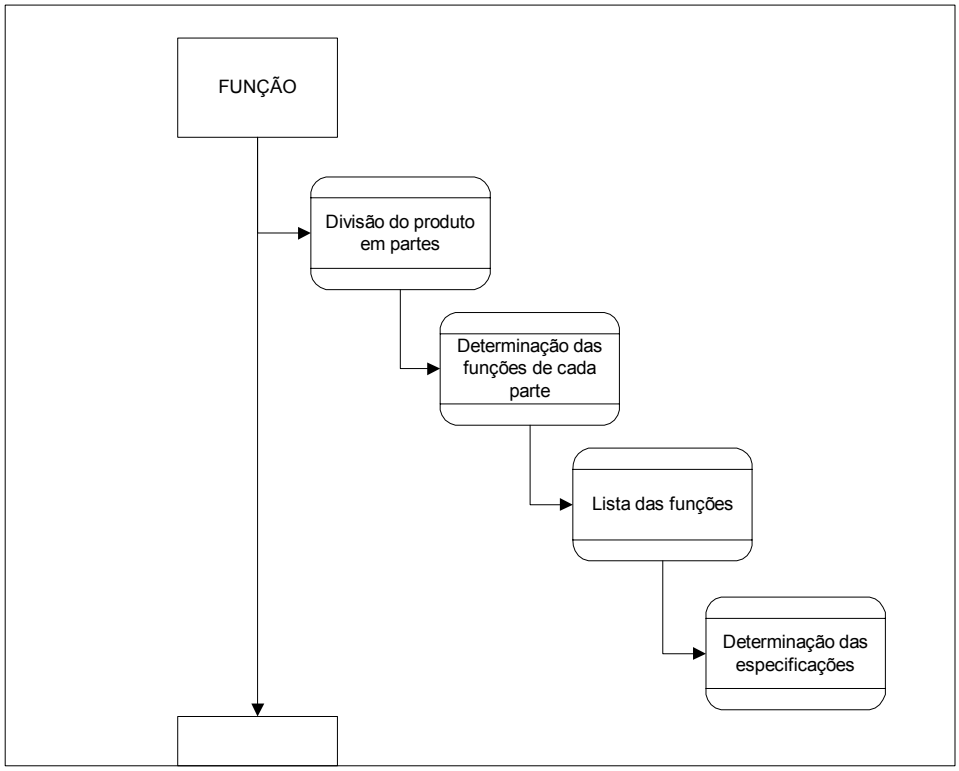

Figura 13 – Atividades envolvidas no processo de definição da função.

3.2.3.1. Divisão do produto em partes

O produto deve ser dividido em partes de forma que, ao final, a soma destas partes componha novamente o produto. A equipe é quem define como será dividido o produto, seja peça a peça ou em subsistemas, o primordial é que nenhuma parte fique fora do processo.

A metodologia da EV permite, dependendo da forma como o produto é dividido, trabalhar em uma proposta de redução de custo ou uma proposta inovadora.

Para exemplificar, se for analisado um mesmo produto, alavanca de mudanças de marcha manual, do ponto de vista inovador, haverá poucas divisões e o resultado poderá ser um sistema servomotor controlado eletronicamente. Caso haja interesse

em propor reduções de custo, maior quantidade de divisões se fará necessária, e propostas de substituições de materiais e design provavelmente farão parte do relatório final.

3.2.3.2.Determinação das funções de cada parte

A determinação das funções de cada parte deve ter um VERBO e um SUBSTANTIVO apenas, conforme mencionado anteriormente, devendo-se lembrar que a qualidade do trabalho final é diretamente proporcional à qualidade das informações usadas.

As funções devem ser definidas do modo mais amplo e geral possível e deve-se recorrer a conhecimento especializado sempre que necessário e sempre utilizar dados de fontes confiáveis [15]

A cada parte, resultado da divisão do produto, deve-se perguntar:

a) "O que o produto faz?"

b) "O que mais ele faz?"

c) "O que ele faz que não é desejável?"

3.2.3.3. Lista das funções

A lista das funções consiste em criar uma lista única a partir do levantamento das funções de cada uma das partes. Nesta lista não devem constar nomes que lembrem as partes/peças ou funções repetidas.

A saída desta etapa, portanto, é uma lista de funções independente das partes/peças do produto que a gerou. O desafio deste ponto em diante é não mais existir o "produto", e sim uma lista de funções que o represente.

3.2.3.4. Determinação das especificações

A lista de funções revisadas deve ser enriquecida com a sua respectiva especificação, ficando claros quais os parâmetros de projeto, suas condições especiais e regulamentações. Uma função poderá ter mais de uma especificação.

A especificação para as funções que possuem substantivos mensuráveis, conforme exemplos na tabela 7, devem vir acompanhadas de suas respectivas unidades, como ampère, força, Hertz, kgf.cm, entre outros.

3.2.4. Análise funcional

A análise funcional ajudará a identificar o produto avaliado, fornecendo subsídios para obter um maior conhecimento do que o usuário deseja e está disposto a pagar. A análise funcional identificará uma hierarquia para as funções do produto do ponto de vista do usuário do produto.

Existem algumas técnicas para realizar a análise funcional do produto, aqui são apresentadas três delas segundo Massarani et al [15]:

a) Classificação funcional.

   Nesta técnica as funções são classificadas pelo seu contexto (funções identificadoras ou agregadas) pelo público (funções relevantes, irrelevantes e indesejáveis) e finalmente pela sua condição técnica (funções de uso ou estima)

b) FAST- *Funcion Analysis System Technique* – Técnica de diagramação para análise da função.

Está técnica produz um diagrama composto por funções integradas de forma lógica, que facilita a busca de alternativas para executar as funções requeridas de forma diferente da atual que melhor atendam os objetivos do analista.

c) Analise de custo.

É a associação da análise de custos com cada função desempenhada pelo produto. Este custeio é feito mediante um critério de rateio.

3.2.5. Diagnóstico

Neste momento, o problema é reestruturado, ocorre uma reorientação dos esforços da equipe para interpretar as funções do produto. Os esforços são concentrados nas funções relevantes de forma que elas possam ter o seu valor agregado aumentado, através do aumento do seu desempenho ou pela diminuição de seus custos.

A saída desta fase é uma pergunta, como, por exemplo: *Como desempenhar a função resistir a esforços no menor custo possível?,* ou *Como desempenhar a função atingir custo-projeto no menor tempo possível*?

A partir deste ponto será iniciada a etapa de geração de idéias.

3.2.6. Alternativas

Esta etapa consiste em uma fase criativa, onde, com as informações adquiridas, são obtidas alternativas utilizando as técnicas de geração de idéias que estiverem disponíveis.

As alternativas devem ser geradas com o intuito de se eliminarem as funções desnecessárias e descobrir maneiras mais simples de desempenhar a função requerida.

3.2.7. Escolha das alternativas propostas

Esta é a última etapa da metodologia e deve-se escolher dentre as propostas formuladas qual a melhor opção, contanto que as questões de atendimento às especificações estejam resolvidas. As alternativas são analisadas com base em análises de custo, investimento, prazo e dificuldades de implantação.

Existe uma série de metodologias para esse fim. A seguir, são apresentadas algumas delas [14]:

a) Método RPC – Resultado / Possibilidade / Custo.

b) Método racional KT – desenvolvida por Kepner-Tregoe.

c) Método FIRE – Função / Investimento / Resultado / Exeqüibilidade.

d) Método de comparação.

e) Método da viabilidade econômica.

Ao fim, independentemente do método utilizado, consolida-se a nova concepção do produto. Recomendações de melhoria, caso surjam, devem ser avaliadas antes da obtenção da sua viabilidade.

3.2.8. Implementação das propostas

Considerando que o produto pertença à indústria automobilística, inicia-se neste momento a utilização do APQP [8], com as etapas de planejamento, desenvolvimento do produto e processo, validação, produção e retroalimentação.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta, neste ponto batizada de DFFMEA (*Design Function Failure Mode and Effects Analysis* - Análise dos Efeitos e Modos de Falha para a Função do Projeto), é o resultado da interseção de uma parte da EV com o DFMEA. Porém, antes de avançar na abordagem deste tema, convém aprofundar seu objetivo e o que esta técnica permite resolver.

4.1. O objetivo

O objetivo é a redução do tempo total de confecção do DFMEA, substituindo a forma de determinação da função do produto pela técnica utilizada na EV.

A saída desta proposta, além da própria redução do tempo facilmente mensurada em termos de unidade de tempo, é aumentar a possibilidade de criação de alternativas para o projeto do produto, baseando-se nas funções do produto e não nas peças atuais em produção ou do mercado.

O engenheiro, ao projetar o produto, terá a sua disposição uma lista de funções que representa o produto com sua respectiva classificação, desassociada das partes do produto. Assim, soluções criativas terão maior probabilidade de surgir, enaltecendo as funções relevantes e eliminando as funções irrelevantes de forma mais conveniente.

Completando ainda, utilizando a técnica da EV, em um processo já implantado pelas empresas, que é o APQP em cujo conteúdo está o DFMEA, não haverá a necessidade de aumentar ou sobrecarregar o recurso criativo (profissionais que contribuem com o processo de desenvolvimento de produto). Equipes de trabalho estão naturalmente constituídos quando se inicia um novo desenvolvimento de produto.

Alegações quanto à não-disponibilidade de verbas ou não-disponibilidade para testes de validação não existirão, pois estas são etapas que estão inclusas no processo de desenvolvimento de produto. Em outras palavras, quando é iniciado o processo de desenvolvimento as verbas do programa, incluindo os testes de validação, já estão definidos e aprovados.

4.2. O método

A seqüência do método está esquematicamente apresentada na figura 13. Basicamente, sua estrutura é dividida em três fases compostas por:

a) Fase comum entre a EV e DFMEA – Preparação dos trabalhos e obtenção das informações necessárias para compor os dados de entrada do projeto.

b) Fase da função – utilização da metodologia da EV.

c) Fase do FMEA – utilização das atuais metodologias para determinação do modo de falha, causas potenciais, entre outros.

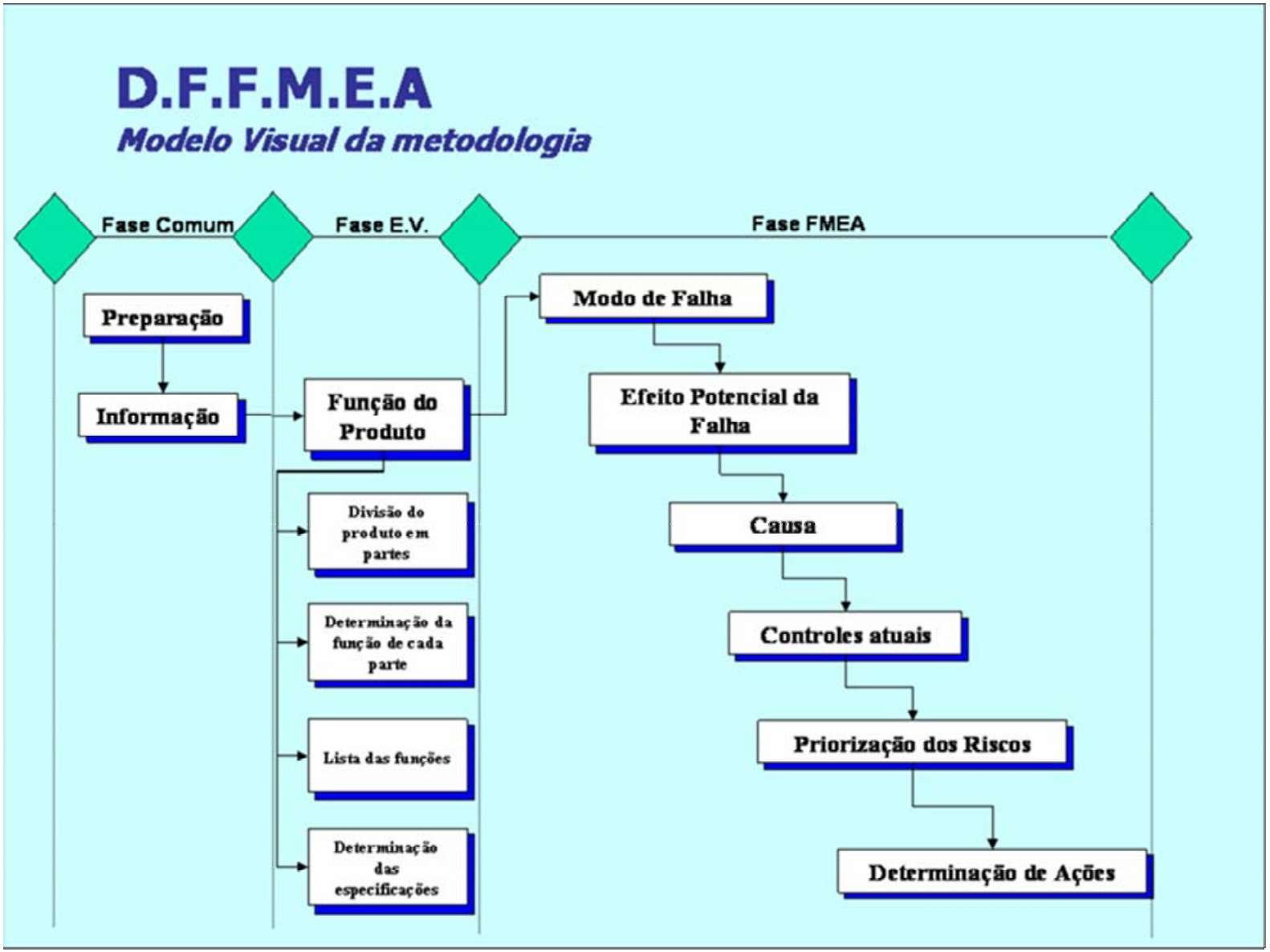

Figura 14 – Modelo visual da metodologia proposta.

4.2.1. Fase comum

Analisando cada uma das técnicas anteriormente apresentadas, pode-se afirmar que a etapa da preparação é idêntica para cada uma das metodologias (EV e DFMEA), porém a etapa da informação está mais bem detalhada para o DFMEA, embora, na maior parte das vezes, não possua informações sobre o custo por componente, que justamente é um dos dados de entrada utilizados pela EV.

De qualquer maneira, a diferença acima não impede que sejam classificadas as fases de preparação e a de informação como fases comuns ao DFMEA e EV.

A utilização de técnicas isoladas como o diagrama-p e o diagrama de bloco aplicadas ao DFMEA estão mantidas, pois auxiliam a equipe no entendimento do produto e suas inter-relações.

4.2.2. Fase da EV

A fase da EV é justamente a da determinação das funções do produto, com os mesmos passos apresentados anteriormente, ou seja:

a) Divisão do produto em partes.

b) Determinação das funções de cada parte.

c) Lista das funções.

d) Determinação das especificações.

4.2.3. Fase do DFMEA

A fase do DFMEA representa as mesmas etapas contidas no formulário de DFMEA apresentado anteriormente, exceto a etapa referente à função. Mais especificamente, são:

a) Modo de falha.

b) Efeito potencial da falha.

c) Causa.

d) Controles atuais.

e) Priorização dos riscos.

f) Determinação de ação.

5. ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO DE DFFMEA

Colocando em prática a aplicação da metodologia apresentada no capitulo anterior, realizaram-se três estudos de casos em uma indústria automobilística para entender a metodologia e avaliar os seus prós e contras.

A ênfase em cada estudo ocorreu na validação do método e não no resultado técnico propriamente dito alcançado em cada caso.

Para realização dos estudos de caso, foi consultada a lista de produtos em desenvolvimento da empresa base da pesquisa e, dentre eles, escolheram-se os produtos que estariam na fase 2 do APQP, e teriam esta fase concluída durante a elaboração deste material.

Os três produtos pertencem aos dois maiores grupos da empresa, que sozinhos representam 78% do faturamento. Os produtos são:

a) Alavanca de Mudanças de Marchas

b) Cabo de Acionamento da Embreagem

c) Cabo de Acelerador

A estrutura dos estudos de casos será composta por:

5.1. I – Estudo de caso: Alavanca de mudanças de marcha

5.1.1. Descrição do produto

A alavanca de mudanças de marchas é constituída basicamente de componentes plásticos injetados, como a carcaça por onde são fixados os componentes de movimentação, componentes plásticos extrudados como os cabos e, por fim, componentes metálicos como a alavanca, suportes e a própria cordoalha.

O usuário a utiliza durante as operações de troca de marcha nos veículos automotores leves. A seguir, a figura 15 apresenta o produto alvo deste estudo de caso.

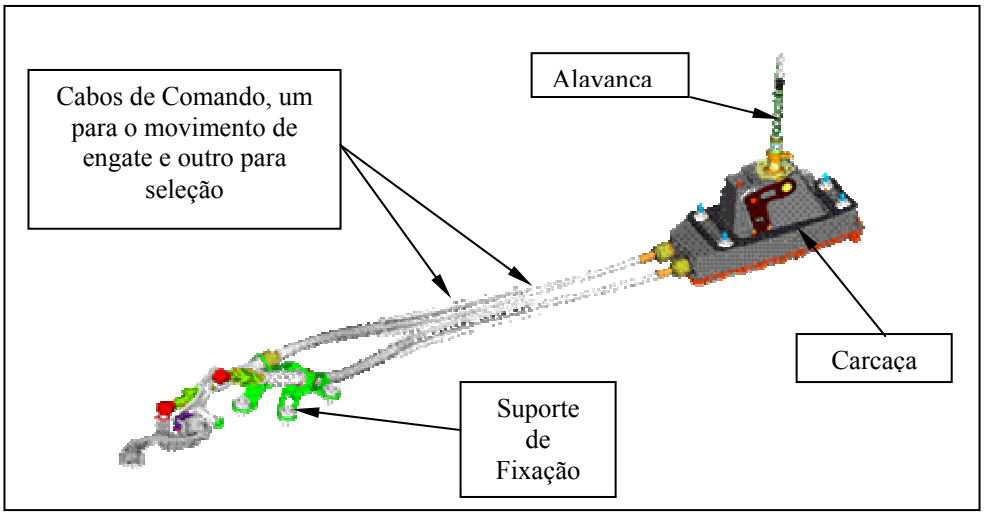

Figura 15 – Alavanca de mudanças de marchas

5.1.2. Processo atual

O processo atual, que utiliza a metodologia do DFMEA, apresenta, para um produto com as características semelhantes ao deste estudo de caso, o tempo total de desenvolvimento mostrado na figura 16.

Estas informações foram obtidas a partir dos dados históricos fornecidos pela empresa base desta pesquisa, que possuem a base referencial abaixo listada:

a) Quantidade de componentes: aproximadamente 40 itens

b) Histórico da qualidade: 1 semana

c) Diagrama de blocos: 2 dias

d) Diagrama-p 1 mês (Três reuniões por semana de 1,5 hora analisando aproximadamente 3 componentes por vez)

e) DFMEA 2 meses (Três reuniões por semana de 1,5 hora analisando aproximadamente 2 componentes por vez); no entanto, temos mais:

i. Determinação das Funções: 2 semanas (Três reuniões por semana de 2,0 horas analisando aproximadamente 7 interações por vez)

O trabalho totalizou aproximadamente 16,4 semanas de trabalho.

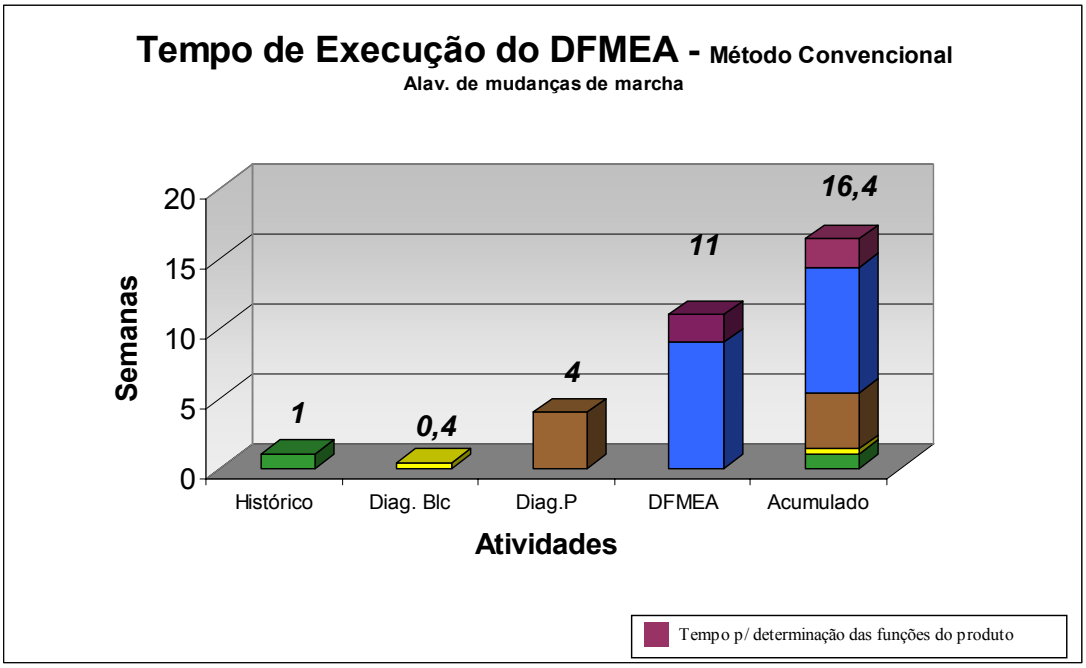

Figura 16 – Tempo de preparação do DFMEA da alavanca de mudanças de marchas

5.1.3. Aplicação da metodologia

Após a etapa de fechamento de pedido de compras, o produto inicialmente apresentado teve a sua equipe multifuncional constituído pelos departamentos de produto, protótipo, manufatura, produção, logística e compras. Não havia grandes diferenças de escolaridade ou nível de experiência e, notoriamente pela importância do projeto, havia interesse pessoal em participar da equipe.

A estrutura de desenvolvimento, além dos próprios engenheiros de produto, consistia em um coordenador de planejamento e um gerente de programa. As regras de trabalhos estavam definidas através do seguimento das diretrizes da ISO/TS 16942 [8] e o potencial do projeto foi transmitido a equipe ressaltando os pontos abaixo:

a) O preço está fechado e, portanto, a ocorrência de custos adicionais resultantes do desenvolvimento do projeto será absorvida pela empresa, afetando diretamente a rentabilidade do produto.

b) O não-atendimento do preço alvo poderá permitir a entrada do produto da concorrência, que vem trabalhando em um produto alternativo por sua própria conta e risco.

Resumidamente, é um projeto que envolve alto risco em função do atendimento ao preço alvo e com característica voltada à redução de custo de projetos existentes.

5.1.4. Fase da informação

A fase da informação foi dividida em duas etapas: a primeira, de obtenção de dados através de pesquisas individuais, e a segunda, feita pela própria equipe com utilização das técnicas de diagramação das fronteiras do projeto e dos seus

parâmetros de transformação dos sinais de entrada em saída e suas conseqüências. Esta última etapa refere-se ao diagrama de blocos/fronteira e ao diagrama-p.

As informações coletadas através de pesquisa individual foram:

a) Volume anual de vendas estimado.

b) DFMEA´s de produtos similares.

c) Projetos similares.

d) Especificações às quais o produto deve atender, sejam elas do cliente, governamentais ou internas.

e) Condições de uso do produto, ou seja, a sua aplicação no mercado, incluindo localização geográfica.

f) Metas de confiabilidade esperadas e confiabilidade encontrada nos produtos similares.

g) Como o produto será montado e qual o "envelope", região no espaço onde o produto terá de ser projetado sem se evadir.

h) Datas do programa.

As ferramentas de diagramação estão apresentadas nos dois próximos subcapítulos.

5.1.4.1. Diagrama de blocos / fronteiras

O diagrama de blocos foi utilizado para mostrar as interfaces com o conjunto, desde o contato com o usuário até as suas fixações. A seguir, a figura 17 com o referido diagrama.

Nota-se a quantidade de interações que a equipe deve avaliar durante o processo de confecção do DFMEA e, ao contrário, qual seria a probabilidade de não ser considerada uma destas interações caso não fosse utilizada essa técnica?

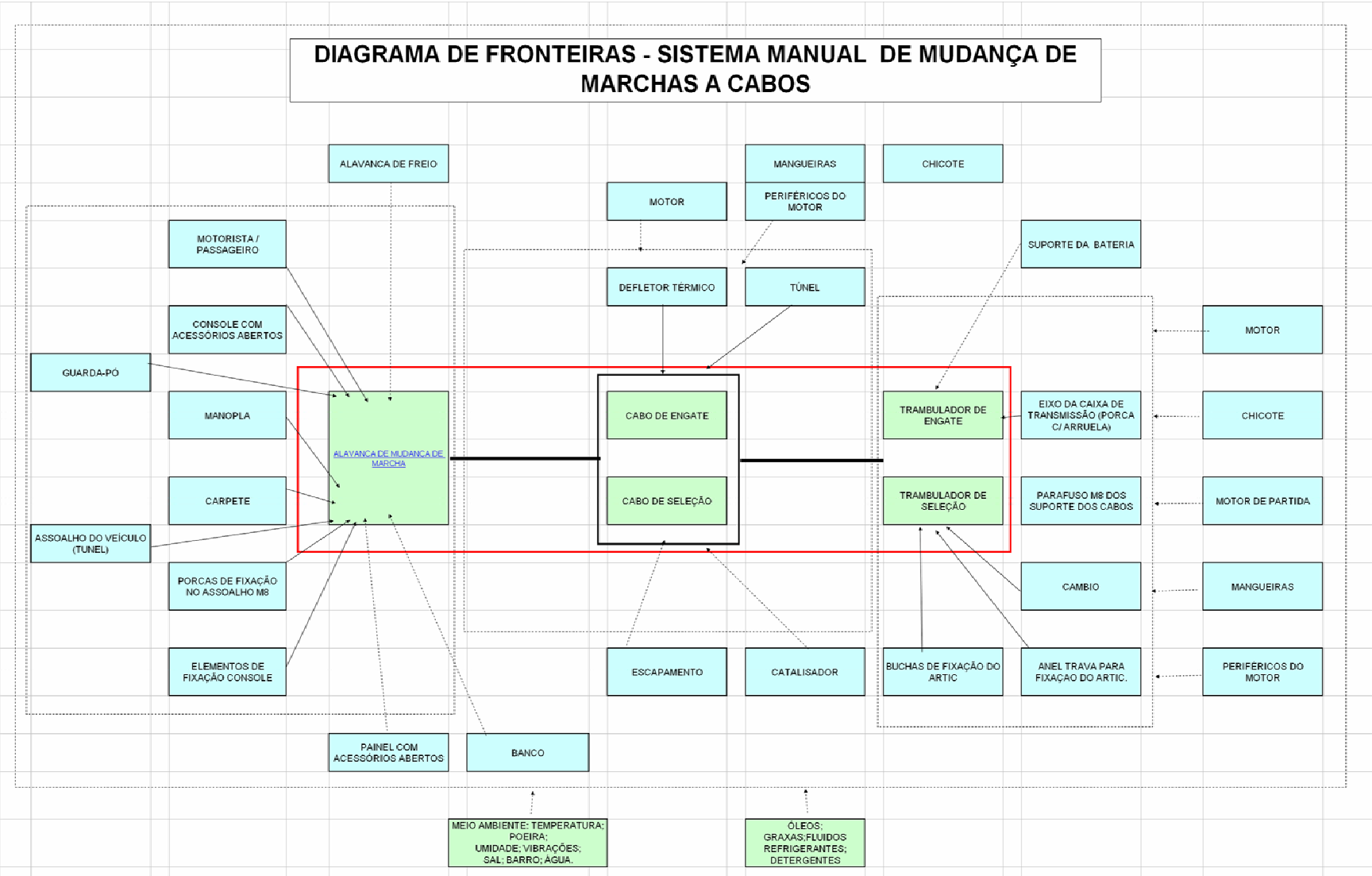

Figura 17 – Diagrama de blocos / fronteiras

5.1.4.2. Diagrama-p

O diagrama-p foi utilizado para completar os dados de entrada que alimentaram o DFMEA. A figura 18 exibe um esquema representativo de um diagrama-p. Por questões de confidencialidade, o seu conteúdo não poderá ser divulgado em sua totalidade, apenas alguns exemplos serão citados.

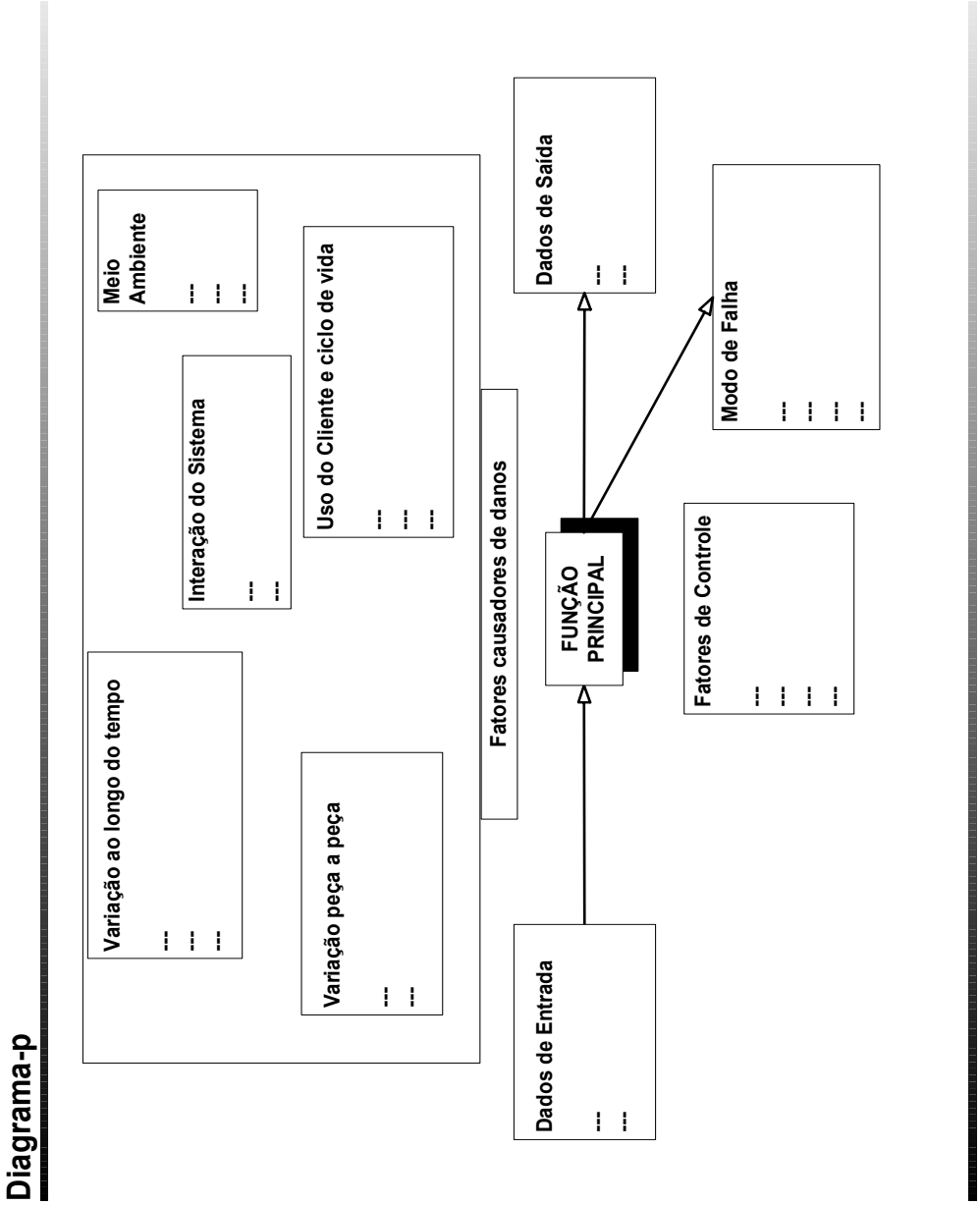

Figura 18 – Diagrama-p esquemático para ilustração

Exemplos utilizados no diagrama-p:

a) Dados de entrada: Norma 157-002.1.

b) Dados de saída: Isenção de metais pesados.

c) Fatores de controle: Relatório de DVP.

d) Interação do sistema: Verificar diagrama de blocos.

e) Meio Ambiente: Poeira.

f) Modo de falha: Bloqueio das marchas.

g) Uso do cliente/ciclo de vida: Esforço abusivo no engate e seleção.

h) Variação ao longo do tempo: degradação do material.

i) Variação peça a peça: perpendicularidade/ centralização.

5.1.5. Fase da função

Utilizou-se para a fase da função a metodologia da EV, esquematicamente reapresentada na figura 19, incluindo as atividades que a compõem.

A saída esperada ao fim desta etapa foi uma lista de funções que representem o conjunto alavanca de mudanças de marcha.

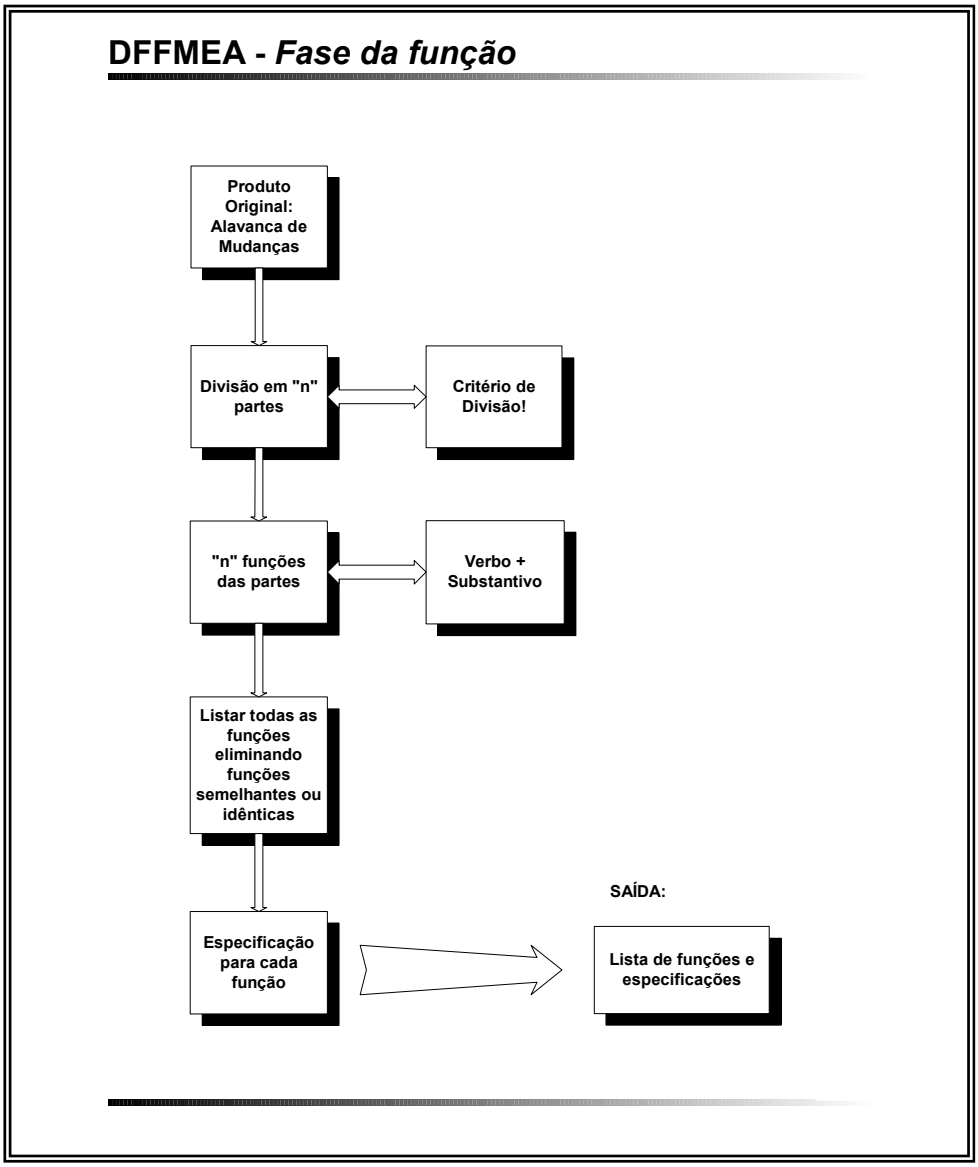

Figura 19 – Esquema para a fase de função

5.1.5.1. Divisão do produto em partes

A partes foram:

a) Subsistema 1: alavanca de acionamento, cabos e seus componentes.

b) Subsistema 2: trambulador de seleção (articuladores e conector rápido)

c) Subsistema 3: trambulador de engate (massa de inércia e alavanca)

5.1.5.2. Lista de funções

Analisou-se a função de cada uma das partes do item anterior, usando-se a técnica do *verbo + substantivo*. Uma vez analisada a função, elas foram compiladas para uma nova posição e agrupadas.

Uma vez agrupadas, foram ordenadas em ordem alfabética e, efetivamente, neste ponto deixou-se de pensar em partes e criou-se um pensamento apenas, sob o aspecto da função que o produto deve executar ou evitar.

A seguir, na tabela 8, encontra-se um trecho desta lista extraída dos cabos de engate e seleção de marchas. Note-se a separação das partes feitas e, ao lado, a respectiva lista revisada.

Convém acrescentar que o estudo de caso foi conduzido até a sua conclusão. Se aqui foram apresentados trechos é unicamente para preservar os direitos da empresa mantendo o sigilo das informações.

Tabela 8 – Lista de partes e funções

Engenharia de Desenvolvimento

Produto: Alavanca de Mudanças

Sub-Sistema: Cabo de Shifter

DFMEA: 99.99.989

Número de partes	Descrição das partes	Função de cada parte	Número do item / Funções Revisadas do Subsistema
1	Terminal do Conduite	Amortecer vibração	Absorver vibração
		Fixar componente	Fixar componente
			Isolar contato
2	Acabamento Superficial	Retardar corrosão	Permitir estanqueidade
			Permitir lay-out
3	Buchas Amortecedoras	Absorver vibração	Prevenir desgaste
		Isolar contato	Reduzir atrito
		Resistir a intempérie	Resistir a agentes quimicos
			Resistir a esforços
4	Capa	Fixar componente	Resistir a intempérie
		Suportar calor	Retardar corrosão
		Suportar frio	Suportar calor
		Resistir a agentes quimicos	Suportar frio
		Resistir pedregulho	Transmitir Trabalho
		Proteger componente	Unir componente
		Resistir a intempérie	
		Permitir lay-out	
5	Conduite	Permitir lay-out	
		Fixar componente	
6	Cordoalha	Transmitir carga	
		Transmitir deslocamento	
		Minimizar ineficiencia	
		Permitir lay-out	
		Unir componente	
		Resistir a esforços	
7	Terminal	Unir componente	
		Resistir a esforços	
8	Tubo Interno	Minimizar ineficiencia	
		Prevenir desgaste	
		Reduzir atrito	
9	Sanfona	Permitir estanqueidade	

5.1.5.3. Especificação da função

A especificação de cada função foi feita diretamente no formulário de DFFMEA. Para exemplificar, segue a lista abaixo:

a) Suportar frio: temperatura -40º C. (mantendo condições de operacionalização)

b) Resistir a agentes químicos: Aprovar na especificação 157-311.1.

c) Resistir a esforço: Teste abusivo de 600N conforme especificação 157-201.01

5.1.6. Fase do DFFMEA

Na figura 20, encontra-se um exemplo extraído do estudo de caso que contempla a análise da função de forma completa, desde o modo de falha da função até os meios de controle, passando pelo respectivo efeito da falha e suas causas. O exemplo a seguir também ilustra uma ação tomada em virtude da nota de NPR.

Produto/Subsistema **Cabo de Shifter** **Modelo/Ano:** **Número: 99.99.989**
Preparado por: A. Santana **Data do Desenho: 05/08/2005** **Data Elaboração: 06/08/2005**
Equipe: João, Maria, José e Pedro **Data Revisão: 06/08/2005** **Rev.: A**

Item / Função Revisadas	Requisitos da Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controle Atual Processo		Detecção	Npr Risco	Ação Recomendada	Resp. & Prazo	Resultado das Ações				
								Prevenção	Detecção					Ação Tomada & Data efetiva	Severid.	Ocorrên.	Detecção	Risco
3 - Isolar contato	Entre a transmissão e o componente de sustentação dos cabosnão deve haver contato fisico	Ruido não absorvido devidamente	Desconforto do usuário	5		Erro na composição do material	3		Bancada de teste - excitar na freqüência de 10 a 250Hz	4	60	Conhecer as frequencias de excitação de maior amplitude para desenvolver material vibroacustico para faixa critica de trabalho	João dez.05	O material XYZ, desenvolvido com o Fornecedor "BB" atendeu aos testes de bancada 25/11/05	5	2	4	40
						Material excessivamente comprimido	2	Estudar folga de aperto	Bancada de teste - excitar na freqüência de 10 a 250Hz	4	40	Nenhuma						
7 - Reduzir atrito	Atrito máximo no lay-out do veiculo de 0,5N	Imprecisão no engate e seleção de marchas	Desconforto do usuário	5		Erro na especificações de toleranças	2	Estudo de tolerância (somatória)	Pré e pos caracterização conf. ES 234001	3	30	Nenhuma			-	-	-	-
		Movimento com esforço excessivo				Erro na escolha dos materias de capa e cabo	2		Pré e pos caracterização conf. ES 234001	3	30	Nenhuma						
						Erro na especificação do lubrificante	2		Pré e pos caracterização conf. ES 234001	3	30	Nenhuma						

Legenda:

PCPP - Plano de Controle Produto / Processo.

SIE - Sistema Inspeção de Entrada.

Simbologia:

(D) **(S) Segurança**

▽ **(CC) Crítico**

* **(SC) Significativo**

◊ **(FF) Interface com Cliente**

Figura 20 – Trecho do DFFMEA da alavanca de mudanças de marcha

5.1.7. Economia obtida para a empresa

Tomando como referência a média do tempo total de elaboração para um produto similar ao estudo, conforme item 3.1.2, a empresa teve uma redução de tempo total de 18 %, aproximadamente 3 semanas de trabalho do corpo técnico da empresa.

A maior parte da redução se deu pelo uso da abordagem da EV na determinação das funções do produto, e uma pequena parte devido à não-necessidade de marcar as funções no diagrama de blocos. Na figura 21, podem-se notar estas reduções e suas proporções. O critério do tempo médio das reuniões também foi mantido conforme o item 3.1.2.

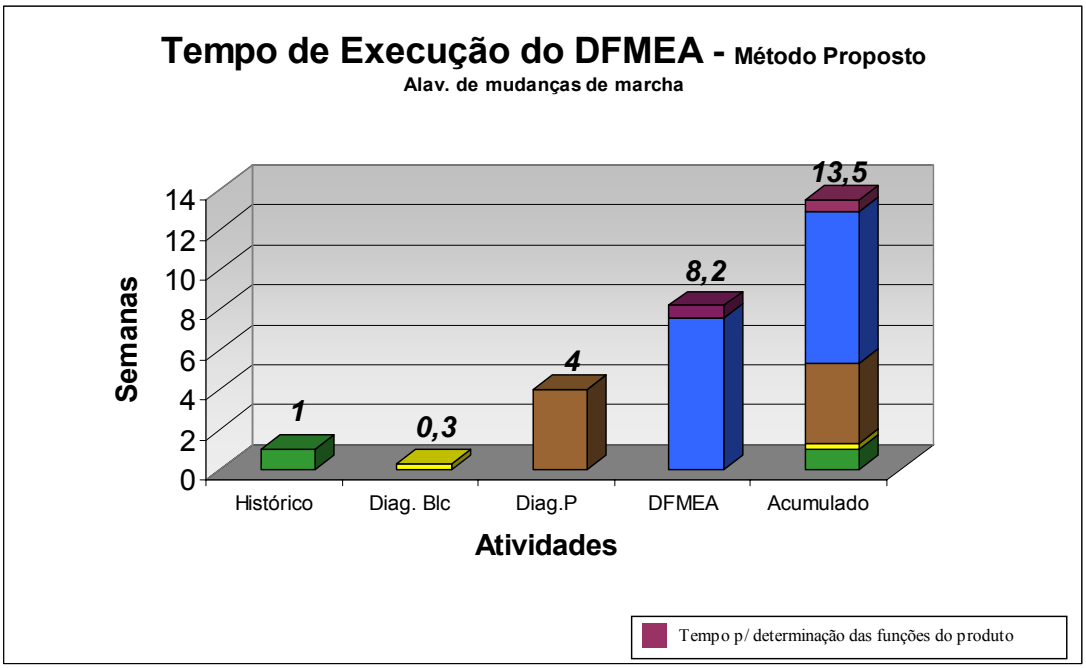

Figura 21 – Tempo de preparação do DFMEA da alavanca de mudanças de marcha

A empresa obteve outros ganhos, que serão apresentados a seguir; embora, haja certa dificuldade de se fazer uma relação direta com a metodologia proposta, a forma de pensar em funções e não em partes permite aos engenheiros e projetistas produzirem novos conceitos.

O projeto para a nova alavanca de mudanças de marchas alcançou uma redução de custo de 22% com base no preço alvo, 2 % a mais que o necessário para atingir o preço objetivo negociado antecipadamente com a montadora.

A função transmitir trabalho foi a que teve maior quantidade de especificações associadas e, portanto, também teve a maior quantidade de modos de falha e detecção.

A função permitir lay-out foi inicialmente relacionada como um item de pouca importância. Na descrição da sua especificação, porém, surgiu o requisito de se manter uma distância mínima entre os componentes do motor, o que exigiu reformulação de parte do design, especificamente do novo suporte dos cabos.

A função absorver impacto teve uma inovadora solução: o atual material PUR (poliuretano) com características absorvedoras, foi substituído por POM (Poliacetal), com característica como dureza associada a ele. A decisão, aparentemente equivocada, no sentido contrário da necessidade, somente foi possível graças ao descolamento da forma atual de pensar, passando-se a enxergar a função e as formas de atender a ela. O resultado foi um perfil, conforme apresentado na figura 22, no qual, mesmo tendo o material POM, a função foi garantida, com o benefício da redução de custos que a alteração proporciona.

Outras funções também apresentaram alternativas inovadoras o que, portanto, indiretamente valida a forma de pensar em atendimento da função do produto proposto pelo DFFMEA.

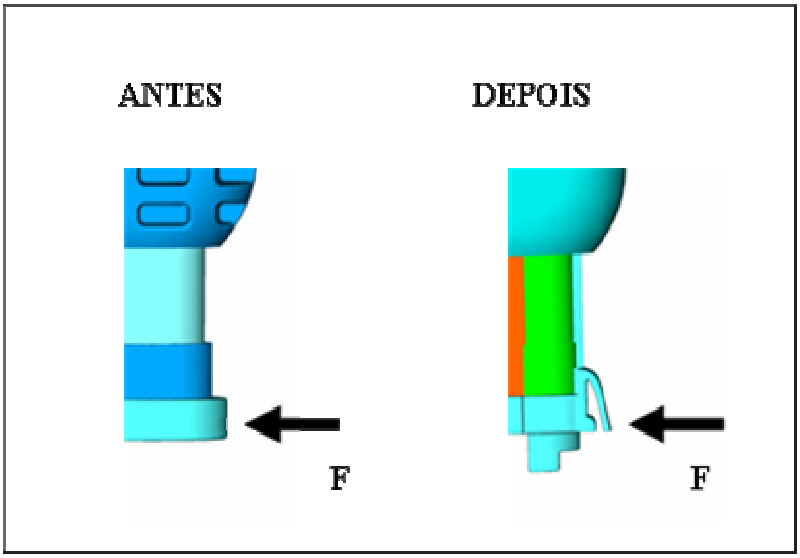

Figura 22 – Perfil para absorver impacto

5.2. II- Estudo de caso: Cabo de acionamento da embreagem

5.2.1. Descrição do produto

O segundo produto escolhido, cabo de acionamento da embreagem, é um item fortemente atacado pela concorrência. O produto analisado neste estudo de caso representa para o faturamento anual da empresa apenas 2,5%; no entanto, a similaridade com outros itens torna-o estrategicamente importante, pois, havendo a perda de um item, por abrangência, toda a linha de produto poderá estar comprometida, somando-se a toda a família a representatividade no faturamento total da empresa em 8,9%.

O produto é constituído basicamente de um conduíte (arame chato enrolado e revestido com plástico) e uma cordoalha de aço, incluindo terminais de fixação, tanto no conduíte como na própria cordoalha.

O usuário ao acionar o pedal de embreagem exerce uma força na alavanca de saída do pedal, que deve ser transmitida pela cordoalha do cabo de embreagem até o

garfo de entrada da transmissão. O conduíte deve resistir a uma força de reação que o comprime durante o acionamento do sistema.

A figura 23, a seguir, apresenta a foto de um cabo de acionamento da embreagem:

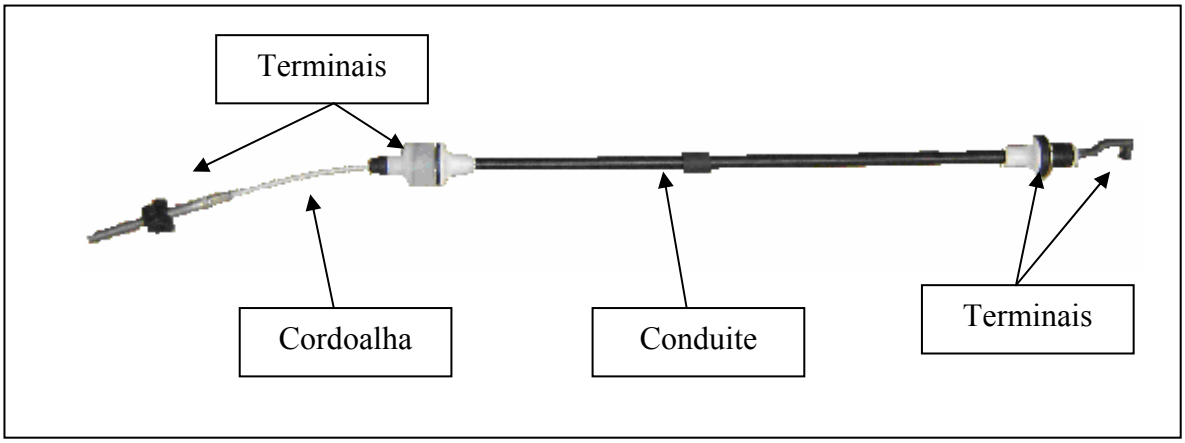

Figura 23 – Cabo de acionamento da embreagem

5.2.2. Processo atual

O processo atual de confecção do DFMEA, usando a metodologia atual, encontra-se exposto a seguir e, da mesma forma, é resultado de dados históricos fornecidos pela empresa base desta pesquisa. São eles:

a) Quantidade de compontes: aproximadamente 15 itens

b) Histórico da qualidade: 3 dias

c) Diagrama de blocos: 2 dias

d) Diagrama-p 3 semanas (Três reuniões por semana de 1,5 hora analisando aproximadamente 2 componentes por vez)

e) DFMEA 1 mês (Três reuniões por semana de 1,5 hora analisando aproximadamente 2 componentes por vez). No entanto, temos mais:

ii. Determinação das funções: 2 semanas (Três reuniões por semana de 2,0 horas analisando aproximadamente 5 interações por vez)

O trabalho totalizou aproximadamente 10,5 semanas de trabalho.

A figura 24 auxilia no entendimento dos tempos de execução de cada uma das atividades do DFMEA.

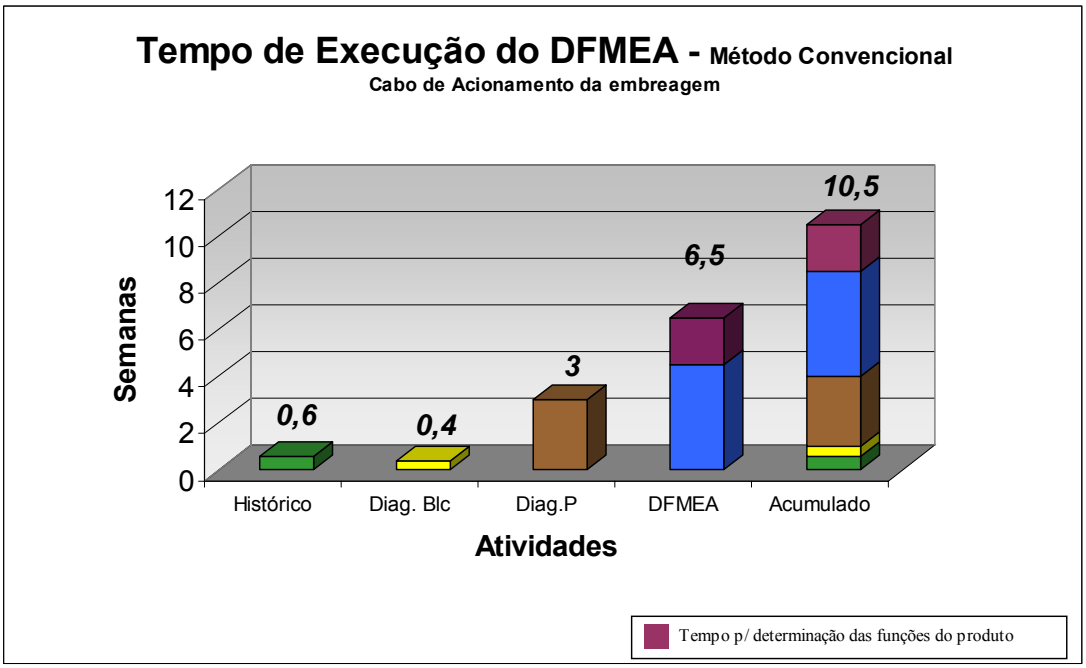

Figura 24 – Tempo de preparação do DFMEA do cabo de acionamento da embreagem

.

5.2.3. Aplicação da metodologia

A metodologia foi à mesma apresentada no estudo de caso anterior, detalha-se apenas a fase da função, seus subitens e um trecho do DFMEA.

As etapas da metodologia.

a) Fase da informação

i. Diagrama de Blocos / Fronteiras

ii. Diagrama-p

b) Fase da função

i. Divisão do produto em partes

ii. Lista de Funções

iii. Especificação da Função

c) Fase do DFMEA

5.2.4. Fase da função

Também, de forma idêntica ao primeiro estudo de caso, aplicou-se a metodologia da EV para se determinar as funções deste conjunto.A lista das funções que o representa é a saída esperada nesta fase.

5.2.4.1. Divisão do produto em partes

Para a determinação das partes que formam o produto, para este caso, utilizou-se a separação pelos seus próprios componentes. Assim, as partes foram:

a) Terminal roscado.

b) Coxim.

c) Terminal da capa (2).

d) Anel (2).

e) Conduíte.

f) Revestimento.

g) Cordoalha.

h) Graxa.

5.2.4.2.Lista de funções

De forma idêntica ao estudo anterior, a metodologia de EV foi utilizada para análise das funções de cada uma das partes. Após o agrupamento das funções, eliminando funções semelhantes e ordenando-as em ordem alfabética, criou-se uma lista na qual não se enxergam mais as partes do produto e sim as funções que o produto deve executar ou evitar.

A seguir, na tabela 9, encontra-se um trecho dessa lista.

Tabela 9 – Lista de partes e funções

Engenharia de Desenvolvimento

Produto: Cabo de Embreagem

DFMEA: 99.99.979

Número de partes	Descrição das partes	Função de cada parte	Número do item / Funções Revisadas do Subsistema
1	Terminal Roscado	- Regular comprimento	Amortecer vibração
		- Transmitir carga	Aumetar eficiencias
		- Resistir a intempérie	Evitar ruido
		- Fixar o cabo	Fixar componentes
		- Transmitir deslocamento	Guiar componente
			Permitir identificação
2	Coxim	- Amortecer vibração	Permitir montagem
		- Montar no garfo	Permitir roteiro
		- Suportar calor e suportar frio	Proporcionar flexibilidade
		- Resistir a produtos químicos	Proteger componentes
			Reduzir atrito
3	Terminal da Capa (2)	- Sustentar coxim	Regular comprimento
		- Montar no conduite	Resistir a compressão
		- Permitir passagem do cabo	Resistir a corrosão
		- Resistir a reação da capa	Resistir a intempérie
		- Suportar calor e suportar frio	Resistir a tração
		- Resistir a produtos químicos	Suportar calor
			Suportar frio
4	Conduite	- Guiar cabo	Transmitir carga
		- Proporcionar flexibilidade	Transmitir deslocamento
		- Resistir a compressão	Transmitir trabalho
		- Preservar tubo interno	
		- Unir pedal ao câmbio	
		- Minimizar perda de curso	
		- Permitir montagem do tubo interno	
5	Revestimento	- Proteger conduite de oxidação	
		- Proteger conduite de impurezas	
		- Resistir a intempérie	
		- Suportar calor e suportar frio	
		- Permitir montagem do tubo interno	
		- Permitir identificação do produto	
6	Cordoalha	- Transmitir força/deslocamento	
		- Resistir a corrosão	
		- Resistir a tração	
		- Permitir roteiro	
		- Permitir fixação dos terminais/Cordoalha	
7	Graxa	- Reduzir a atrito	
		- Suportar calor e suportar frio	
		- Evitar ruido	

5.2.4.3. Especificação da função

A especificação de cada função foi feita diretamente no formulário de DFFMEA. Para exemplificar, segue a lista abaixo:

a) Suportar frio: temperatura -40º C. (mantendo condições de operacionalização).

b) Permitir identificação: Código do produto, código do produto e material conforme norma específica.

c) Resistir a corrosão: 240 horas de névoa salina conforme norma específica.

5.2.5. Fase do DFFMEA

Na figura 25, encontra-se um trecho do DFFMEA extraído do estudo de caso que, da mesma forma que o estudo de caso anterior, contempla a análise da função de forma completa, desde o modo de falha da função até os meios de controle, passando pelo respectivo efeito da falha e suas causas.

Produto/Subsistema *Cabo de Embreagem* **Modelo/Ano:** *2006* **Número:** *99.99.979*
Preparado por: *A. Santana* **Data do Desenho:** *05/07/2005* **Data Elaboração:** *03/01/2006*
Equipe: *João, Maria, José e Pedro* **Data Revisão:** *03/01/2006* **Rev.:** *A*

Item / Função Revisadas	Requisitos da Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controle Atual Processo		Detecção	Npr	Ação Recomendada	Resp. & Prazo	Resultado das Ações				
								Prevenção	Detecção		Risco			Ação Tomada & Data efetiva	Severid.	Ocorrên.	Detecção	Risco
7 - Permitir identificação	Código do Conjunto, Produtor e Data de fabricação conforme norma ES00494-3	Produto sem identificação	Possibilidade de montagem do cabo em outro veículo	6		Especificação da tinta incorreta	2		Teste de aderencia e cura conforme EST00512-3	4	48	Nenhuma						
13 - Regular Comprimento	Comprimento310 + 50mm	Comprimento abaixo do máxima permitido	Substituição do disco de embreagem prematuramente	5		Correlação entre dimensão do produto na condição linear e montado no lay-out do veículo	3		Bancada de teste de curso de acionamento, no lay-out do veiculo	3	45	Nenhuma						
		Comprimento acima do permitido	Impossibilidade de montagem	6														
19 - Resistencia a tração	Carga de 850 Kgf	Conjunto não resiste a carga especificada	Perda da função	7		Erro na especificações do dimensional do cabo	2	Benchmarking de cabos em produção versos carga de resistência a tração	Teste de durabilidade no lay-out de aplicação conforme EST 00561-3	3	63	Nenhuma						
						Erro na escolha do material do cabo	2				42	Nenhuma						
						Lay-out com raio de curvatura desfavorável	3	Análise dos raios de curvatura do conjunto			63	Nenhuma						
															-	-	-	-
															-	-	-	-

Legenda:

PCPP - Plano de Controle Produto / Processo.

SIE - Sistema Inspeção de Entrada.

Simbologia:

(D) **(S) Segurança**

▽ **(CC) Crítico**

* **(SC) Significativo**

◊ **(FF) Interface com Cliente**

Figura 25 – Trecho do DFFMEA do cabo de acionamento da embreagem

5.2.6. Economia obtida para a empresa

Analisando comparativamente os tempos totais de elaboração que serviram como referência no inicio deste estudo de caso, mantendo o critério do tempo médio das reuniões, a empresa obteve uma redução total na ordem de 16%, o equivalente a 1,7 semana de trabalho do corpo técnico. A figura 26 apresenta esses valores e suas proporções.

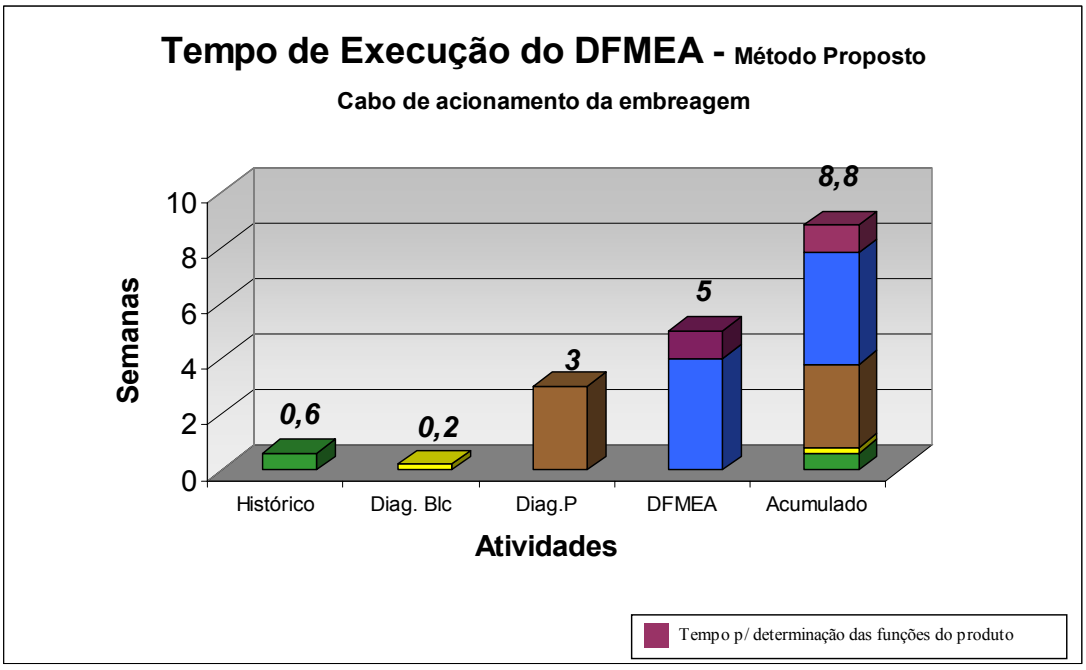

Figura 26 – Tempo de preparação do DFMEA do cabo de acionamento da embreagem

Outros ganhos também foram observados mas, da mesma forma, a relação direta com a metodologia proposta não é de fácil interpretação. O estudo de caso apresentou uma redução de custo da ordem de apenas 7%, mas houve uma significativa melhora na qualidade do produto, especificamente no quesito eficiência mecânica do conjunto (carga de entrada versus carga de saída), atingindo valores da ordem de 85%, o que, para produtos desta linha, representa um ótimo desempenho.

Os trabalhos de interpretação da função aumentar eficiência, estudando as melhores práticas para desenvolvê-la, ao melhor custo possível, foram a razão do resultado apresentado no parágrafo anterior. Os meios preventivos do FMEA contribuíram para evitar falhas quanto à perda ou diminuição desta característica.

Pela análise da função foi possível quebrar um velho paradigma da empresa, que era melhorar a eficiência somente através da combinação dos materiais de contato (cordoalha e conduíte).

Da mesma forma que no estudo de caso anterior, convém acrescentar que este estudo de caso foi conduzido até a sua conclusão. Se aqui também foram apresentados trechos é unicamente para preservar os direitos da empresa mantendo o sigilo das informações.

5.3. III-Estudo de caso: Cabo de acelerador

5.3.1. Descrição do produto

O terceiro e ultimo produto escolhido pertence a uma nova linha de produtos que está em desenvolvimento para uma montadora de veículos, com seu lançamento previsto para julho de 2007.

A característica principal é que, inicialmente, o projeto proposto é uma cópia de um produto da matriz.

O produto tem as mesmas características do cabo de embreagem anteriormente apresentado, ou seja, possui um conduíte, cordoalha e terminais, o que o difere, porém, é a sua proporção, neste último as condições de trabalho são menos severas, portanto, seu dimensionamento é proporcionalmente menor.

Uma característica especial para este produto é apenas a presença de uma presilha de fixação do conduíte.

A figura 27 a seguir apresenta o cabo de acelerador

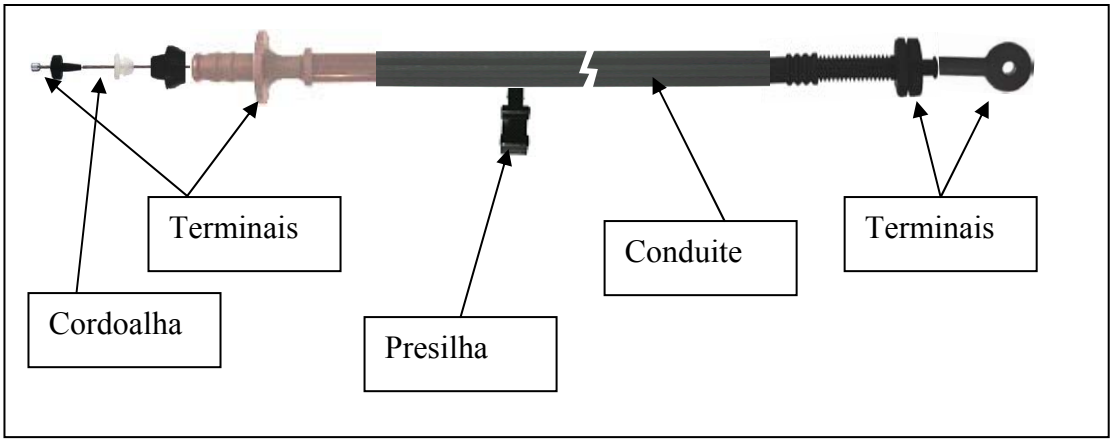

Figura 27 – Cabo de acelerador

5.3.2. Processo Atual

O processo atual de confecção do DFMEA de um cabo de acelerador, pelo histórico fornecido pela empresa base desta pesquisa, é o mesmo de um cabo de acionamento de embreagem. Assim, consideram-se 10,5 semanas de trabalho.

5.3.3. Aplicação da metodologia

A mesma regra quanto à demonstração da aplicação da metodologia utilizada no segundo estudo de caso está sendo utilizada neste último, ou seja, detalha-se apenas a fase da função, seus subitens e um trecho do DFMEA.

As etapas da metodologia.

d) Fase da informação
   iii. Diagrama de Blocos / Fronteiras
   iv. Diagrama-p
e) Fase da função
   iv. Divisão do produto em partes
   v. Lista de Funções
   vi. Especificação da Função
f) Fase do DFMEA

5.3.4. Fase da função

Também, de forma idêntica ao primeiro e segundo estudos de caso, aplicou-se a metodologia da EV para se determinar as funções deste conjunto.A lista das funções que o representa também é a saída esperada nesta fase.

5.3.4.1. Divisão do produto em partes

Para a determinação das partes que formam o produto, para este caso, também utilizou-se a separação pelos seus próprios componentes. Assim, as partes foram:

a) Terminal do Cabo

b) Terminal do Conduíte

c) Mangueira

d) Grommet

e) Luva

f) Clip "C"

g) Clip

h) Vedação

i) Cabo

j) Conduíte

5.3.4.2.Lista de funções

A lista de funções final apresentada na tabela 10 a seguir também foi resultado da aplicação da metodologia de EV.

Tabela 10 – Lista de partes e funções

Engenharia de Desenvolvimento

Produto: Cabo de Acelerador

DFMEA: 99.99.969

Número de partes	Descrição das partes	Função de cada parte	Número do item / Funções Revisadas do Subsistema
1	Terminal do Cabo	- Transmitir carga	Fixar componentes
		- Resistir a intempérie	Garantir estanqueidade
		- Fixar o cabo	Minimizar perda de curso
		- Transmitir deslocamento	Permitir fixação
			Permitir identificação
			Permitir montagem
2	Clip "C"	- Permitir fixação	Permitir roteiro
		- Permitir montagem	Proporcionar flexibilidade
		- Suportar frio	Proteger componentes
		- Suportar calor	Resistir a carga
		- Resistir a produtos químicos	Resistir a intempérie
			Resistir a produtos químicos
3	Terminal do Conduit	- Montar no conduite	Resistir a corrosão
		- Permitir passagem do cabo	Suportar calor
		- Resistir a reação da capa	Suportar frio
		- Resistir a produtos químicos	Transmitir trabalho
		- Suportar frio	
		- Suportar calor	
4	Conduite	- Guiar cabo	
		- Proporcionar flexibilidade	
		- Resistir a compressão	
		- Preservar tubo interno	
		- Unir pedal ao câmbio	
		- Minimizar perda de curso	
		- Permitir montagem do tubo interno	
		- Permitir identificação do produto	
		- Suportar frio	
		- Suportar calor	
5	Anel isolante	- Permitir vedação	
		- Permitir montagem	
		- Resistir a intempérie	
		- Suportar frio	
		- Suportar calor	
6	Cordoalha	- Transmitir força/deslocamento	
		- Resistir a corrosão	
		- Resistir a tração	
		- Permitir roteiro	
		- Permitir fixação dos terminais/cordoalha	

5.3.4.3. Especificação da função

A especificação de cada função foi feita diretamente no formulário de DFFMEA. Para exemplificar, segue a lista abaixo:

d) Suportar calor: temperatura 140º C. (mantendo condições de operacionalização).

e) Permitir identificação: Código do produto, código do produto e material conforme norma específica.

f) Garantir estanqueidade: -20 mbar por 10 min.

5.3.5. Fase do DFFMEA

Na figura 28, encontra-se o exemplo final, contemplando a análise de algumas funções de forma completa, desde o modo de falha da função até os meios de controle, passando pelo respectivo efeito da falha e suas causas.

Produto/Subsistema Cabo de Acelerador | **Modelo/Ano:** 2006 | **Número:** 99.99.969
Preparado por: A. Santana | **Data do Desenho:** 19/07/2005 | **Data Elaboração:** 16/01/2006
Equipe: João, Maria, José e Pedro | **Data Revisão:** 16/01/2006 | **Rev.:** A

Item / Função Revisadas	Requisitos da Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potencial(is) da Falha	Ocorrência	Controle Atual Processo		Detecção	Npr	Ação Recomendada	Resp. & Prazo	Resultado das Ações				
								Prevenção	Detecção		Risco			Ação Tomada & Data efetiva	Severid.	Ocorrên.	Detecção	Risco
14 - Resistencia a tração	Carga de 450 Kgf	Conjunto não resiste a carga especificada	Perda da função	7		Erro na especificações do dimensional do cabo	2	Benchmarking de cabos em produção versos carga de resistência a tração	Teste de durabilidade no lay-out de aplicação conforme EST 00361-3	3	42	Nenhuma						
						Erro na escolha do material do cabo	2				42	Nenhuma						
						Lay-out com raio de curvatura desfavorável	3	Análise dos raios de curvatura do conjunto			63	Nenhuma						
15 - Resistir a alta temperatura	Trabalho a 110º C	Baixa resistencia dos materiais em temperaturas elevadas	Degradação do material	5		Especificação dos materias incoerentes para a temperatura de uso	2	Levantar lista de materiais plasticos e suas respectivas recomendações de temperatura de uso	Teste de durabilidade no lay-out de aplicação conforme EST 00361-3	4	56	Nenhuma						
			Perda da função	7														
17 - Resistir a corrosão	Min. 120 Horas de salt-spray sem apresentar corrosão vermelha	Oxidação das partes metálicas	Perda da função	7		Especificação do tipo de tratamento superficial incoerente com a necessidade	2	Levantar lista de materiais metálicos e seus respectivos acabamentos superficiais	Teste de salt-spray do componentes metálicos	3	42	Nenhuma						

Legenda:

PCPP - Plano de Controle Produto / Processo.

SIE - Sistema Inspeção de Entrada.

Simbologia:

(D) **(S) Segurança**

▽ **(CC) Crítico**

* **(SC) Significativo**

◊ **(FF) Interface com Cliente**

Figura 28 – Trecho do DFFMEA do cabo de acelerador

.

5.3.6. Economia obtida para a empresa

Analisando comparativamente os tempos totais de elaboração que serviram como referência, mantendo as observações dos estudos de caso anteriores, a redução de tempo foi da ordem de 15%, o equivalente a 1,6 semana de trabalho.

A figura 29 apresenta esses valores e suas proporções.

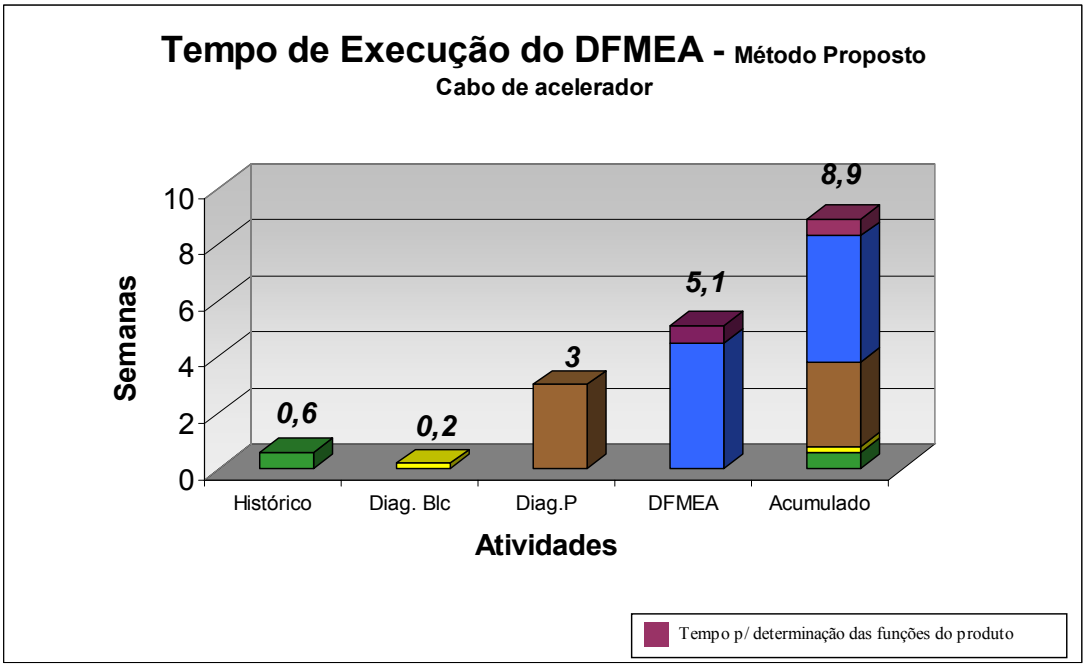

Figura 29 – Tempo de preparação do DFMEA do cabo de acelerador

Da mesma forma, outros ganhos também foram observados mas a relação direta com a metodologia proposta não é de fácil interpretação.

Quanto à continuidade deste estudo de caso, vale a mesma nota registrada nos estudos de casos anteriores.

5.4. Análise dos casos

No decorrer da aplicação dos estudos de casos, houve alguns relatos que devem ser considerados no processo de avaliação desta metodologia. Assim, nos próximos parágrafos estão citados alguns dos comentários de maior relevância.

O especialista na técnica de FMEA responsável pela coordenação dos trabalhos nesta área afirmou que o DFMEA para um desenvolvimento deve ser feito sem a presença de um conjunto similar, para que este novo DFMEA não transporte os vícios do produto corrente. Assim, o início do primeiro estudo de caso quando foi analisado um produto corrente, a sua posterior divisão e a análise das funções de suas partes, até a criação de uma lista de funções que represente o produto, não foram feitos de maneira natural.

A partir do momento em que foi obtida uma lista de funções que representavam o novo produto e que esta lista foi imparcial, ou seja, não trouxe consigo nome de peças/partes, nem tampouco os seus problemas atuais, a metodologia passou a ser entendida, tanto que nos próximos dois estudos não houve mais a resistência de nenhum membro da equipe.

O representante da assistência técnica, embora não tenha participado de um DFFMEA de forma completa, pode contribuir com a argumentação que merecerá ser registrada como uma das desvantagens desta nova técnica, que é a transcrição de um problema que ocorre em uma peça para a função que deixou de ser desempenhada, necessitando, pois, esse representante, de treinamento específico para este fim.

O segundo estudo de caso necessitou de uma coordenação direta da supervisão da engenharia. Projetos correntes impediram que houvesse maior disponibilidade dos engenheiros de produto, que normalmente deveriam conduzir este tipo de experimento. Notou-se que, mesmo este produto estando na lista de itens em desenvolvimento da empresa, não era um programa que possuía compromissos de prazos com o cliente e, portanto, de menor prioridade perante os desenvolvimentos correntes, diferentemente dos outros estudos de casos realizados.

A forma de aplicação da EV causou ceticismo inicial a membros de duas das equipes, pelo simples fato de não conhecerem essa técnica e imaginarem algo mais complexo, ficando transparente a falta de conhecimento sobre o que é e como aplicar a EV pela equipe.

Outra constatação que merece ser registrada foi que, quando apresentado o método proposto a um especialista da metodologia atual de FMEA, este afirmou que a forma de análise pela interação dos subsistemas/componentes é muito detalhista e demanda muita atenção, não para a determinação da função mas, sim, para saber se todas as interações foram consideradas; logo, a nova forma proposta é mais simples.

Por fim, de forma geral, todos da equipe se motivaram com a possibilidade de usar a EV, afirmaram que a nova metodologia proporcionou uma redução dos esforços e preferem realizar novos DFMEA desta forma.

6. CONCLUSÃO

A nova metodologia pode ser empregada no desenvolvimento de produtos de forma compatível com o APQP, pois a forma de pensar em funções vindas das técnicas da EV estarão sendo aplicadas na elaboração do DFMEA, que, por sua vez, é uma das atividades exigidas pelo APQP, sem, contudo, aumentar o uso do recurso criativo, pelo contrário.

Todavia, como qualquer outra nova metodologia, apresenta suas vantagens e desvantagens. O que convém registrar, antecipamente, são ganhos que efetivamente puderam ser comprovados nos estudos de caso

Destaca-se apenas que, embora simplifique a forma de determinar as funções do produto comparadas com a forma tradicional feita pelo DFMEA, a aceitação e credibilidade dos funcionários poderão fazer a diferença. Ocorrerá a necessidade de mudança de mentalidade dos funcionários da Empresa: deixar de pensar em peças ou processos e passar a pensar em *funções* conforme propõe a E.V. requer muito treino, pois é totalmente diferente do que as pessoas estão acostumadas a fazer [25]

6.1. Vantagens da nova abordagem

A nova metodologia apresentou uma significativa redução do tempo total de confecção de um DFMEA, contando também com sua objetividade.

Os estudos de casos obtiveram, em média, 16% de redução de tempo de desenvolvimento do DFMEA, equivalendo a aproximadamente 2,1 semanas de trabalho intelectual. Esta redução poderá ser maior uma vez que atinja o ponto de estabilização da curva de aprendizado da equipe.

Outra vantagem, embora não apareça de forma explícita, foi o estímulo à criatividade da equipe, que passou a confeccionar o projeto do produto pensando em

suas funções e não em suas partes. Soluções originadas a partir de uma reestruturação do problema, pensando em termos de atendimento à função, foram claramente apresentadas, e estas são tipicamente as características da EV.

Destaca-se que a metodologia proposta permite "popularizar" a EV dentro da organização, tratada, pelo menos na empresa base da pesquisa até o momento, como algo inacessível pela indisponibilidade de tempo.

Por fim, não se pode deixar de mencionar que, para os casos conhecidos onde se aplicou a EV o resultado financeiro foi sempre obtido quando não superado. Para os estudos de caso não ficou relatado explicitamente o ganho, mas para citar um exemplo da própria empresa base, o resultado da aplicação de EV para um cabo de freio chegou a R$ 800.000,00 por ano conforme Nunes et al [26]

Resumidamente, portanto, o texto apresenta:

a) Ambas as técnicas, DFMEA e E.V utilizam a definição de função; no entanto, esta última possui uma forma muito mais simples e eficaz que a primeira, sendo, com isso, responsável pela efetiva redução do tempo de desenvolvimento.

b) Otimização do recurso humano. Como as técnicas da EV para determinação das funções do produto já serão utilizadas no DFMEA, que, por sua vez, é uma atividade contida no APQP, não será necessária a criação de outra equipe de trabalho em novos desenvolvimentos.

c) O apoio da alta administração é mais evidente, pois, em função da existência de programas de desenvolvimento, existem compromissos formais com os clientes.

d) O cliente possui uma predisposição a aceitar propostas de alteração do produto quando estão apoiadas em um programa de desenvolvimento,

cujo processo de validação do produto normalmente faz parte do programa.

e) Existe um estímulo à criatividade graças à parcela da metodologia referente à análise das funções feitas pela EV, e o problema passa a ser vislumbrado por um outro prisma.

f) A utilização da EV abre a possibilidade de obter ganhos financeiros com a sua aplicação.

6.2. Desvantagens da nova abordagem

A análise de um DFMEA puramente pela função, sem a influência da parte do produto, embora tenha as vantagens antes apresentadas, pode dificultar a alimentação de um novo projeto por histórico de qualidade, pois, atualmente, quando o problema é detectado, logo se associa à peça que está com defeito. Assim, os assistentes técnicos devem ter capacitação para fazer a transcrição do problema para a falha da função que o conjunto desempenha, ou melhor, deixou de desempenhar conforme especificação.

Um outro ponto que merece destaque, embora não seja propriamente uma desvantagem, é que, no início dos trabalhos, a metodologia da divisão do produto em partes deve ser claramente definida, dependendo do tipo de trabalho que se destina a fazer. O fato apenas serve para reforçar a necessidade de mudança cultural.

Um plano estratégico para implementação desta metodologia deverá ser estruturado para, somente assim, afirmar que tal método será um sucesso. Esta afirmação está apoiada nos comentários de Abreu [25], sobre a resistência das pessoas a mudanças, que diz:

> [...] é muito usual as pessoas terem certo receio em mudar alguma coisa, seja pala insegurança ou então pela falta de avaliação das conseqüências, nessa Empresa algumas pessoas já estão desenvolvendo

> seus trabalhos há algum tempo e acham que uma forma de preservá-los é não dividir seus conhecimentos com outras pessoas, e caso estas pessoas sejam de outros Departamentos o medo é ainda maior.

Resumidamente, portanto, o texto apresenta:

a) Necessidade de treinamento para todos os membros da equipe que trabalham com o produto, principalmente no sentido de transportarem os problemas ocorridos em peças para funções do produto que falharam.

b) Barreiras culturais e resistências contra mudanças deverão ser quebradas.

6.3. Contribuições

Do ponto de vista departamental, podem-se tecer os seguintes comentários sobre a nova metodologia:

1. A contribuição para o planejamento do produto.

O planejamento do produto pode considerar a execução da EV com certa previsibilidade, pois estará intrínseca a elaboração do FMEA e a sua conclusão estará dentro da fase 2 (desenvolvimento do produto) do APQP, sem, contudo, aumentar a duração desta fase.

2. A contribuição para a engenharia de produto

Com as funções do produto explícita, o projetista deve desenvolver um produto com o pensamento voltado a esta função, de forma que ela seja atendida, e não mais projetar componentes baseados em produtos correntes.

A tendência natural dos projetistas e engenheiros é voltar-se aos desenhos e não às funções que devem ser atendidas, pois exige capacidade criativa, inovação, abstração, que podem definir novos paradigmas dentro do projeto [27].

O DFFMEA permitirá, além do exposto acima, garantir que, durante o projeto, as questões quanto ao modo de falha sejam contempladas.

3. A contribuição para a engenharia experimental

O desdobramento de um FMEA convencional é a elaboração do D.V.P (*Design Verification Plan* – Plano de verificação do Projeto), que trabalhará para validar as novas condições de projeto, o que de forma natural já ocorre. A contribuição, porém, será a criação de um Plano de Verificação do atendimento da função do produto, permitindo que as novas soluções sejam testadas, o que poderá ser feito antecipadamente à definição do projeto do componente.

6.4. Trabalhos futuros

A EV usa a metodologia de divisão do produto em partes, análise das funções de cada parte e a criação de uma lista de funções que represente o produto, obtendo assim uma reestruturação do problema e desta forma busca resolvê-lo.

A divisão em partes condiciona o resultado da análise, pois diferentes "cortes" do produto são feitos de acordo com diferentes "relacionamentos" com o produto. A visão do projetista está relacionada com a utilização do produto e as partes serão detalhes percebidos por quem utiliza o produto. Já o fabricante perceberá detalhes que refletem não a utilização, mas a obtenção do produto.

Assim, a proposta para trabalhos futuros é a criação de uma sistemática para tornar o processo de divisão das partes do produto mais robusta, ou seja, garantindo que independente da sensibilidade de quem está fazendo a divisão se obtenha os mesmos resultados para o fim que se deseja.

A EV também possui uma forte abordagem da análise do custo da função, embora não tratada diretamente neste trabalho, esta técnica poderia ser estudada em trabalhos futuros associada a análise dos índices de severidade, ocorrência, e detecção do DFMEA, de forma a influenciar na determinação dos índices de NPR.

A decisão sobre a priorização e aplicação das ações preventivas também apoiadas em uma análise econômica, conforme propõe o parágrafo anterior, poderá contribuir para maximizar os ganhos da Empresa, de forma a direcionar os investimentos para os potencias pontos que resultarão em maiores custos da não qualidade.

REFERÊNCIAS

[1] BURMAN, D. **Design to Cost (DTC) approach to Product development.** In: ANNUAL MEETING OF AACE INTERNATIONAL, 42., 1998 , Cincinnati. **Proceedings...** Cincinnati: AACE Inc., 1998. p. 48-52

[2]. HOWOLD, C., HUPPER, R. **Integration of new methods and tools for automotive control unit development.** Warrendale: SAE technical paper series. Mar. 2000. 10 p.

[3] PRICE, C.; at al**. Flame system: automating electrical failure mode and effects analysis (FMEA)**, In: THE ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1995, Washington. **Proceedings**… Washington: IEEE, 1995. p 90-95.

[4] TEOH, P. C.and CASE K., **Failure modes and effects analysis through knowledge modeling**. Journal of Materials Processing Technology, Oxford, v. 153-154, n.1-3, p. 253-260, 2004.

[5] FORD MOTOR COMPANY, **Failure Mode and Effects Analysis**: FMEA Handbook, Version 4.1: 2004

[6] PALADY, P., FMEA - **Análise dos Modos de Falha e Efeitos**: provendo e prevenindo problemas antes que ocorram. 1.ed. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Matérias, 1997.

[7] POTENCIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS, FMEA Third Edition, DaimlerCryles Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation Jul.2001.

[8] INTERNATIONAL AUTOMOTIVE TASK FORCE - Especificação técnica ABNT ISO/TS 16949. 1 ed.:2004

[9] ABRAHAM, Jeannette G. **Sistema Integrado de Gestão.** São Paulo, 1999. 217 f. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

[10] DEVADASAN, S. R. et al. **Design of total failure mode and effects analysis program** International Journal of Quality & Reliability Management, v. 20, n. 5, p. 551-568, 2003.

[11] DALE, B.G.; SHAW, P. **Failure mode and effects analysis in the UK motor industry: a state-of-the-art study**. Quality Reliability Int. 1996

[12] SCIPIONI, A.; et al**.. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company**. Food Control, Padova, Italy, v. 13, n. 8, p. 495-501, 2002.

[13] TENG, S.H, and HO S. Y., **Failure mode and effects analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 13, n. 5, p. 8-26 ,1996.

[14] BASSO, J. L., **Engenharia e Análise do Valor mais as abordagens da administração, contabilidade e gerenciamento do valor um guia prático para aplicação interfaces de EAV x JIT x TQM e outros programas**. 1.ed. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenagem de Matérias, 1991.

[15] MASSARANI, M.; Mattos, F. C. de. **Apostila de curso de mestrado profissionalizante**: PMC 5602 Redução de Custos através da Engenharia do Valor. São Paulo: EPUSP, 2005 .

[16] CSILLAG, J. M. **Análise do Valor**: metodologia do valor, Engenharia do Valor, gerenciamento do valor, redução de custos, racionalização administrativa. 3ed. São Paulo: Atlas, 1991.

[17] MILES, L. D. **Techniques of value analysis and engineering**. 2.ed. New York: McGraw-Hill Book, 1972.

[18] HELLER, E. D. **Value management**: value engineering and cost reduction. Menlo Park, Califórnia: Addison-Wesley, 1971.

[19] PINTON, D.H. **Engenharia e Análise de Valores**: vetor de competitividade. São Paulo: Produtivismo Artes Gráficas, 1989.

[20] MIORI, M., **Análise de veículos automotores através da aplicação das técnicas da metodologia do valor**. 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

[21] MONDEN, Y. **Sistemas de Redução de Custos**: custo-alvo e custo kaizen. Rio Grande do Sul: Bookman, 1999.

[22] ABEV – Associação Brasileira de Engenharia do Valor. Histórico, mar. 2005. Disponível em :<http://www.abeav.com.br/> Acesso em: 20 mar.2005.

[23] VACCARI, R. F., **Gerenciamento do Valor em Componentes Automotivos.** 2002. 121p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002 .

[24] FERREIRA, A. B. H. de., **Novo dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1975. 1517p.

[25] ABREU, R. C. L. **Análise de Valor**: um caminho criativo para otimização dos custos e do uso dos recursos. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. 171p.

[26] NUNES, A; THOMAZINHO, M. A, KAMINSKI, P. C., **Análise de Valor aplicada à redução de custos: um estudo de caso no setor de autopeças**. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAIS DE TECNOLOGIA DA MOBILIDADE, 14., 2005, São Paulo. **Anais**... São Paulo : SAE , 2005. SAE Technical Paper Series.

[27] FURLAMENTO, **O. Elaboração do custo-alvo no desenvolvimento de produtos automotivos pela análise funcional da Engenharia do Valor.** 2005.131f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.