



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

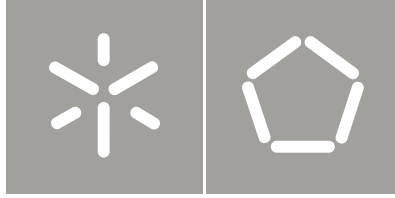
Rui Miguel de Oliveira Ribeiro

PFMEA – Optimização de Processos

Rui Miguel de Oliveira Ribeiro PFMEA – Optimização de Processos

UMinho | 2011

outubro de 2011



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Miguel de Oliveira Ribeiro

PFMEA – Optimização de Processos

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Eusébio Nunes
Universidade do Minho

e co-orientação da
Engenheira Luísa Braga
Bosch Car Multimédia, Portugal, Lda.

*“Ninguém ignora tudo, ninguém sabe tudo. Por
isso aprendermos sempre.”*

Paulo Freire (1921-1997)

AGRADECIMENTOS

Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a um conjunto de pessoas que me ajudaram na realização desta dissertação.

Ao Prof. Eusébio Nunes, orientador da Universidade do Minho, pela preocupação e disponibilidade demonstrados e, acima de tudo, pela competência e experiência.

À Eng.^a Luísa Braga, orientadora da Bosch Car Multimédia Portugal, Lda., pelo apoio demonstrado ao longo de todo o estágio, bem como, pelo seu profissionalismo e competência.

A todas as pessoas do departamento TEF2 pelo acolhimento, simpatia, disponibilidade, paciência com que esclareceram todas as dúvidas que foram surgindo ao longo da execução do trabalho.

À Bosch Car Multimédia Portugal, Lda. pela oportunidade e confiança demonstrados, e pelas condições de trabalho proporcionadas.

À minha família pela compreensão e apoio demonstrados durante este estágio.

A todos eles, o meu muito obrigado.

Rui Ribeiro

RESUMO

O projeto com o título PFMEA – Otimização de Processos, partiu da necessidade do departamento TEF2 Bosch Car Multimédia Portugal, Lda de criar uma estrutura *standard*, fundamentando-se na sistemática do FMEA, evidenciando potenciais desvios que pudessem ocorrer ao nível do produto/processo.

Com a integração nessa estrutura dos diferentes parâmetros e variáveis (efeitos, modos de falha, e suas causas), é tido em análise o caso de três ligações envolvendo conexão de funções dos componentes afetos, bem como das suas falhas potenciais, de modo a criar as *Failure Network* e *Function Network*. São discutidas ainda as diferenças significativas do modelo PFMEA *standard* em relação aos FMEAs atuais.

Um outro tópico de análise, diz respeito à limpeza do ficheiro PQP_Base, que contem discriminados todos os processos de produção respeitante à empresa Bosch Braga. É dada ênfase a esse procedimento que serviu para reduzir o conteúdo do ficheiro, mediante a eliminação de processos que já não fazem parte do processo de manufatura do produto. Depois de reestruturado o ficheiro, faz-se referência à alocação para cada processo das respetivas funções de manufatura, bem como dos seus modos de falha potenciais, com a finalidade de posteriormente se selecionar o processo que está a ser analisado e retirar a informação substancial, servindo como ponto de partida para cada novo projeto. Ainda ao nível deste ficheiro, descreve-se a proposta de melhoria efetuada na numeração relativa à identificação do processo, fundamentando-se na sua standardização.

Um último tópico passa pela descrição dos procedimentos e importância da criação de um *reminder* automático de ações em aberto, num ficheiro em formato Excel.

ABSTRACT

The project titled PFMEA – Process Optimization, stemmed from the need of the department TEF2 Bosch Car Multimedia Portugal, Lda to create a standard structure and are based on systematic FMEA, showing potential deviations that could occur at the product/process.

With this structure the integration of the different parameters and variables (effects, failure, and their causes), is taken under consideration of the case involving three links connecting the components assigned functions, as well as their potential failures in order to create Failure Network and the Function Network. Significant differences in the model PFMEA standard are discussed further in relation to existing FMEAs.

Another topic of analysis concerns the cleaning PQP_Base, broken file containing all the production processes on the company Bosch Braga. Emphasis is given to this procedure which served to reduce the contents of the file, by eliminating processes that are no longer part of the process of product manufacturing. After restructured the file, it is referring to the allocation process for each of their roles in manufacturing, as well as its potential failure modes, in order to subsequently select the process that are being analyzed and draw substantial information, serving as a starting point for each new project. Even at this file, a proposal for improvement of process numbering is described, based on this standardization.

A final topic is the description of the procedures and importance of creating an automatic reminder action open a file in excel format.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	i
Índice de Tabelas.....	iv
Lista de siglas e abreviaturas.....	v
1 Enquadramento.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Organização da dissertação.....	3
1.3 Investigação efetuada.....	3
1.3.1 Recolha e análise de dados.....	4
1.3.2 Planeamento da Pesquisa Bibliográfica.....	4
1.4 A empresa Bosch.....	5
1.4.1 Identificação da empresa.....	5
1.4.2 Evolução Histórica – Grupo Bosch.....	5
1.4.3 Missão e Estratégia.....	6
1.4.4 Processo Produtivo da Bosch Auto-Rádio Portugal Lda.....	7
1.4.5 Produtos.....	7
1.4.6 Organização.....	9
2 A metodologia FMEA.....	11
2.1 Breve caracterização da ferramenta.....	11
2.2 História e Objetivos.....	12
2.3 Potencialidades e Limitações.....	13
2.4 Diferentes tipos de FMEAs.....	14
2.5 Plano de trabalho do PFMEA.....	18
2.5.1 Passo 0: Preparação.....	18

2.5.2	Passo 1: Análise Estrutural.....	21
2.5.3	Passo 2: Análise Funcional.....	22
2.5.4	Passo 3: Análise de Falhas.....	23
2.5.5	Passo 4: Análise de ações.....	25
2.5.5.1	Probabilidade da ocorrência	26
2.5.5.2	Deteção de falhas	26
2.5.5.3	Avaliação do risco (S,O,D)	27
2.5.6	Passo 5: Optimização	28
3	Análise da estrutura do PFMEA standard	34
3.1	Análise estrutural referente aos efeitos	36
3.2	Análise do bloco Standard PFMEA nets	37
3.3	Análise do bloco Customer.....	37
3.4	Análise do bloco General itens for products	38
3.5	Análise dos blocos dos produtos “AI e PS”; “NEFIT e TT”; “IS” e “CC”	38
3.6	Análise estrutural referente aos efeitos de processo.....	41
3.7	Análise estrutural referente aos modos de falha.....	42
3.8	Análise estrutural referente às causas dos processos	45
3.9	Análise de três <i>failure nets</i> e <i>function nets</i> do modelo standard	47
3.9.1	<i>Failure net</i> relativa a um requisito do cliente	47
3.9.2	<i>Function Net</i> resultante	49
3.9.3	<i>Failure net</i> relativa ao dimensionamento externo do produto	51
3.9.4	<i>Function Net</i> resultante	52
3.9.5	<i>Failure net</i> relativa a uma peça solta dentro do produto	53
3.9.6	<i>Function net</i> resultante	55
4	Principais alterações verificadas no PFMEA Standard em comparação com os atuais	57
5	Limpeza do ficheiro PQP_Base e standardização da numeração.....	59
6	Conclusões e Trabalho Futuro	63
	Referências	66
	Anexos	I

Anexo A – Etapas de elaboração do FMEA.....	II
Anexo B – Classificação para a severidade do efeito da falha.....	III
Anexo C – Classificação para a probabilidade de ocorrência	IV
Anexo D – Classificação para a probabilidade de deteção	V
Anexo E – Estrutura e Análise Funcional	VI
Anexo F – Extrato de um PFMEA de um produto da marca OPEL.....	VIII
Anexo G – Alterações efetuadas no ficheiro PQP_Base original	IX

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Bosch Braga	5
Figura 2 – Robert Bosch (1861 – 1942)	5
Figura 3 – Comando de uma caldeira	8
Figura 4 – Display	8
Figura 5 – Sensor – “ângulo de direção”	8
Figura 6 – Produto AI (Sistema de Navegação FORD MFD)	8
Figura 7 – Produto PS (Sistema de Navegação FORD MFD)	9
Figura 8 – Organigrama geral da Bosch (Bosch, 2006b)	9
Figura 9 – Organigrama do departamento TEF (Bosch, 2006b)	10
Figura 10 – Relação entre os quatro tipos de FMEA (Adaptado de Stamatis, 1995)	15
Figura 11 – Atribuição das tarefas e responsabilidades	19
Figura 12 – Fatores de desempenho para a qualidade do FMEA	20
Figura 13 – Documentação do PFMEA para as reuniões	21
Figura 14 – Modelo exemplar inicial da ligação entre funções (Bosch, 2009)	22
Figura 15 – Modelo exemplar da ligação entre funções acopladas a modos de falha (Bosch, 2009)	23
Figura 16 – Modelo exemplar da ligação entre modos de falha (Bosch, 2009)	24
Figura 17 – Sentido da ligação de um modo de falha (Bosch, 2009)	24
Figura 18 – Tipos de falhas detectáveis num dado produto/processo	24
Figura 19 – Parâmetros do cálculo de avaliação do RP (Bosch, 2009)	28
Figura 20 – Excerto da folha do <i>Deadline Editor</i> (Adaptado de Barros, 2008)	29
Figura 21 – Visualização da macro <i>Import from FMEA-Protocoll</i>	30
Figura 22 – Excerto da folha do <i>Deadline Editor</i> em formato excel	31
Figura 23 – Excerto da folha <i>Action List</i>	31
Figura 24 – Representação da tabela <i>Responsibles</i>	32
Figura 25 – Gráfico FMEA <i>Actions/Responsibles</i>	32
Figura 26 – Representação do PFMEA standard desenvolvida no estágio	35

Figura 27 – Parte inicial da estrutura Standard referente aos efeitos.....	36
Figura 28 – Lista de funções a desempenhar relativas ao cliente.....	37
Figura 29 – Possíveis efeitos relativos a uma dada função do bloco “Customer”.....	38
Figura 30 – Lista de funções respeitantes à generalidade dos produtos.....	38
Figura 31 – Possíveis efeitos relativos a uma função do bloco “General itens for products”.....	38
Figura 32 – Lista de funções do bloco “AI and PS Products (CR and Nav).....	39
Figura 33 – Efeitos do incumprimento da função	39
Figura 34 – Lista de funções do bloco “NEFIT and TT Products”	39
Figura 35 – Efeitos do incumprimento da função	40
Figura 36 – Lista de funções do bloco “IS Products”	40
Figura 37 – Efeitos do incumprimento da função	40
Figura 38 – Lista de funções do bloco “CC Products”	40
Figura 39 – Efeitos do incumprimento da função	41
Figura 40 – Lista de funções relativas aos processos do BrgP	41
Figura 41 – Efeitos do incumprimento da função	42
Figura 42 – Excerto do modelo standard relativo aos processos ligados às causas que os influenciam	43
Figura 43 – Representação do processo Clinch ligado às causas do modo de falha	44
Figura 44 – Representação das funções de processo e seus modos de falha relativos ao processo Clinch.....	44
Figura 45 – Causas do elemento de sistema <i>Man</i>	45
Figura 46 – Causas do elemento de sistema <i>Method</i>	46
Figura 47 – Causas do elemento de sistema <i>Machine</i>	46
Figura 48 – <i>Failure net</i> respeitante a um requisito do cliente.....	48
Figura 49 – <i>Function Net</i> resultante.....	50
Figura 50 – <i>Failure Net</i> respeitante ao dimensionamento do produto.....	51
Figura 51 – <i>Function net</i> resultante	52
Figura 52 – <i>Failure Net</i> respeitante a uma peça solta dentro do produto.....	54
Figura 53 – <i>Function net</i> resultante	55
Figura 54 – Funções já formuladas corretamente do Processo Control 1	58

Figura 55 – 5M ´s inseridos no mesmo elemento.....	58
Figura 56 – Exemplo ilustrativo das causas do processo Control 1	58
Figura 57 – Extrato do PQP_Base com a integração para cada processo, das funções e seus modos de falha	60
Figura 58 – Representação da documentação do FMEA que é influenciada pela numeração	61
Figura 59 – Cabeçalho do Documento FMEA	VI
Figura 60 – Extrato de um histórico PFMEA de um produto da Opel	VIII

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2 – Plano de trabalho do FMEA (Adaptado da Bosch, 2006).....	II
Tabela 3 – Critérios de classificação para a severidade do efeito da falha para o FMEA (Bosch, 2006).....	III
Tabela 4 – Critérios de classificação para a probabilidade de ocorrência para o FMEA (Bosch, 2006).....	IV
Tabela 3 – Critérios de classificação para a probabilidade e deteção para o FMEA (Bosch, 2006)	V
Tabela 5 – Tabela de alterações do PQP_Base Original.....	IX

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AI: *Automotive Infotainment*

AOI: *Automotive Optical Inspection*

CC: *Chassis Control*

CD: *Compact disk*

FMEA: *Failure Mode and Effects Analysis*

HTML: *Hiper Text Markup Language*

IFC: *Instrução de Fabrico e Controlo*

IS: *Instrumentation Systems*

MP3: *Music Player 3*

NASA: *National Aeronautics and Space Administration*

OPL: *Open Point List*

PCB: *Printed Circuit Board*

PFMEA: *Process Failure Mode and Effects Analysis*

PQP: *Product Quality Plan*

PS: *Professional Systems*

RM: *Risk Management*

RPN: *Risk Priority Number*

SD: *Security Disk*

SMD: *Superficial Mounted Device*

TEF: *Tecnologias da Produção*

TT: *Termo Technic*

1 ENQUADRAMENTO

Esta dissertação centra-se na área da Qualidade, tendo como objetivo primário a discussão da aplicação do PFMEA dos processos de manufatura da empresa Bosch, apoiado na ferramenta FMEA, procurando por meio da sua consolidação descortinar os modos de falha das operações que envolvem os processos, e a partir de uma análise cuidadosa dos seus componentes contribuir acentuadamente para a melhoria do processo. A escolha pessoal por este projeto recaiu no facto de o aluno se interessar particularmente por esta área científica e também por querer aprofundar o conhecimento, não apenas por mera curiosidade, mas para o desenvolvimento futuro de trabalho científico na área.

Devido ao aparecimento cada vez mais frequente de novas técnicas, e ao aumento da concorrência internacional, a empresa deve estar capacitada de uma mentalidade de qualidade estruturada, de forma a medir o seu desempenho em função das expectativas dos seus clientes, pelo que é fulcral um controlo sistemático de todos os processos de forma a se assegurar que as suas especificações serão atendidas. Essa garantia de qualidade mune a empresa de formas de proteção que levam à condução de ações corretivas antes que algum desastre ocorra (Helman e Andery, 1995).

Tem-se constatado nos dias de hoje um maior grau de exigência dos clientes por produtos de maior qualidade. A ocorrência de qualquer defeito num dado produto e consequente perda de qualidade leva à insatisfação do cliente. Para tal, as empresas servem-se de ferramentas/metodologias especialmente concebidas para o efeito, como é o caso do FMEA, que tem como função prever, detetar e eliminar potenciais defeitos (num processo, sistema ou produto) garantindo assim o cumprimento das especificações dos clientes (Staminis, 1995). Desse modo as empresas podem continuar na vanguarda oferecendo ao cliente uma vasta gama de produtos de alta qualidade.

A técnica do FMEA foi inicialmente criada para o projeto de novos produtos e processos, contudo, devido à sua grande utilidade, passou a ser aplicada de outra forma, em diversos tipos de organizações (Ramos, 2006).

A aplicação desta ferramenta diminui a possibilidade tanto do produto como do processo falharem, o que permitirá fortalecer o processo de melhoria contínua existente na organização, ajudando-a a diferenciar-se dos seus concorrentes.

O FMEA de Processo (PFMEA) surge como uma metodologia de análise sistemática, desenvolvida com o intuito de descortinar e expor preventivamente quais as falhas do processo produtivo, ou seja, indica os erros que podem ocorrer durante a fabricação, para posteriormente serem

analisadas as suas causas, propondo ainda ações de melhoria para prevenir a ocorrência dos mesmos, com o intuito de reduzir custos e tentar atender às necessidades dos seus clientes.

Poucas empresas têm consciência do poderio que um FMEA pode ter na organização. A empresa Bosch trata a ferramenta como uma “base de conhecimento”, encontrando-se no documento todas as falhas consideradas relativamente a um dado produto, bem como as ações que serão posteriormente tomadas. Estabelece portanto um sistema de prioridades de melhoria, desenvolvimento, investimento, etc. A empresa estimula ainda a atitude de prevenção de falhas, de cooperação e de trabalho em equipa.

1.1 Objetivos

Com esta dissertação pretende-se implementar práticas de melhoria, dando ênfase à otimização de uma ferramenta da qualidade: o FMEA, focando-se essencialmente na sua aplicação.

Um objetivo passa pela criação de uma estrutura PFMEA *standard*, de modo a incorporar os vários elementos (funções, efeitos, modos de falha e causas) como sendo os mais decorrentes de um dado processo, e expondo a interligação entre eles de maneira a ultrapassar as necessidades cada vez mais crescentes de standardização na execução do FMEA da empresa. Pretende-se que a criação desta nova estrutura sirva de base a todos os novos PFMEAs, de modo a assegurar o histórico dos mesmos, tornando-se uma estrutura mais consistente, mais completa e também mais perceptível para os clientes e para os restantes departamentos.

Em consequência das inúmeras dificuldades ocorridas na definição das interligações entre os efeitos, modos de falha e suas causas, bem como nas funções às quais estão acopladas, objetiva-se através da realização deste trabalho, fornecer um suporte teórico e prático da aplicação da ferramenta FMEA, capaz de orientar a análise dessas interligações.

Com a estrutura PFMEA *standard* finalizada, será elaborada uma visão geral da funcionalidade do produto/processo, detetando-se a reciprocidade dos defeitos e estabelecendo-se um entendimento com vista à ligação lógica entre funções.

Por outro lado, também se pretende atualizar os processos existentes e standardizar a numeração que corresponde a cada processo, que se encontram presentes no ficheiro PQP base.

Devido a um número cada vez maior de situações de incumprimento resultantes de ações em aberto, é também objetivo deste trabalho desenvolver um *reminder* automático de ações em aberto, e de certo modo expor a sua utilidade para a organização.

1.2 Organização da dissertação

A presente dissertação está estruturada em 4 capítulos, que no entender do autor, contribui para que o leitor possa ter uma visão organizada do trabalho realizado.

No capítulo 1, procedeu-se ao enquadramento e apresentação dos objetivos. É também referida a empresa, destacando-se alguns aspetos importantes, nomeadamente, a sua localização, a sua história, a sua missão e estratégia, os produtos fabricados, e a descrição do seu processo produtivo de forma resumida. Descreve-se ainda o modo como o trabalho foi organizado, referindo a metodologia aplicada e a forma como foram recolhidos e analisados todos os dados necessários para a realização deste projeto.

O capítulo 2. A revisão bibliográfica é também discutida no presente capítulo, abordando os elementos essenciais de modo a fundamentar o projeto, fazendo uma alusão à ferramenta FMEA, e ao PFMEA.

O capítulo 3 é dedicado ao modelo PFMEA *standard*, analisando as etapas da sua ramificação, e fazendo também referência à análise de funções e seus modos de falha.

No capítulo 4 são descritas as principais diferenças entre o modelo *standard* desenvolvido, e o histórico de PFMEAs da empresa.

No capítulo 5 é dada ênfase à limpeza do ficheiro PQP_Base, bem como à normalização da numeração.

Por último, no capítulo 6 enunciam-se as principais conclusões, bem como algumas sugestões para trabalho futuro.

1.3 Investigação efetuada

Esta secção aborda a metodologia de estudo utilizada na realização do projeto, ressaltando a importância da pesquisa bibliográfica na edificação da pesquisa na dissertação. A definição e a escolha da metodologia é uma fase muito importante, dado que se constroem os alicerces em que se fundamenta a investigação a desenvolver.

A abordagem adotada será indutiva, porque o objetivo primário do projeto passa por desenvolver uma estrutura conceptual em que são testadas as ligações das funções e seus modos de falha com dados retirados no momento da realização do projeto.

1.3.1 Recolha e análise de dados

Face aos objetivos propostos, o levantamento da literatura relevante baseia-se em três tipos de fontes: primárias, secundárias e terciárias.

As fontes primárias, fornecem os primeiros *outputs*, tais como artigos científicos, dissertações e teses.

No que diz respeito às fontes secundárias foram utilizados vários livros da área.

As fontes terciárias são as ferramentas de pesquisa utilizadas para a seleção das fontes primárias, neste caso a Internet.

1.3.2 Planeamento da Pesquisa Bibliográfica

Uma vez que a análise, seleção e ordenação da informação resultante da pesquisa bibliográfica efetuada consome muito tempo, recorreu-se a um planeamento de forma a tornar a pesquisa mais eficiente e eficaz:

- Parâmetros de pesquisa;
- Geração de palavras-chave e de termos de pesquisa;

Com os parâmetros de pesquisa, há uma maior facilidade de encontrar documentação relacionada com o projeto, permitindo poupar tempo na pesquisa:

- **Linguagem** – Português e Inglês;
- **Área de Estudo** – Qualidade, ferramenta FMEA e standardização;
- **Tipo de Literatura** – Artigos Científicos, Teses, Livro e Internet.

A definição de palavras-chave assume especial relevo na pesquisa de documentos nas fontes terciárias, tendo como papel central descrever os objetivos de investigação. Por esse motivo são destacadas um conjunto de palavras-chave utilizadas neste projeto:

- FMEA;
- PFMEA;
- Normalização;
- *Functional Network*;
- *Failure Network*.

1.4 A empresa Bosch

1.4.1 Identificação da empresa

A Bosch Car Multimédia Portugal, Lda. localiza-se em Ferreiros, no concelho de Braga (Figura 1). É uma empresa do sector elétrico e eletrónico, dedicando-se essencialmente à fabricação de componentes eletrónicos para o abastecimento do ramo automóvel como auto rádios, sistemas de localização e navegação, entre outros.



Figura 1 – Bosch Braga

1.4.2 Evolução Histórica – Grupo Bosch

O nome Bosch advém do seu fundador, Robert Bosch (1861-1942), nome esse que ficou desde muito cedo ligado à indústria automóvel (Figura 2).



Figura 2 – Robert Bosch (1861 – 1942)

Inicialmente a Bosch era um pequeno negócio de cariz artesanal, até que no dia 15 de Novembro de 1886, Robert Bosch inaugurou a sua primeira oficina “Oficina de mecânica de precisão e engenharia elétrica, com apenas dois colaboradores. Em 1887 a pedido de um fornecedor, Robert Bosch desenvolveu um dispositivo de ignição magnética, que acabaria por ser um marco crucial no desenvolvimento da empresa.

Entre os anos 1900 e 1925, a empresa fixou-se no sector da indústria automóvel. Com a centralização dos esforços e subsequente melhoramento da ignição magnética para automóveis, surgiram as primeiras encomendas. Apalpando terreno, a Bosch tornou-se fornecedora desse sector tendo adquirido um crescimento notável. Em 1900 com sensivelmente 40 colaboradores passou para

cerca de 1000, em 1907. Em 1900, a Bosch estava representada em quase todos os países europeus, e a partir de 1906 passou a estar em outros continentes.

Entre 1925 e 1960, foram criadas novas unidades de negócio, de forma a abrir novos horizontes noutras áreas. Nesta altura, Robert Bosch retirou-se do negócio, e anos antes de sua morte, em 1942, desenvolveu as bases para a constituição empresarial, válidas ainda nos dias de hoje. Com o aparecimento da Segunda Guerra Mundial, e após o seu final em 1945, a empresa viu-se forçada a reconstruir as suas fábricas e lojas. Novos produtos foram comercializados, como as ferramentas elétricas, os esquentadores, auto rádios e rádios domésticos, equipamentos para estúdios de televisão e projetores de cinema, que permitiram à empresa voltar a erguer-se. Contudo, os principais marcos de reestruturação da empresa foram a criação da primeira ferramenta elétrica em 1928, o primeiro auto rádio a ser produzido em série pela Blaupunkt em 1932, e a produção do primeiro frigorífico em 1933. A área da tecnologia automóvel não foi esquecida e em 1927, foi desenvolvido o sistema de injeção diesel para camiões, que mais tarde ficou disponível para carros de passageiros.

Entre 1960 e 1990 foram introduzidas reformas mais profundas na estrutura da empresa e sua constituição, com a repartição da empresa em divisões. Nesta altura a Bosch torna-se um grupo tecnológico numa escala global.

A partir de 1990, verificou-se a tentativa de penetração da Bosch nos mercados do leste europeu e asiático, e ainda novos desafios de desenvolvimento, produção e vendas.

Nos dias de hoje, a empresa Bosch é uma das dez maiores empresas da Alemanha, com sede em Shillerhoe, na periferia de Stuttgart.

Este reconhecimento, deve-se em grande medida à “Filosofia de Empresa” criada por Robert Bosch. Uma das suas frases, e que constituiu um marco no seu desenvolvimento é:

“Deve-se sempre aspirar à melhoria do estado atual. Ninguém deve dar-se por totalmente satisfeito com o que já foi alcançado, devendo ambicionar a constante melhoria da sua área.”

1.4.3 Missão e Estratégia

A empresa tem como missão transmitir informação e proporcionar divertimento com a Multimédia para a Indústria Automóvel, tendo a estratégia de ser uma empresa de referência mundial no sector eletrónico, e atuar como modelo de excelência na orientação para o cliente e na gestão de processos.

1.4.4 Processo Produtivo da Bosch Auto-Rádio Portugal Lda

A empresa Bosch trabalha 24 horas por dia, 7 dias por semana. Esse tempo de produção diária é dividido por 3 turnos de 8 horas. Para que a produção não sofra qualquer paragem em nenhum dia da semana existem 4 turnos rotativos, em que nomeadamente 3 trabalham diariamente e o quarto turno está em regime de descanso.

O conhecimento do processo produtivo é fulcral, na medida em que se absorvem dados relativos aos equipamentos, materiais, processos e normas que são úteis para recolher informação essencial para a realização do trabalho proposto.

Esse processo produtivo pode ser dividido por dois pisos:

- Piso inferior composto pela área de inserção manual e armazéns;
- Piso superior composto pela área de inserção automática e armazém com o material necessário.

Por outro lado, segundo o tipo de produção, a área de inserção automática de componentes dos Auto rádios divide-se em:

- Placas Principais;
- Placas de Serviço;
- Antenas;
- *Tuners* (sintonizadores).

1.4.5 Produtos

A Bosch tem como atividade central a comercialização dos produtos representados em seguida por categorias. São considerados produtos de elevada qualidade e possuem a mais alta tecnologia do mercado, permitindo equipar vários modelos das mais diversas e prestigiadas marcas em todo o Mundo.

NEFIT and TT Products – Refere-se a produtos de cariz termo-tecnológico, como comandos para caldeiras (Figura 3);



Figura 3 – Comando de uma caldeira

IS Products – Os produtos IS (*Infotainment Systems*) são produtos de carácter informativo e entretenimento, como exemplo, os displays (Figura 4);

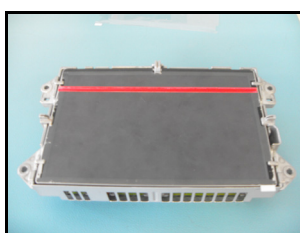


Figura 4 – Display

CC Products – Os produtos CC (*Chassis Control Systems*) dizem respeito a sensores de rotação do volante/direção (Figura 5);



Figura 5 – Sensor – “ângulo de direção”

AI and PS Products (CR and Nav.) – Os produtos AI dizem respeito a Auto Rádios e Sistemas de Navegação (Figura 6). Os produtos PS (*Professional Systems*) referem-se a sistemas profissionais, como AR/Nav para camiões (Figura 7).



Figura 6 – Produto AI (Sistema de Navegação FORD MFD)



Figura 7 – Produto PS (Sistema de Navegação FORD MFD)

É de referir que a Bosch adquire todos os materiais dos seus fornecedores, e posteriormente efetua apenas a sua montagem, controlo e expedição. O seu processo de fabrico está orientado unicamente ao processo, compreendendo uma série de operações elementares que se agrupam em três etapas: a inserção automática, a montagem manual e a embalagem.

1.4.6 Organização

Conforme a seguinte observação do organigrama (Figura 8), a Bosch possui um elevado nível de departamentalização, indicando que em cada sector existe um elevado grau de especialização. Divide-se em dois grandes grupos de funções, a gestão comercial e a gestão técnica, formados por vários departamentos.

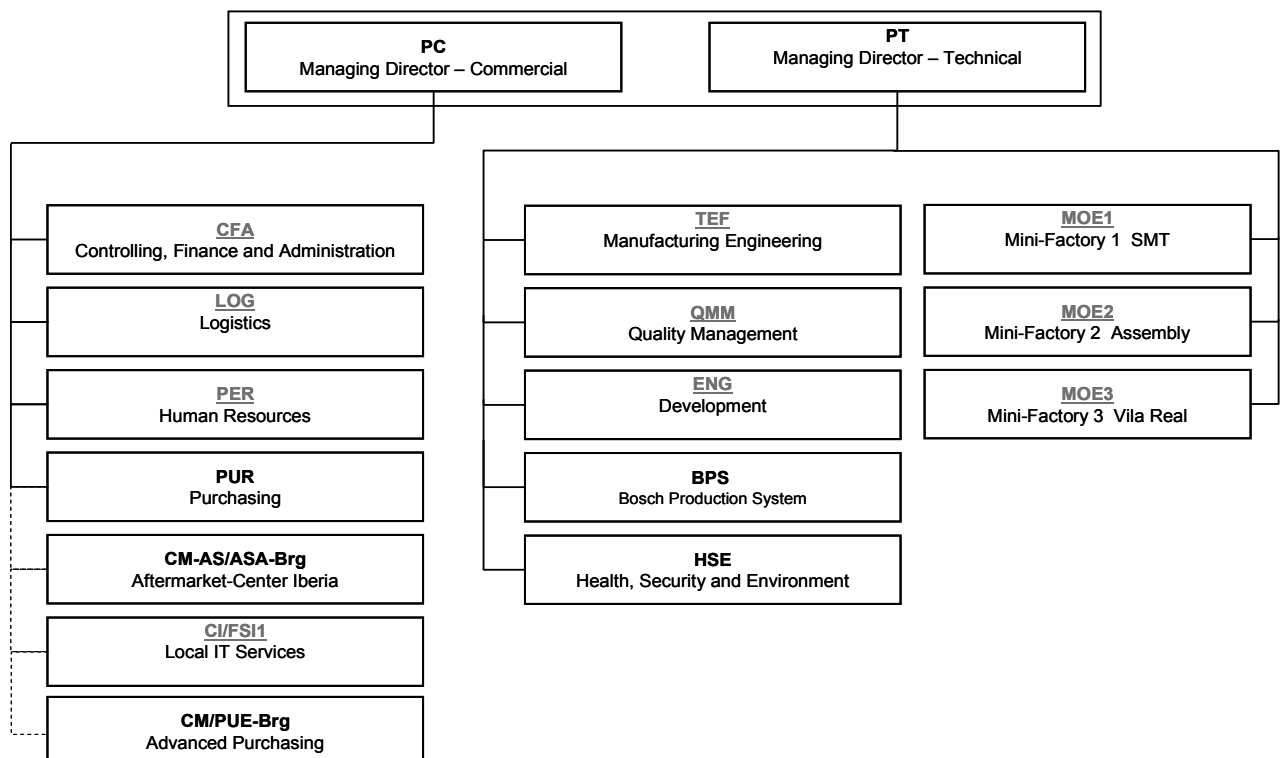


Figura 8 – Organigrama geral da Bosch (Bosch, 2006b)

A dissertação foi realizada no departamento TEF – Tecnologia de Produção mais precisamente na secção TEF 2 (Figura 9).

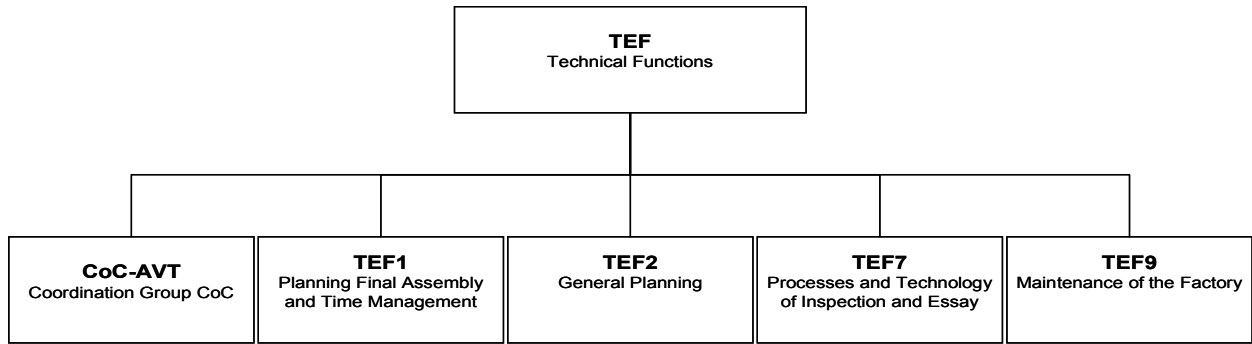


Figura 9 – Organigrama do departamento TEF (Bosch, 2006b)

2 A METODOLOGIA FMEA

2.1 Breve caracterização da ferramenta

A metodologia FMEA é uma técnica de engenharia que tem como objetivo definir, identificar e eliminar potenciais modos de falha, e ainda erros provenientes do sistema, *design*, processo e/ou do produto antes da sua chegada ao consumidor (Stamatis, 1995). Os FMEAs são centrados na identificação e prevenção de defeitos, no aumento da segurança de produtos e serviços, e na satisfação do consumidor.

Quando um FMEA é conduzido de modo apropriado, fornece à empresa informação útil que poderá eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam, seja no sistema, *design*, processo/produto. Isto deve-se ao facto de se tratar de uma metodologia sistemática que, independentemente do seu campo de utilização, ajuda a aumentar o conhecimento do produto, bem como os modos de falha decorrentes do processo, assegurando que os resultados de qualquer falha identificada causem o mínimo de estragos possível. Assim, uma análise deste tipo servirá de referência em futuros projetos semelhantes, contribuindo desse modo para a interiorização da documentação.

O FMEA quando aplicado o mais cedo possível, tanto no sistema, *design*, processo ou produto, torna-se uma importante ferramenta preventiva, impedindo a ocorrência de falhas e erros, antes de se verificarem no cliente.

Com o compromisso de uma dada empresa em melhorar continuamente os seus produtos e processos, o FMEA surge como uma ferramenta disciplinada que permite identificar e eliminar potenciais problemas. No entanto, no decorrer da elaboração de um FMEA é necessário ter em consideração alguns aspetos (Barros, 2008):

- Apesar de ser delegada a apenas um indivíduo a responsabilidade pela execução do FMEA, esta deve ser fruto de um trabalho em equipa. Devem ser claramente definidos os objetivos e função, e mediante esses aspetos ser montada uma equipa de especialistas de todas as áreas afetadas, com experiência no tema a ser analisado;
- Identificação de todas as potenciais falhas e do seu efeito, em que esse efeito será a consequência dessa falha. Essa identificação só será detetada numa fase posterior, quer pelo operador, quer pelo controlo de qualidade existente na empresa, ou ainda pelo cliente final;

- Estabelecer um sistema de prioridades para as falhas potenciais em função do seu risco, tendo em conta que determinadas causas têm uma maior probabilidade de acontecer do que outras. Para cada modo de falha é estimado o seu efeito no sistema final, nomeadamente, a sua severidade, ocorrência e deteção;
- Discriminadas as ações corretivas é necessário proceder à sua implementação, com a finalidade de prevenir que as falhas não cheguem ao cliente;
- O FMEA é um documento que deverá ser atualizado e revisto sempre que se verifique alterações no produto ou processo. Deve-se ter sempre em mente que o FMEA é um documento vivo, estando sempre em constante renovação.

2.2 História e Objetivos

O FMEA foi criado e desenvolvido pela NASA em meados da década de 60 para o projeto Apollo, com o intuito de eliminar falhas em equipamentos que não teriam possibilidade de ser concertados após o seu lançamento (Dailey, 2004). Foi então inicialmente usado na indústria aeroespacial e nuclear, e mais tarde, em 1972, a Ford introduziu o seu uso na indústria automóvel.

Hoje em dia, o FMEA é uma ferramenta importante para o sistema de qualidade das empresas e muito utilizada em diversos ramos da indústria. Essa implementação advém da necessidade de melhoria contínua na qualidade de um dado produto, viabilidade e segurança do mesmo, e acima de tudo de as empresas pretenderem ter uma posição firme no mercado, contribuindo para um aumento da satisfação do cliente.

O FMEA é uma técnica sistemática e estruturada de falhas potenciais, centrada no estabelecimento dos seguintes objetivos:

- Identificar potenciais modos de falha, ou seja, que ainda não tenham ocorrido em produtos/processos que tenham sido já operados, atribuindo aos efeitos associados uma classificação por ordem de importância;
- Determinar os efeitos, bem como a severidade dos seus modos de falha;
- Identificar as causas da falha e descortinar a probabilidade de ocorrência dos modos de falha em projetos de novos produtos ou processos;
- Avaliar e quantificar os riscos de cada modo de falha, e com base nessa avaliação são criadas ações para diminuir o nível de risco;

- Criar um ambiente de discussão e reflexão com os membros do grupo sobre os problemas do produto, processo ou *design*, auxiliando-os na eliminação dessas falhas e propondo ações de melhoria para prevenir a ocorrência dos mesmos.

2.3 Potencialidades e Limitações

O FMEA é um método que tem como finalidade identificar e analisar os riscos envolvidos em projetos ou processos devido ao aparecimento de falhas únicas. Estes mesmos riscos são quantificados, de modo a expressar a sua gravidade. Assim, a organização pode dar prioridade aos riscos que são tidos em conta como os mais graves, permitindo investir de uma maneira mais eficiente e eficaz na melhoria do processo em questão, de forma a minimizar esse risco, ou mesmo eliminá-lo. Contudo, só se obtêm resultados inteiramente positivos quando o FMEA é criado em uníssono com o desenvolvimento de um produto/processo, o mais atempadamente possível de forma a evitar desperdícios de recursos.

Esta ferramenta deve ser continuamente atualizada, sempre que se verificarem alterações ou informações adicionais que são filtradas durante essa fase de desenvolvimento. Esta constante atualização tem também por objetivo verificar se as ações implementadas estão a surtir algum resultado positivo.

O FMEA envolve direta e ativamente membros de equipa dos diversos ramos da empresa, com conhecimentos no assunto tido em análise, estimulando a troca de ideias, promovendo uma abordagem em equipa.

Palady (1997) enumera algumas vantagens de uma utilização eficaz da ferramenta FMEA:

- Possibilitar uma maior segurança funcional, bem como uma melhoria da qualidade e fiabilidade dos produtos e processos;
- Facultar à empresa uma redução de atividades de inspeção e controlo dos processos;
- Ajudar a estabelecer procedimentos de diagnóstico de falhas;
- Estabelecer prioridades para as ações corretivas de um dado produto ou processo;
- Auxilia na identificação e avaliação de falhas, bem como na sua prevenção;
- Reduzir o tempo de desenvolvimento do produto/processo, bem como dos custos resultantes da aplicação dos recursos na prevenção de falhas;
- Melhorar a satisfação do cliente;

- Aumentar o potencial competitivo da organização;
- Permitir à organização absorver maior conhecimento;
- Possibilitar a documentação da análise resultante.

Retira-se então que o FMEA apresenta muitas potencialidades. Onodera (1997), para determinar os benefícios da aplicação de um FMEA, investigou cerca de 100 aplicações, concluindo que essa ferramenta era muito útil em todas as etapas dos processos industriais.

Contudo o FMEA pode apresentar algumas limitações devido aos seguintes aspetos:

- Quando a análise de um determinado sistema, produto/processo requer múltiplas funções, devido a um grande número tarefas/componentes, a sua elaboração pode tornar-se aborrecida;
- Casos em que os efeitos dos modos de falha não podem ser analisados;
- A condução apropriada do FMEA exige experiência, conhecimentos e competência por parte da equipa responsável;
- Estabelecimento de datas de ações pode ser complicado;
- Em certos casos, a sua elaboração pode ser bastante dispendiosa e morosa.

2.4 Diferentes tipos de FMEAs

Existem quatro tipos de FMEA: FMEA do sistema, FMEA do *design*, FMEA do processo e, FMEA do produto, do produto, que estão representados na

Figura 10 (Stamatis, 1995).

De salientar que, embora as etapas e o modo de realização da análise sejam iguais, as diferentes tipologias diferenciam-se principalmente quanto ao objetivo (Toledo & Amaral, 2004).

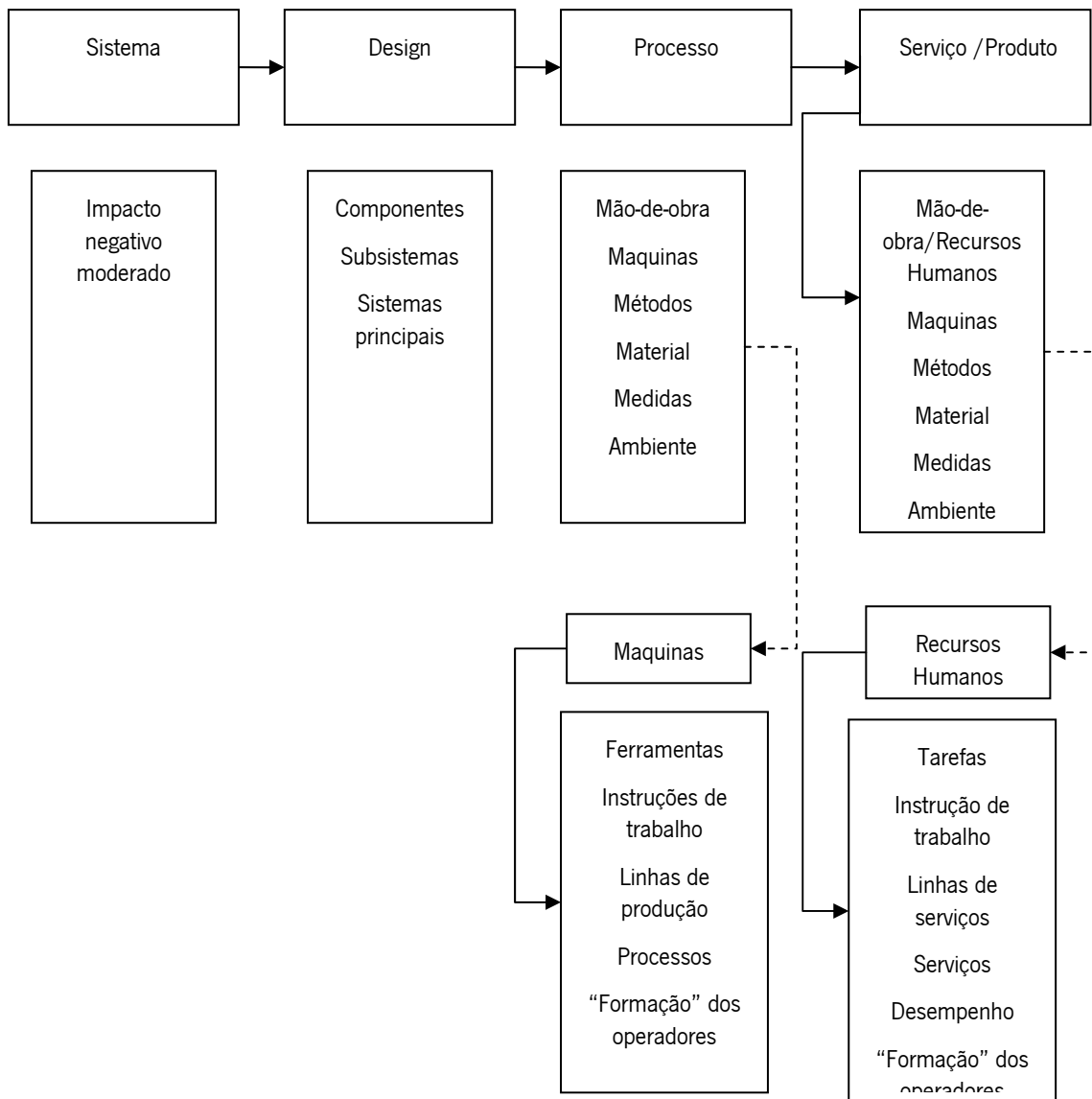


Figura 10 – Relação entre os quatro tipos de FMEA (Adaptado de Stamatis, 1995)

FMEA do Sistema

São tidos em consideração sistemas na fase conceptual e também de projeto, verificando-se que este tipo de FMEA é realizado muito cedo. O sistema é interpretado como um conjunto de peças que têm como finalidade desempenhar uma dada função.

A análise passa por observar e focalizar quais os modos de falhas entre as funções do sistema, com o intuito de se evitar os defeitos adjacentes a essas falhas.

FMEA de Design

Segundo Stamatis (1995), o FMEA de *design* considera os modos de falha que poderão ocorrer no produto, causados por deficiências nas especificações do projeto, como o incumprimento dos

objetivos definidos para cada uma das suas características, falta de capacidade do projeto, em relação ao número de máquinas, formação dos operadores, tipo de máquinas a adotar, entre outros.

Dessa forma, o seu principal objetivo passa por evitar erros de desenvolvimento e defeitos relativos ao processo, influenciado pelo *design*.

FMEA de Processo

Neste tipo de FMEA são analisadas as falhas do planeamento e execução do processo, bem como das operações dos respetivos produtos até a sua entrega ao consumidor final. Assim, são definidas ações específicas, tendo por base as não conformidades, para que o processo seja o mais seguro possível.

Conclui-se então que o seu foco passa por evitar erros de planeamento e defeitos de produção.

FMEA de Produto

Segundo Stamatis (1995), o FMEA do produto define necessidades de alterações no projeto do produto, estabelecendo igualmente prioridades para ações corretivas, auxiliando na identificação de características críticas, bem como na avaliação dos requisitos e alternativas do projeto.

Sobre a FMEA de Processo

Dado o presente trabalho ter por finalidade a otimização de processos aplicando o FMEA de Processo (PFMEA), é a esta tipologia de FMEA que será dada uma maior ênfase.

O PFMEA é um método analítico que permite identificar as falhas referentes à execução dos processos de produção da empresa tida em análise, modos de falha provocados por deficiências encontradas durante o processo de manufatura do produto, possibilitando ainda avaliar os seus efeitos e identificar as causas na sua origem. Garcia (2000) afirma que o PFMEA elimina os pontos fracos que um dado processo apresenta, reduzindo o risco de ocorrência de uma determinada falha a valores considerados aceitáveis. Trata-se de uma abordagem sistemática que serve de base de dados, documentando a linha de pensamento da equipa envolvida durante o desenvolvimento de um dado processo e sua subsequente análise.

Assim, o PFMEA formaliza os modos de falha registados no decorrer dos processos de manufatura do produto, e estabelece ações preventivas e corretivas atempadamente, ou seja, antes da fase de realização do produto. Fatores que são incorporados num determinado processo como sejam as ferramentas e equipamentos, mão-de-obra, materiais, métodos de trabalho e ambiente de trabalho

são tidos em conta na elaboração do PFMEA, dado que a sua atuação individual ou a sua interação podem desencadear uma dada falha.

Para além de ser uma abordagem sistemática, caracteriza-se ainda por ser um processo dinâmico e evolutivo, numa procura constante de definir e maximizar soluções.

Numa reunião do FMEA de Processo, o foco central de todos os envolvidos passa pela produção de produtos com ótima qualidade e bons requisitos de segurança dos processos, custo e produtividade referentes às necessidades e expectativas dos consumidores.

Uma contrariedade desta tipologia, é que se torna extremamente difícil fazer uma avaliação de todo o processo de manufatura do produto nos estágios iniciais de produção. A avaliação tende a ser realizada sequencialmente, no decorrer da produção e não apenas no início, pelo que as ilações retiradas decorrem com o passar do tempo. Assim o desenvolvimento do PFMEA tende a ser efetuado tardiamente.

É essencial contudo que qualquer revisão ou análise crítica decorra nos estágios iniciais de planeamento do processo, com o objetivo de prever, eliminar, e por fim monitorar os modos de falha potenciais dos processos que foram sujeitos a revisão ou dos novos processos.

Portanto, o PFMEA pode ser considerado um documento vivo, sendo frequentemente reaberto e atualizado pelo responsável, de forma a refletir as mudanças no processo. Contudo, mesmo que não se verifiquem mudanças, deve-se regularmente rever a análise conferindo as falhas potenciais presentes no documento, com as que se verificam no dia-a-dia do processo, com a finalidade de incorporar no PFMEA falhas não previstas.

Como já foi frisado, o PFMEA têm como principal objetivo evitar que falhas ocorram num dado processo. Esse seu carácter preventivo, procura diminuir o nível de ocorrência de risco no planeamento desses processos. O PFMEA deve assim começar o mais cedo possível de modo a otimizar:

- O sistema de qualidade;
- A produtividade e manutenção dos processos.
- O custo, uma vez que se houver alterações no decorrer do processo de manufatura ficará mais barato, e à partida menos complicado de resolver no início do processo;
- Integração dos requisitos técnicos que permitem assegurar a compatibilidade do trio funcional, programa e meio físico.

O FMEA de Processo terminará quando todas as operações forem identificadas e avaliadas, e também quando todas as características críticas forem endereçadas para o plano de controlo.

É importante referir que embora os testes de controlo detetem possíveis falhas, estes não terão impacto relevante sobre o consumidor, uma vez que o consumidor se preocupa unicamente com o produto final, não se interessando com as etapas da sua montagem (Baxter, 1998).

Todo o PFMEA deve ser bem estruturado em termos de conteúdo, de modo a ser perceptível para quem o está a visualizar.

2.5 Plano de trabalho do PFMEA

O princípio da metodologia é o mesmo, independentemente do tipo de FMEA e aplicação. A Tabela 1 do Anexo A, descreve os 6 passos de elaboração de um FMEA juntamente com a discriminação das atividades de cada passo, e serviu de suporte na elaboração do PFMEA *standard* desenvolvido no decorrer do estágio.

Apresenta-se sob a forma de formulário servindo de roteiro para a sua elaboração e desenvolvimento, além de ser uma maneira de dispor e organizar os dados relativos ao documento.

2.5.1 Passo 0: Preparação

Este passo tem a finalidade de determinar os pré-requisitos (tarefas e responsabilidades da equipa). A equipa envolvida auxilia na sua preparação, mantendo grande envolvimento em todas as etapas, atuando de forma cooperativa.

Na Figura 11 são descritas as tarefas, bem como a atribuição do membro responsável da equipa do PFMEA:

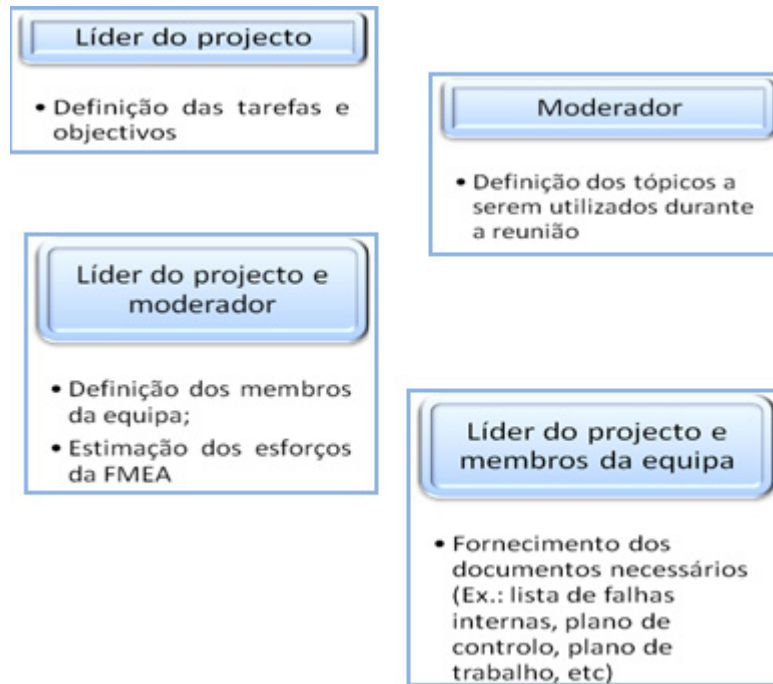


Figura 11 – Atribuição das tarefas e responsabilidades

- O *Líder do projecto* é a pessoa incumbida de coordenar o processo FMEA. Deste modo, o líder tem um papel fundamental no processo, dado que é ele que escolhe os elementos da equipa e define as funções de cada um, bem como as suas bases de trabalho, assegurando que a equipa tem os recursos disponíveis, e que está a fazer progressos no sentido de completar o FMEA. O líder deve ter aptidão de planear, documentar, efetuar auditorias, bem como tomar decisões relativos a assuntos chave. O seu papel é ser facilitador, e não o de dominar a equipa.
- O *Moderador* é o responsável por assegurar uma boa qualidade do processo de discussão. Esta é a sua maior contribuição para o sucesso do trabalho. É importante ter em mente que o moderador otimiza o processo de discussão, contudo não domina o conteúdo. Por outro lado mantém uma certa neutralidade, não participando ativamente na discussão do grupo, apenas assumindo a tarefa de promover uma discussão equilibrada da equipa. Para além de assegurar o processo de discussão, o moderador apresenta o assunto em questão, propondo regras para atingir os objetivos, monitorizando e assegurando se estas estão a ser seguidas. Assegura também que a discussão é focada no tema, evitando dessa forma a sua alienação.
- Os *Membros da equipa* têm diferentes níveis de conhecimento relativamente ao produto ou processo, contudo todos têm de conhecer o processo FMEA, e estarem preparados para o desafio, fornecendo contributos baseados na sua experiência e conhecimentos que possam trazer para o FMEA.

Quando os membros da equipa envolvida planeiam o FMEA de um modo consistente e ordenado, reduz-se expressivamente os recursos necessários para a sua criação. Nesta fase inicial de planeamento, se existir qualquer requisito de cliente, tal como a apresentação de prazos, estes têm obrigatoriamente de ser tidos em consideração.

Com o propósito de a ferramenta ter um bom desempenho com o decorrer do tempo, devem ser estabelecidos ainda nesta etapa de preparação, alguns fatores com vista ao seu sucesso (Figura 12):

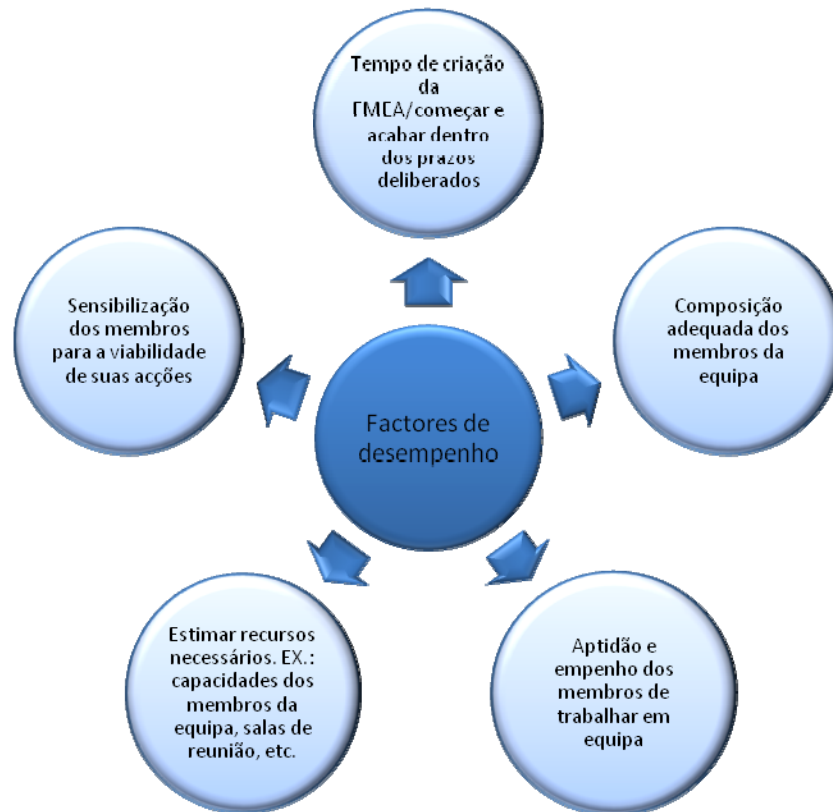


Figura 12 – Factores de desempenho para a qualidade do FMEA

Antes de serem especificadas e atribuídas funções a desempenhar pelo produto/processo, deve-se ter em consideração alguns aspetos, fundamentalmente:

- Aprender quais as atuais exigências e expectativas dos clientes e os requisitos regulamentares. As funções de um dado produto/processo devem estar sempre de acordo com os requisitos do cliente. Pois, apesar de o produto/processo desempenhar as funções corretamente, pode não estar ajustado às necessidades do cliente, desperdiçando-se tempo com a manufatura de um produto que não irá lograr no mercado, e com a consequente perda de um potencial cliente. Dessa forma, devem ser discriminados atempadamente os clientes, captando-se as suas principais necessidades, documentando-as em seguida com a finalidade de gerar determinados conceitos, que possam servir de base na adequação a essas necessidades.

- Esses conceitos devem ser discutidos e avaliados pela equipa do FMEA, tendo presente as necessidades dos clientes e a estratégia de negócio que se pretende implementar.
- Formar uma equipa do FMEA que seja eficiente e eficaz, tendo em consideração alguns pontos:
 - ✓ Discriminar a importância do projeto;
 - ✓ Participação dos membros deve ser fomentada na experiência, e as decisões apoiadas no consentimento de todos;
 - ✓ A equipa deve ser Multifuncional, podendo esta sofrer alterações no decorrer do projeto, mediante as necessidades.
- Especificar qual é o âmbito do FMEA, referente ao presente projeto.

Nesta fase de preparação, deve ser providenciado à equipa documentação específica. A equipa é incumbida de rever em detalhe todos os requisitos, de forma a verificar se estes se apresentam completos e claros.

Na Figura 13 é descrita a documentação para o FMEA do Processo, que deve estar presente na primeira reunião, bem como nas posteriores.

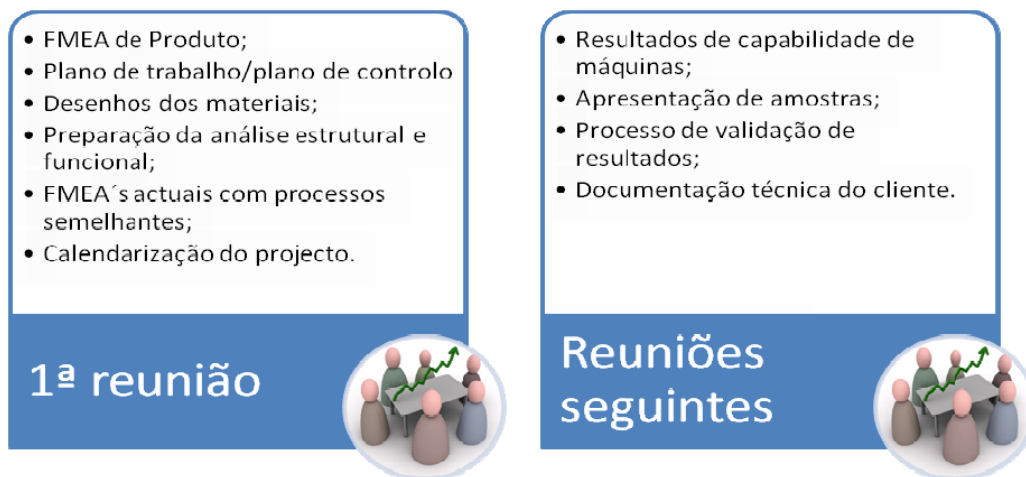


Figura 13 – Documentação do PFMEA para as reuniões

2.5.2 Passo 1: Análise Estrutural

Este passo tem como finalidade, elaborar uma compreensão global do sistema, com base numa visão geral do produto/processo através de um diagrama de blocos, identificando os elementos do sistema.

Esta estrutura é representada por um conjunto de elementos, com especificações diferentes, que estão ligados entre si por relações. A lógica dessas relações é feita sequencialmente.

O FMEA estruturado é uma abordagem recomendada para a análise de processos, em que o processo é descrito na forma de uma estrutura onde são representadas as etapas.

A cada processo são atribuídas funções, e a cada função, suas respectivas falhas potenciais, garantindo-se assim uma análise detalhada e completa do processo. Estas falhas potenciais são encadeadas, formando desse modo uma árvore de falhas. Existem três níveis consecutivos da árvore, o Efeito, a Falha Potencial, e por último a Causa Potencial de Falha.

2.5.3 Passo 2: Análise Funcional

Este passo tem o intuito de elaborar uma visão geral da funcionalidade do processo, de detetar efeitos recíprocos e ainda de estabelecer um entendimento das funções. Assim, esta análise funcional consiste numa lista de funções a serem desempenhadas pelo processo em questão.

Na formulação das funções deve estar especificado o desempenho mínimo requerido tanto no início do funcionamento do processo, bem como durante as fases de utilização e manutenção do mesmo. Neste passo certos fatores devem ser considerados, tais como, procedimentos operacionais durante o funcionamento do processo, procedimentos de realização de testes, tipo de controlo a realizar durante o processo, etc.

Dado que um processo envolve uma série de operações, a sua funcionalidade descreve de que modo determinada operação deve ser realizada. De cada operação de processo podem advir diferentes modos de falha potenciais, pelo que no FMEA Standard houve necessidade de listar cada uma das funções de determinada operação de manufatura do produto como operações separadas.

Qualquer que seja a função adjacente a uma dada operação, esta liga-se às entradas e saídas de um determinado processo, com o fundamento de concretizar a tarefa para o qual foi formulada (Figura 14). A sua formulação tem de ir ao encontro do elemento funcional do processo, objetivando-se assim que cada elemento do processo tem de ser descrito por funções. Estas funções dos processos, já inseridas nos PFMEAs, são fruto de um conhecimento abrangente do processo produtivo, nomeadamente as suas condições de funcionamento.

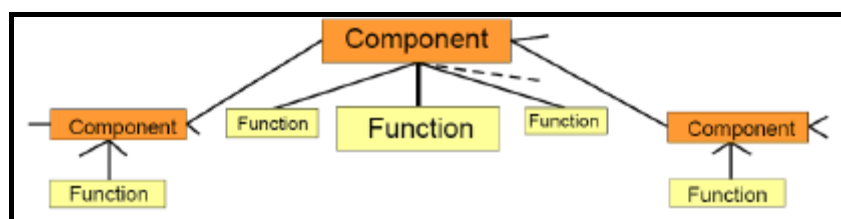


Figura 14 – Modelo exemplar inicial da ligação entre funções (Bosch, 2009)

Na elaboração de um PFMEA devem ser atribuídas e listadas funções para todos os componentes de um dado produto, ou de um determinado processo. Essas funções devem ser ligadas entre si de modo a formar as *functional nets*. De salientar que um componente de um sistema pode ter uma ou mais funções acopladas a si.

2.5.4 Passo 3: Análise de Falhas

O passo 3 fundamenta-se na detecção e averiguação de potenciais falhas das funções derivadas e ainda na ligação dessas falhas, originando as *Failure network*.

Pode-se dizer que os modos potenciais de falha são a forma como a disfuncionalidade se manifesta, ou seja, são o resultado de não ser possível a concretização de uma dada função, ou ainda, a maneira pela qual o processo potencialmente falharia em atender os requisitos de um determinado processo. Pelo que se entende facilmente que as falhas das funções são derivadas das próprias funções. Assim, um bom desenvolvimento desta fase depende muito de uma boa formulação das funções das operações de processo.

Devem ser atribuídos e acoplados modos de falhas a todas as funções presentes na estrutura do FMEA tendo em consideração o conteúdo de cada uma (Figura 15).

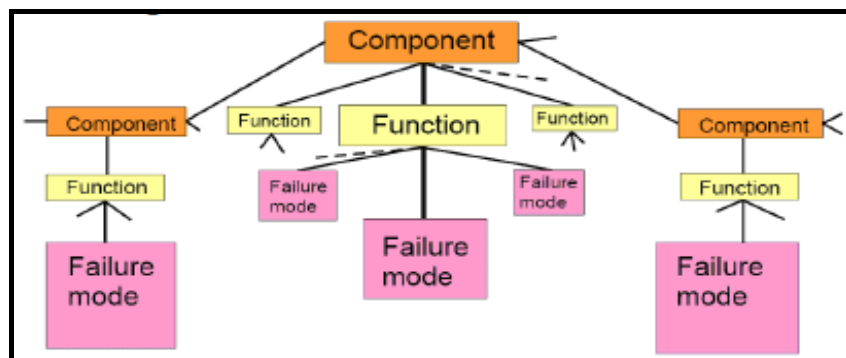


Figura 15 – Modelo exemplar da ligação entre funções acopladas a modos de falha (Bosch, 2009)

Implementados os modos de falha para cada função, efetua-se a ligação entre eles, como exemplificado na Figura 16.

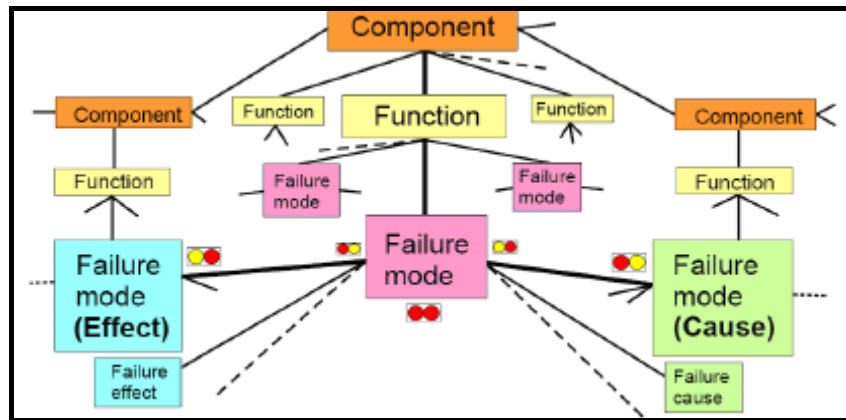


Figura 16 – Modelo exemplar da ligação entre modos de falha (Bosch, 2009)

Assim, quando se criam *failure nets*, começa-se sempre por ligar o elemento central, ou seja, os modos de falha aos efeitos, e posteriormente as causas aos modos de falha, de acordo com a Figura 17.

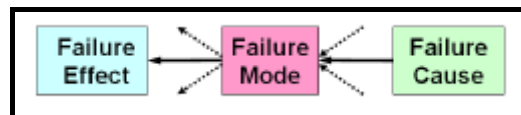


Figura 17 – Sentido da ligação de um modo de falha (Bosch, 2009)

Segundo Slack (1996), qualquer falha é determinada de modo parcial pelo efeito, efeito esse que gerará no desempenho de toda a produção da empresa.

É determinante descortinar para cada função de processo os modos de falha respetivos, para que se possam conectar entre si, dando origem às *failure nets*.

De salientar que devem ser distinguidos quatro tipos de falhas, como mostra a Figura 18:

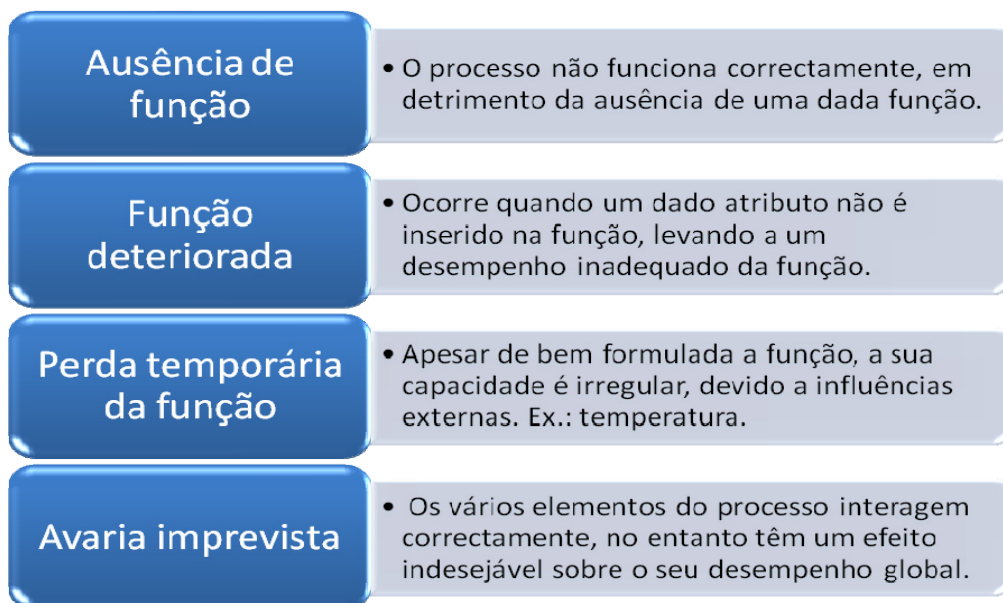


Figura 18 – Tipos de falhas detectáveis num dado produto/processo

É importante reter que falha e defeito não apresenta o mesmo significado. Scapin (1999) menciona que uma falha ocorre quando um determinado componente ou sistema deixam de desempenhar a função para o qual foram inicialmente desenvolvidos. Um defeito refere-se a um componente ou sistema que não segue a especificação técnica exigida.

2.5.5 Passo 4: Análise de ações

A avaliação de um determinado risco envolve a incorporação de três fatores: um potencial efeito da falha, um potencial modo de falha, e ainda uma potencial causa da falha, discriminando a gravidade do seu efeito, a probabilidade de ocorrência do modo de falha, bem como a detecção da causa/ do modo de falha/ do efeito da falha. O processo de avaliação do risco inclui ainda a etapa de definição de medidas de prevenção e detecção. Puente et all (2002) referem que o FMEA permite fazer uma avaliação da severidade de cada falha relativo ao impacto causado nos clientes, assim como a probabilidade de ocorrência e detecção antes de chegar ao cliente.

A severidade atribuída a um modo de falha (S) é uma classificação associada ao efeito mais grave para um dado modo de falha, ou seja, é uma avaliação da gravidade do efeito do modo de falha potencial tanto para o produto/processo e/ou o cliente. Os critérios de utilizados podem ser consultados na Tabela 2 do Anexo B. Este valor só poderá ser alterado caso se verifique uma alteração das características do conceito do produto ou alteração das características do processo.

Deste modo basta analisar todos os critérios, e definir qual é que está de acordo com o efeito do modo potencial de falha.

No caso de um modo de falha apresentar mais de um efeito, o seu valor de severidade deve ser anotado entre parênteses, após o efeito. O seu campo de severidade deve ser preenchido com o valor mais elevado.

As ações destinadas a evitar que a maioria das falhas ocorram, são todas as ações preventivas implementadas no produto, processo, ou *design*, de forma a evitar a causa da falha ou atenuar a sua ocorrência.

Devem ser então implementadas estratégias, que diminuam essa probabilidade de falhas, e que se aprenda com as falhas que acontecem. Essa prevenção repercute-se numa melhoria da produção.

Apesar de haver uma classificação de falhas, Moubray (1997) refere que a origem de todas as falhas é algum tipo de erro humano. É importante que as empresas possam controlar as falhas até um certo ponto, e que aprendam com elas a mudar o seu comportamento. É muito importante enfatizar a

importância de prevenção de falhas em sistemas em que a continuidade operativa assume especial relevo.

Nos FMEAs de processo sempre que são estabelecidas ações, estas devem prevenir/minimizar a falha do produto/processo, pelo que devem ser formuladas de forma clara, e sejam o mais compreensível possível para o colaborador.

Ainda no FMEA de processo, a prevenção de falhas pode ser categorizada da seguinte forma:

- Monitorização dos parâmetros críticos de processo com limites de controlo;
- Processo verificado;
- Desativação do abastecimento de linhas;
- Paragem da máquina e posterior aviso com a possibilidade de uma intervenção corretiva;
- Entre outros.

2.5.5.1 Probabilidade da ocorrência

Classifica a probabilidade de um modo de falha ocorrer como consequência de uma determinada causa. A implementação de ações para evitar que essa causa do modo de falha ocorra tem em conta esta classificação, que pode ser consultada na Tabela 3 do Anexo C. É possível observar que os defeitos são baseados no número de defeitos que se espera que ocorram relativamente ao tempo de vida do produto.

Devendo ser considerado para este índice a ocorrência referente ao modo de falha, são consultadas estações de inspeção ou verificação.

Uma forma de reduzir o índice de ocorrência, passa por prevenir ou controlar as causas através de uma alteração no processo de manufatura. Sempre que não forem descritas quaisquer ações de prevenção, a avaliação da ocorrência deve ser igual a 10.

No que toca às FMEAs de processo, o insucesso referido na tabela de classificação deve-se a falhas que ocorrem no processo produtivo.

2.5.5.2 Detecção de falhas

A deteção da falha é realizada comparando o desempenho de determinadas medidas com alguma expectativa de desempenho, de forma a detetar um desvio dos requisitos inicialmente estabelecidos. No FMEA de Processo é sempre dada prioridade à deteção da fonte do problema.

Nessa tipologia, a deteção de falhas é categorizada de acordo com alguns aspetos:

- Testes das amostras,
- Monitorização dos parâmetros do processo/produto;
- 100% Inspeção Visual Manual
- Testes de acordo com o Plano de Controlo;
- Entre outros.

A probabilidade de deteção (D) classifica qual é a probabilidade de se detetar o modo de falha através de medidas de inspeção antes que seja transferido para o cliente.

No caso de haver ações que só permitem a deteção da falha somente após a sua entrega ao cliente são avaliados com $D = 10$, ou quando não é possível realizar a deteção, ou esta não é realizada. Os critérios de classificação utilizados podem ser consultados na Tabela 4 do Anexo D.

Na probabilidade de deteção apenas se avalia a eficácia das ações de deteção, e não a quantidade de falhas detetadas. No caso do FMEA do processo são avaliados continuamente a sua capacidade de acompanhamento.

O sucesso dessas ações de deteção passa pela sua comprovação e posterior documentação das mesmas.

2.5.5.3 Avaliação do risco (S,O,D)

O Número de Prioridade de Risco (RPN) é o indicador geral da importância da falha, resultante da composição dos três índices, já referenciados. O seu cálculo é o produto das três avaliações S, O e D, conforme se pode verificar Figura 19.

A finalidade da avaliação de risco é dar prioridade aos itens críticos e com altos índices de RPN, recomendando soluções para a sua otimização. Os modos de falha que apresentam uma maior severidade e um alto valor de RPN, ou seja, superior a 125 são os que prioritariamente necessitam de implementação de ações recomendadas.

Assim, os elementos com um RPN mais elevado são os que requerem maior prioridade, na necessidade de ações de melhoria. Algumas regras são utilizadas na sua avaliação, fundamentalmente:

- Se $RPN > 125$, há necessidade de recorrer a ações de melhoria,
- Se $50 < RPN < 125$, ações de melhoria contínua são tomadas, com o intuito de alcançar os objetivos de qualidade.

Figura 20 – Excerto da folha do *Deadline Editor* (Adaptado de Barros, 2008)

Quando um dado FMEA é publicado, é obrigatório que:

- Todas as ações tenham um responsável;
- Todas as ações tenham subjacente uma *deadline* (prazo final);
- Não existam ações em atraso (caso ocorram são assinaladas a vermelho). Ações com prazos de finalização em atraso devem ser clarificadas em conjunto com o pessoal responsável da equipa do FMEA.

Para um melhor manuseamento por parte dos responsáveis, o OPL pode ser convertido numa folha de Excel.

Nessa linha de pensamento torna-se necessário criar um OPL em formato Excel. Nesse sentido começa-se por abrir o *Deadline Editor* que se pretende analisar, e seleciona-se em seguida o “*FMEA Form*”. Exporta-se então o OPL para um documento HTML, e por último, abre-se o documento HTML que se quer importar por intermédio da macro *Import from FMEA-Protocoll* presente no Excel e grava-se em formato Excel (Figura 21).

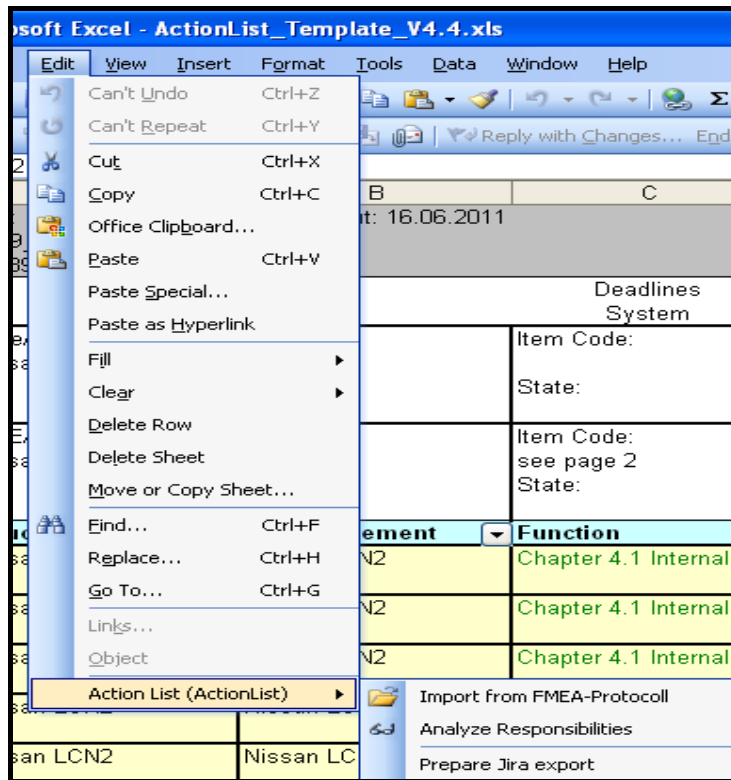


Figura 21 – Visualização da macro *Import from FMEA-Protocoll*

Na Figura 22 está representado um pequeno extrato da folha OPL (*Open Point List*) do ficheiro em Excel relativo ao colaborador Dias do departamento BrgP/QMM6, em que são listadas independentemente do estado em que se encontram, as ações provenientes das *deadlines* do IQ-RM. Cada responsável deverá editar nas células em branco o *status* de cada ação que lhe é subjacente, bem como a sua descrição, onde mudanças que poderão ocorrer serão marcadas.

Structure	System Element	Function	Effects	Failure Mode	Causes	C	Preventive Action	Detection Action	Date	Responsibility	Status	Description
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Front frame, complete (front frame+angle+snapfit springs)	Mountability of front frame to casing	Device does not allow to be installed in dashboard or installation slot	Front frame gets twisted, not properly aligned towards housing	Insufficient vibrational strength			Reliability inspection: assessment after vibration test on off-tool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	Please test with big bezel. Schedule to be revised to 19.8.11
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Front frame, complete (front frame+angle+snapfit springs)	Mountability of front frame to casing	No function, complete front panel failure	Front frame gets twisted, not properly aligned towards housing	Insufficient vibrational strength			Reliability inspection: assessment after vibration test on off-tool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	Please test with big bezel. Schedule to be revised to 19.8.11
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Light guide for "feedback" control Climatic (1-4,6-9)	Vibrational strength of light guide	Fascia illumination not according to specification	No proper vibration resistance, light guide detaches from key guidance element	Light guides and key guidance element not properly dimensioned			Reliability inspection: verification of light guide's tight fit with off-tool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	Inspect, whether light guides at CD slot are loose after temperature. revised schedule 19.8.11
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Front frame, complete (front frame+angle+snapfit springs)	Stability of front frame	Poor quality appeal of the front panel	No sufficient stability of front frame	Wrong design of parts			Reliability inspection: assessment after vibration test with off-tool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	Please test with big bezel. Schedule to be revised to 19.8.11
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Front panel with black lacquer and attachment of Center Stack Bezel	Front panel must offer the corresponding climatic strength	Change of material conditions caused by inadequate climatic strength, e.g. corrosion, water absorption	Water absorption of material	Wrong material selection			Reliability inspection: verification after climatic test on offtool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	dimensional control before and after temperature change test with big bezel necessary. Schedule revised to 19.8.11
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Front panel with black lacquer and attachment of Center Stack Bezel	Front panel must offer the corresponding climatic strength	Poor front panel stability	No proper temperature stability at over/under temperature	Wrong material selection			Reliability inspection: verification after climatic test on offtool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	dimensional control before and after temperature change test with big bezel necessary. Schedule revised to 19.8.11
Ford HSMCA - front panel and fixing unit	Front panel with black lacquer and attachment of Center Stack Bezel	Front panel must offer the corresponding climatic strength	Change of material conditions caused by inadequate climatic strength, e.g. corrosion, water absorption	No proper temperature stability at over/under temperature	Wrong material selection			Reliability inspection: verification after climatic test on offtool parts	16.08.2011	Dias, ErgP/QMM6	in revision	dimensional control before and after temperature change test with big bezel necessary. Schedule revised to 19.8.11

Figura 22 – Excerto da folha do *Deadline Editor* em formato excel

A Figura 23 folha diz respeito a um extrato da *Action List*, que deve estar sincronizada com a folha OPL, e vice-versa, ou seja, sempre que se verificarem alterações numa, devem ser verificadas na outra.

Da observação da tabela, verifica-se que esta é constituída pelas colunas *failure cause*, *responsible* e *action*, ao contrário do que acontece na tabela do OPL-File.

FMEA							
Ilo.	Failure Cause	C	Action	Responsible	Date	Status	Description
0162b	Insufficient vibrational strength		Reliability inspection: assessment after vibration test on off-tool parts	Dias, ErgP/QMM6	16-08-2011	in revision	Please test with big bezel. Schedule to be revised to 19.08.11
0162b	Light guides and key guidance element not properly dimensioned		Reliability inspection: verification of light guide's tight fit with off-tool parts	Dias, ErgP/QMM6	16-08-2011	in revision	Inspect, whether light guides at CD slot are loose after temperature. revised schedule 19.08.11
0162b	Wrong design of parts		Reliability inspection: assessment after vibration test with off-tool parts	Dias, ErgP/QMM6	16-08-2011	in revision	Please test with big bezel. Schedule to be revised to 19.08.11
0162b	Wrong material selection		Reliability inspection: verification after climatic test on offtool parts	Dias, ErgP/QMM6	16-08-2011	in revision	Please check with tests performed on small bezel, as metal parts are identical.

Figura 23 – Excerto da folha *Action List*

Esta tabela tem assim a particularidade de reduzir a lista de ações da folha OPL, nos casos em que se verificarem duplas entradas, pelo que se pode dizer que a *Action List* foi criada com o intuito de se reduzir informação.

É a vez de atuar na folha *Responsibles*. Por intermédio da macro *Analyse Responsibilities*, a folha *Responsibles* é atualizada automaticamente, ou seja, é realizada uma contagem do estado das ações da folha *Action List* e transferida para a tabela representada na Figura 24.

Department	Name	Closed	Open	Abandoned	Sum
Total		61	58	2	121
CM-AI/PJ-FO27	Baulecke	3	0	0	3
BrgP/QMM6	Dias	0	4	0	4
BpP/COS2	Hütter	35	8	0	43
CM-AI/PJ-FO21	Kasseborn	1	10	0	11
CM-AI/PJ-VC22	Keindorff	10	2	2	14
CM/MFI13	Kottutz	6	0	0	6
CM/PUQ-M	Machado	0	11	0	11
BpP/ENG1	Meinck	0	3	0	3
BrgP/COS	Meireles	0	2	0	2
CM-AI/PJ-VC25	Mikat	2	2	0	4
CM/QMM2-EMV	Miraglia	0	1	0	1
CM/PUQ-M	Reinhold	4	0	0	4
CM/MFI2-PM	Reis	0	15	0	15

Figura 24 – Representação da tabela *Responsibles*

Na tabela *Responsibles*, o estado das ações são repartidos em três classes, *Closed (completed)*; *Open (in revision)*; e *Abandoned*. A contagem dessas ações diz respeito a um dado colaborador de um determinado departamento.

Essa contagem pode também ser traduzida por intermédio de um gráfico, em que no eixo dos xx são representados os responsáveis, e no eixo dos yy o número de ações diferidas através do estado por cada responsável, conforme se pode verificar na Figura 25.

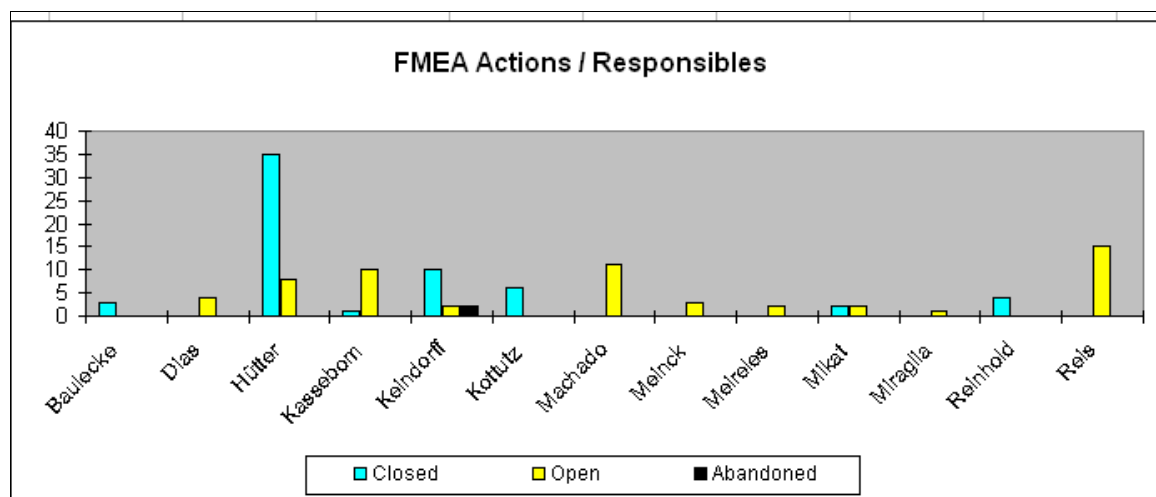


Figura 25 – Gráfico *FMEA Actions/Responsibles*

Posteriormente é enviado um e-mail às pessoas responsáveis, com o intuito de as alertar sobre a obrigatoriedade de lidar com a ação que não foi ainda completada, e que permanece então em aberto.

As ações que foram discriminadas durante a elaboração do FMEA, devem ser planeadas tendo em consideração algumas prioridades:

- Devem ser estabelecidas possíveis mudanças do processo e sua posterior otimização, de forma a eliminar as causas do modo de falha de alto risco. A probabilidade de ocorrência desse modo de falha deve ser reduzida para um nível aceitável, para que o processo respeite assim os requisitos estabelecidos;
- Os responsáveis pelas ações e os seus prazos devem estar definidos.

Sempre que qualquer ação esteja finalizada, deve ser verificada a eficácia da sua atuação. O responsável da ação comunica o responsável do FMEA sobre os resultados obtidos, cabendo a este último atualizar as tabelas.

Se existirem resultados negativos devem ser concentrados esforços na implementação de ações suplementares de otimização.

Sempre que as ações atinjam o sucesso que foi inicialmente previsto, estas devem mesmo assim sofrer um processo de revisão.

3 ANÁLISE DA ESTRUTURA DO PFMEA STANDARD

Uma das atividades desenvolvidas no decorrer do estágio, passou por criar uma estrutura *standard*. Para a sua construção foram efetuadas reuniões envolvendo a participação da equipa do FMEA do departamento TEF2. O *brainstorming* foi um dos métodos utilizados para o desenvolvimento de estratégias, permitindo fomentar novas ideias, conceitos e soluções relativos à análise da estrutura *standard*. Essas reuniões decorreram num ambiente de trabalho livre de críticas e sem quaisquer restrições à imaginação dos presentes.

Foi efetuado pelo aluno, uma análise criteriosa do histórico dos PFMEAs da empresa, de forma a recolher a informação essencial relativa aos efeitos, funções dos processos, modos de falha e suas causas, de acordo com o que foi estabelecido nas reuniões. Contudo não bastou alocar esses parâmetros para o modelo PFMEA, resultado de uma má formulação desses elementos, pelo que houve necessidade de fazer alguma reestruturação do seu conteúdo. Por outro lado, foram criados um conjunto de funções para a alocação dos efeitos de forma a estes serem dispostos por grupos, bem como o estabelecimento de funções para cada um dos cinco tipos de causa (5Ms).

Esta estrutura serve de alicerce à equipa de trabalho, usufruindo da informação que se encontra normalizada em cada bloco, auxiliando dessa forma no suporte para cada novo PFMEA. Permite ter representado as falhas mais comuns no processo e a identificação das suas causas, funcionando como uma ferramenta de “*lessons learn*”.

A criação de *functional networks* tem por objetivo ajudar a pensar de forma sistemática e obrigando a analisar o produto/processo sob a forma de funções, com o intuito de garantir que todas as possíveis falhas por incumprimento dessas funções são discutidas nas reuniões do FMEA.

Na Figura 26 pode-se observar a estrutura da árvore PFMEA *Standard* desenvolvida no decorrer do estágio. Conforme se pode visualizar, a árvore é constituída pelos processos de manufatura do produto existentes na empresa, desde a entrada de materiais até à expedição do produto final. A estrutura ramificada mostra o fluxo do processo.

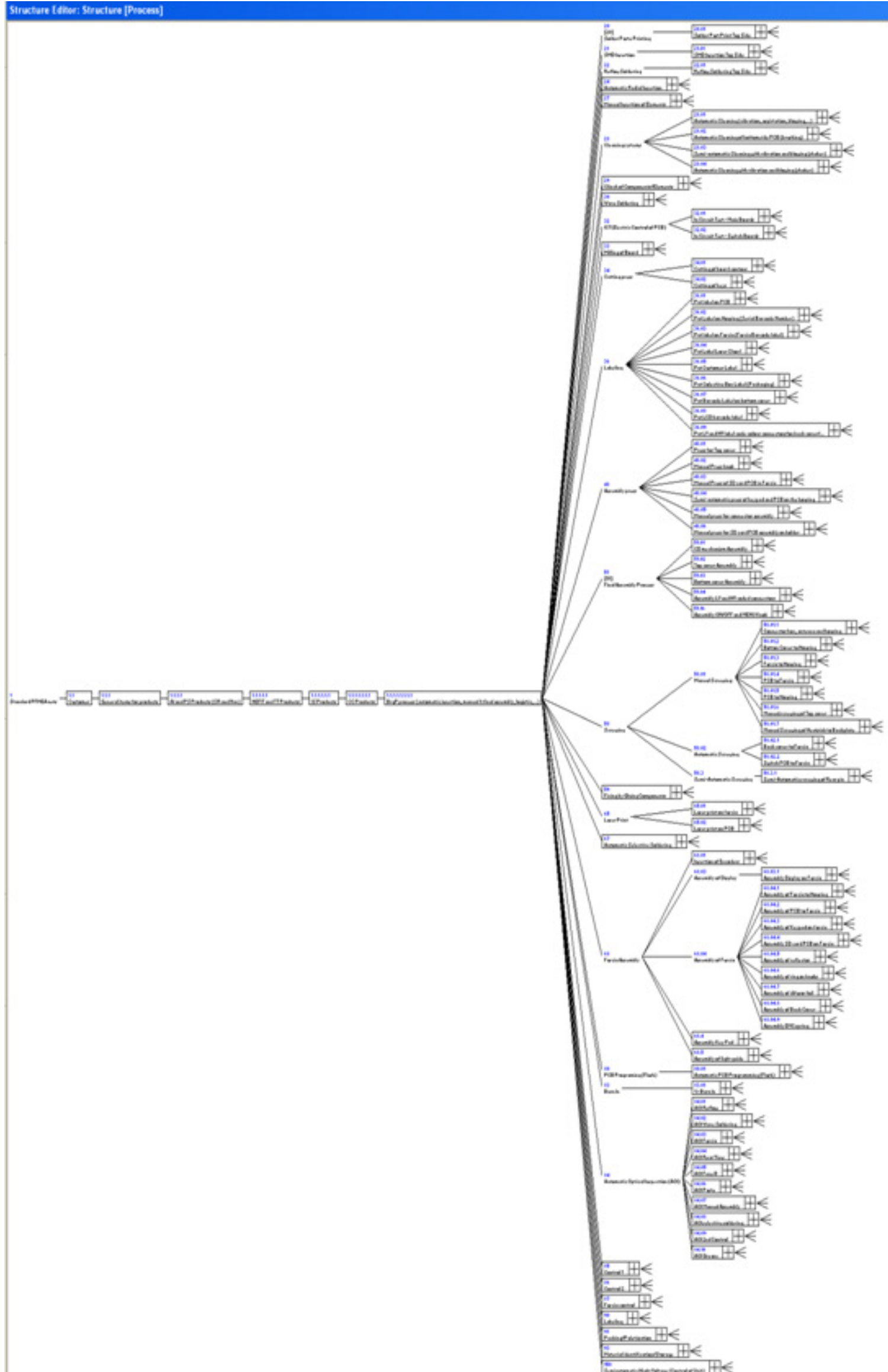


Figura 26 – Representação do PFMEA standard desenvolvida no estágio

3.1 Análise estrutural referente aos efeitos

A estrutura do PFMEA Standard representada na Figura 27 começa por enumerar uma série de blocos referentes aos efeitos dos modos de falha. Os efeitos foram repartidos em três classes, mediante a sua atuação no cliente, produto, e ainda no processo.

Pode-se dizer que um efeito do modo de falha, é a maneira ou a forma de como o modo de falha se manifesta, ou como este é percebido ao nível do processo.

Por conseguinte, são listadas as consequências dos efeitos potenciais negativos, quer ao nível do rendimento do componente que está a ser processado, quer ainda relativo ao descontentamento derivado de uma disfuncionalidade em termos de segurança ou exigências regulamentares.

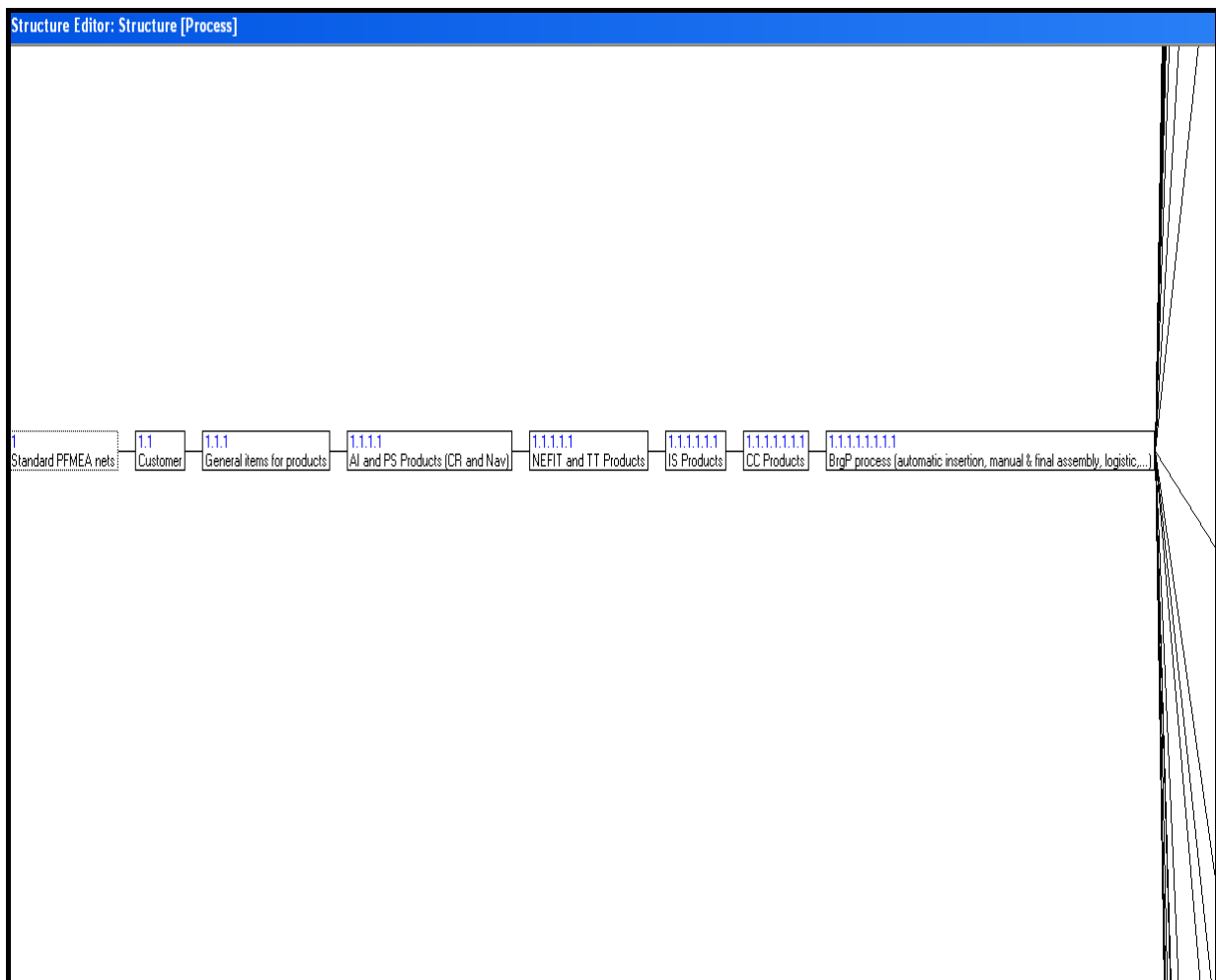


Figura 27 – Parte inicial da estrutura Standard referente aos efeitos

3.2 Análise do bloco Standard PFMEA nets

O modelo estrutural inicia-se com um bloco “*Standard PFMEA nets*”, apenas de cariz visual, indicando tratar-se de um FMEA de Processo Standard, composta por ligações tanto ao nível das funções de cada elemento, como dos modos de falha ao qual estão acoplados.

3.3 Análise do bloco Customer

Segue-se o bloco “*Customer*”, em que o Efeito Potencial da Falha é definido como o efeito do modo de falha no cliente. Neste ponto é necessário conhecer os clientes envolvidos. Nesse sentido, este bloco foi desenvolvido tendo em conta o cliente externo, que é quem vai utilizar o produto, podendo ser o proprietário do veículo e/ou o revendedor.

Existe sempre pressão em tentar cumprir uma variedade complexa de requisitos exigidos pelos clientes, assim nesse sentido foi criado um bloco respeitante ao cliente com um conjunto de funções que transmitem a necessidade de se cumprir e assegurar determinadas atividades, de forma a ter-se capacidade de resposta às suas necessidades (Figura 28).

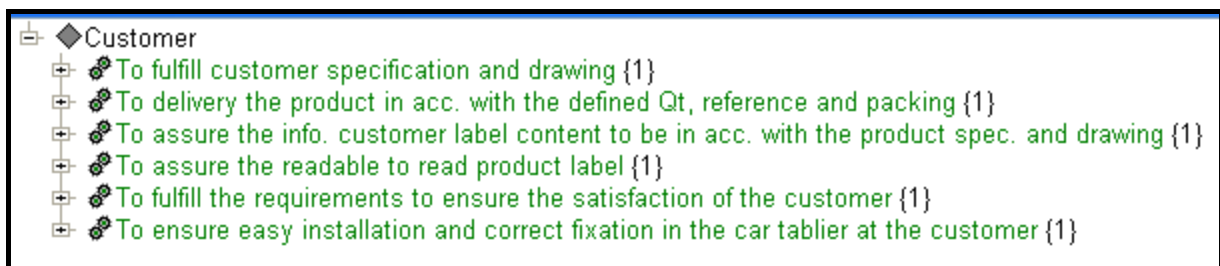


Figura 28 – Lista de funções a desempenhar relativas ao cliente

Quando algum requisito/especificação não é cumprido, por ter um determinado tipo de falha, pode causar, no mínimo uma insatisfação no consumidor, ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo, ou então um tipo de falha mais grave com consequências drásticas para este. No entanto, em ambos os casos gera-se um determinado efeito no cliente.

Na Figura 29 são apresentados alguns efeitos quando o panorama de entrega de um dado produto não respeita a quantidade inicialmente definida, a referência não está de acordo com o pedido do cliente, ou ainda, quando as normas de embalagem não são cumpridas.

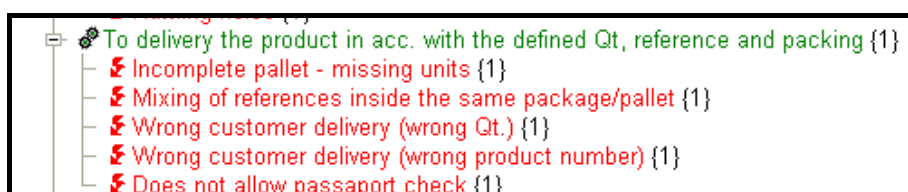
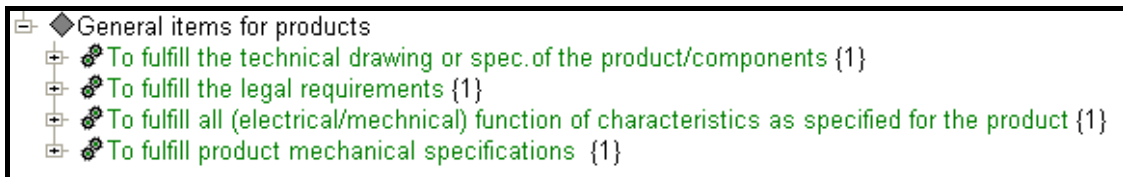


Figura 29 – Possíveis efeitos relativos a uma dada função do bloco “Customer”

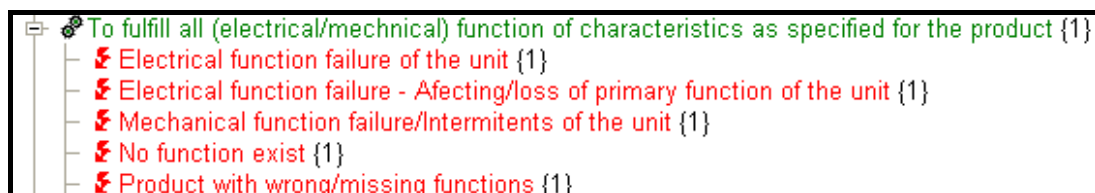
3.4 Análise do bloco General itens for products

Conectado ao bloco “Customer” encontra-se o bloco “General itens for products”. Foi criado com a finalidade de servir de base de dados dos efeitos que podem ocorrer na generalidade dos produtos da empresa. Tendo presente essa particularidade, foram formuladas funções que pudessem abranger a totalidade dos produtos, conforme se pode observar na Figura 30.

**Figura 30 – Lista de funções respeitantes à generalidade dos produtos**

Uma vez que todos os produtos existentes na empresa são aparelhos de natureza eletrónica, existe uma alta probabilidade de que algum componente do produto avarie. A sua constituição mecânica é também um fator suscetível à ocorrência de falhas.

Nessa linha de pensamento foi criada uma função, que passa pelo cumprimento das características das funções elétricas/mecânicas especificadas para os produtos (Figura 31). Um incumprimento dessa função originará alguns efeitos que são gerais para todos os produtos, tal como a falha da função elétrica de uma dada unidade.

**Figura 31 – Possíveis efeitos relativos a uma função do bloco “General itens for products”**

3.5 Análise dos blocos dos produtos “AI e PS”; “NEFIT e TT”; “IS” e “CC”

A Bosch fabrica uma grande variedade de produtos e serviços dos mais variados tipos, como aparelhos eletrodomésticos e acessórios de automóveis.

Tendo então subjacente essa variedade, foram criados 4 blocos, cada qual correspondendo a uma classe de produtos diferentes. Listaram-se os efeitos para cada classe de produtos em particular.

Em seguida, são discriminadas as quatro classes de produtos fabricados na empresa Bosch, em Braga.

Assim, ligado ao bloco “*General Items for products*” encontra-se o bloco “*AI and PS Products (CR and Nav)*”. São estabelecidas para esta classe de produtos determinadas funções. Funções estas, que foram formuladas com a finalidade de fazer cumprir certos requisitos para esse tipo de produto em particular (Figura 32).

De salientar que algumas funções se repetem numa ou mais classes de produtos, embora não se aplicarem na generalidade.

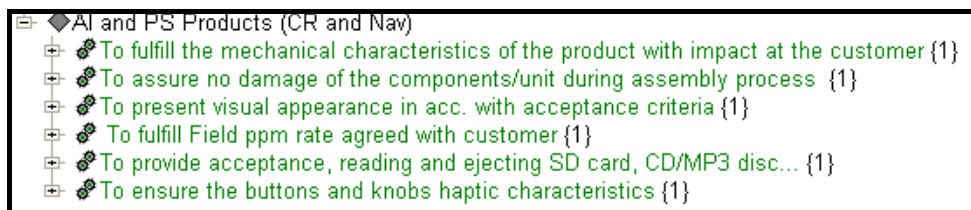


Figura 32 – Lista de funções do bloco “AI and PS Products (CR and Nav)”

Com a ocorrência frequente de falhas ao nível da aceitação, leitura e ejeção do SD *card*, bem como do CD/MP3 *disc*, deste tipo de produtos, foi criada uma função de forma a garantir que esse tipo de falhas não ocorra. Na Figura 33 é possível observar alguns dos efeitos resultantes de um não cumprimento da função.

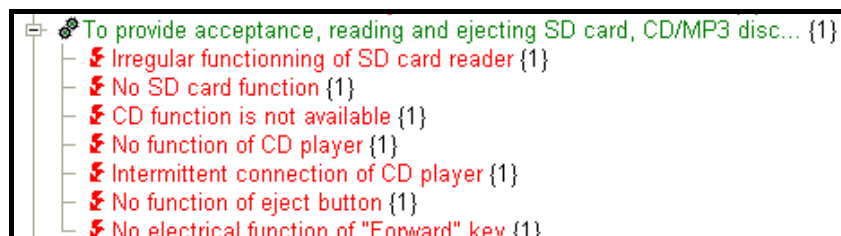


Figura 33 – Efeitos do incumprimento da função

Segue-se o bloco “*NEFIT and TT Products*”. Este tipo de produtos não pertence à divisão CM (Car Multimédia), mas são produzidos em Braga, daí fazerem parte deste projeto. Na Figura 34, são apresentadas as funções para essa classe de produtos.

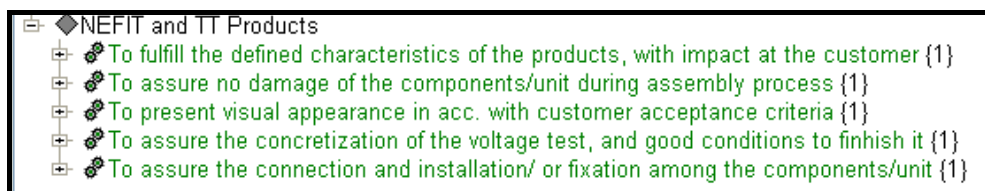


Figura 34 – Lista de funções do bloco “NEFIT and TT Products”

Uma particularidade deste tipo de produtos diz respeito ao teste de voltagem. Nesse sentido foi formulada uma função com a finalidade de assegurar a concretização desse mesmo teste, bem como

garantir boas condições para a sua finalização. Na Figura 35 são representados dois efeitos resultantes do seu incumprimento: a impossibilidade de realizar o teste de alta voltagem, e o de não se assegurar o isolamento elétrico entre os picos de voltagem.

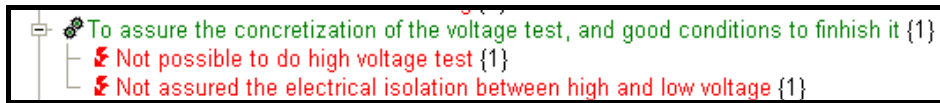


Figura 35 – Efeitos do incumprimento da função

No bloco “IS Products” os produtos em causa são fundamentalmente displays. Na Figura 36 estão formuladas as funções para esta classe.

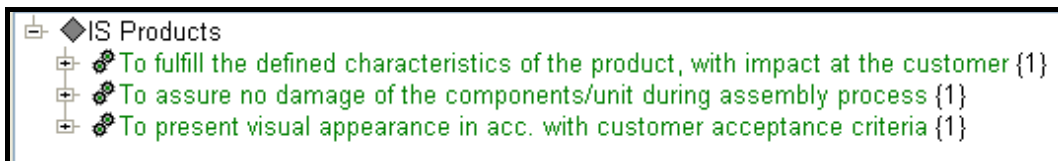


Figura 36 – Lista de funções do bloco “IS Products”

Os displays são um tipo de produto que nem sempre está de acordo com o critério de aceitação do cliente. Tendo em atenção este ponto negativo, a Figura 37 mostra a função que tenta assegurar a aparência visual de acordo com as especificações do cliente.

A fraca aparência estética do display é um dos efeitos que surge frequentemente.

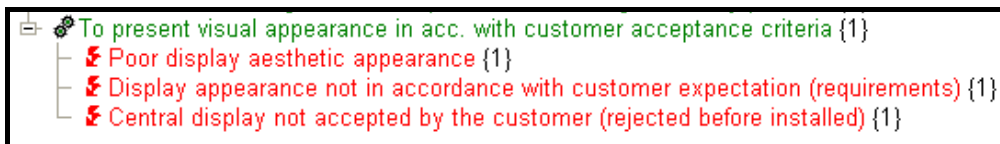


Figura 37 – Efeitos do incumprimento da função

O bloco “CC Products” é o último dos quatro blocos representados no modelo standard. Nesta classe de produtos foram definidas apenas duas funções, apresentadas na Figura 38.

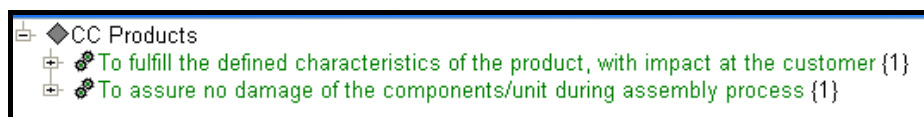


Figura 38 – Lista de funções do bloco “CC Products”

É exposto neste bloco uma função, que apesar de se encontrar nos três blocos anteriores, apresenta alguns efeitos que são específicos de cada tipo de produto. A função descreve que se deve cumprir as características definidas para o produto, com impacto no cliente. A Figura 39 expõe um dos efeitos da sua não execução, é a falha de uma função relativa a uma unidade de produto.

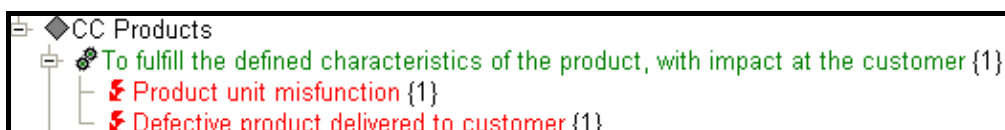
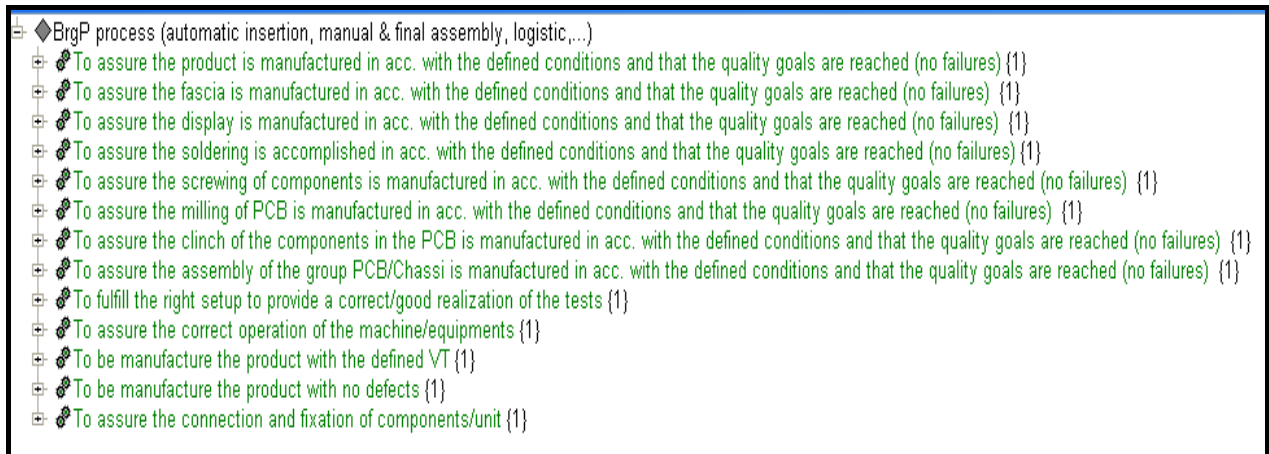


Figura 39 – Efeitos do incumprimento da função

3.6 Análise estrutural referente aos efeitos de processo

Dado por concluídos os efeitos ao nível do produto, seguem-se os efeitos de processo (os efeitos imediatos com impacto no processo), denominados de efeitos internos.

Na Figura 40 pode-se ver um conjunto de funções, cujo objetivo passa por assegurar que o produto seja produzido nas condições que inicialmente foram estabelecidas e que as metas de qualidade sejam alcançadas. É fulcral também assegurar um correto funcionamento das operações de produção, bem como das máquinas utilizadas na manufatura do produto. De salientar também a necessidade de o produto ser produzido dentro do tempo pré-estabelecido, e se possível sem defeitos.

**Figura 40 – Lista de funções relativas aos processos do BrgP**

Na Figura 41 é descrita a função referente à operação de aparafusamento, fundamentando-se na necessidade de assegurar que o aparafusamento dos componentes seja realizado em concordância com as condições definidas, e ainda que as metas de qualidade sejam alcançadas, sem que ocorra nenhuma falha durante o seu processamento.

Muitos são os efeitos que podem ocorrer nesse processo, em detrimento de uma execução não correta da função, como o parafuso não estar totalmente enroscado, parafuso degradado em consequência de o mecanismo não estar bem fixado, etc.

☞ To assure the screwing of components is manufactured in acc. with the defined conditions and that the quality goals are reached (no failures) {1}
☞ Screw not totally screwed (get stuck) {1}
☞ Screw filet damaged - get loose with vibration in field {1}
☞ Screw get stuck inside mechanism {1}
☞ Screw from top cover not completely tightened {1}
☞ Screw overturned can be loose {1}
☞ Screw overturned - mechanism not well fixed {1}
☞ Difficulties during screwing {1}
☞ Difficulties during the automatic screwing of backcover {1}
☞ Not possible to screwing {1}
☞ Not possible to make the screwing operation in the next step {1}
☞ Short caused by the screw {1}
☞ Torque not reached {1}
☞ Difficulties on screwing of the top cover and mechanism {1}
☞ Possibility of the screw get loose {1}

Figura 41 – Efeitos do incumprimento da função

3.7 Análise estrutural referente aos modos de falha

Descritos de uma forma geral os blocos referentes ao efeitos no cliente, produto, e também no processo, segue-se agora uma análise relativa aos potenciais modos de falha dos processos de manufatura do produto, bem como as causas que influenciam o processo.

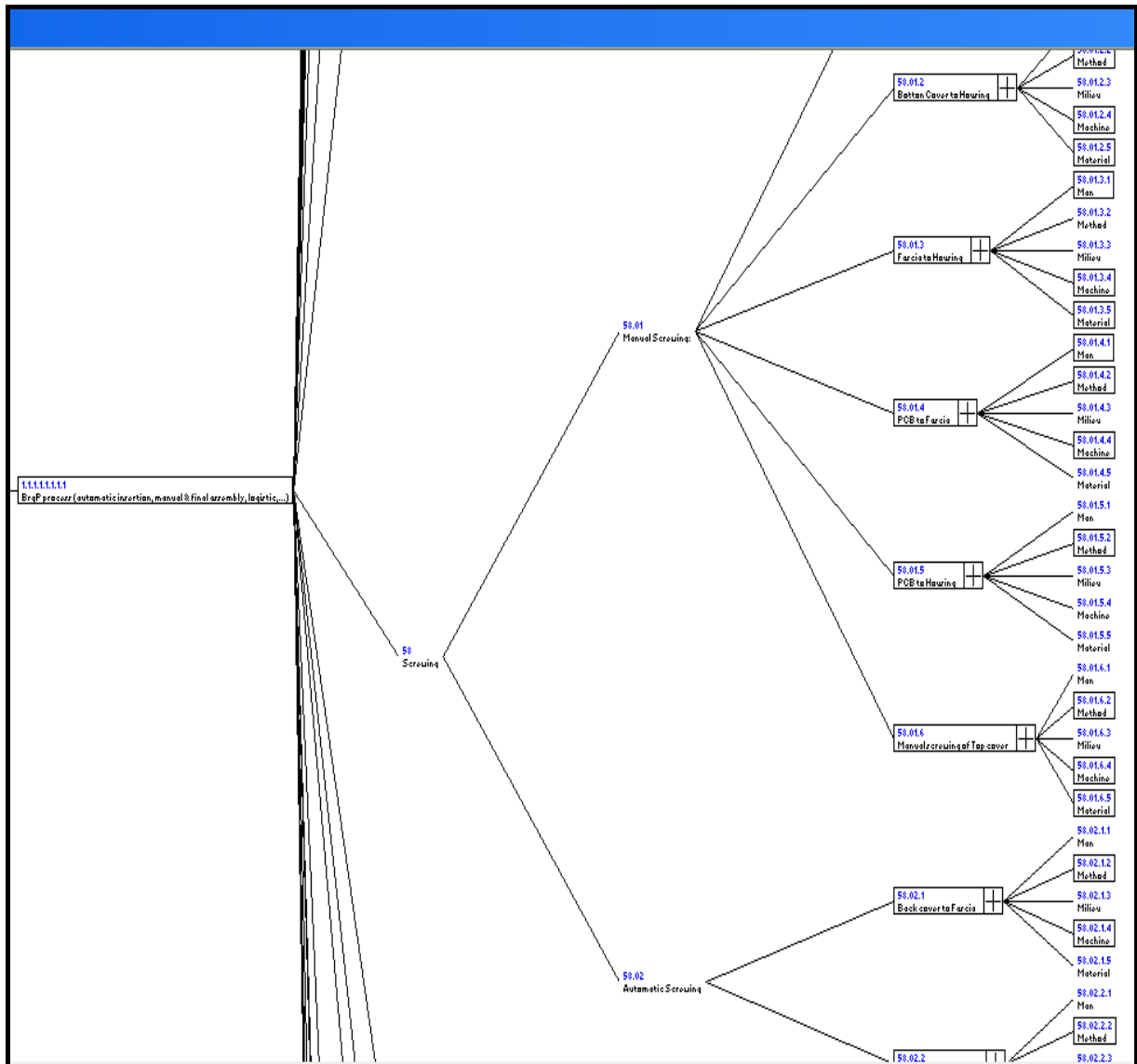


Figura 42 – Excerto do modelo standard relativo aos processos ligados às causas que os influenciam

Visualizando a Figura 42, visualiza-se um pequeno extrato da estrutura do PFMEA *standard*, composta por alguns elementos com formato FMEA respeitante aos elementos de processo. Para cada modo de falha potencial dos processos, identificam-se e descrevem-se as causas mais prováveis que estiveram na origem do seu aparecimento.

A título de exemplo, é apresentado na Figura 43 o Processo *Clinch*, cujo objetivo é fixar os componentes à placa através da dobragem dos pernos. Esta operação é necessária para evitar que os componentes se soltem durante o transporte até à soldadura.

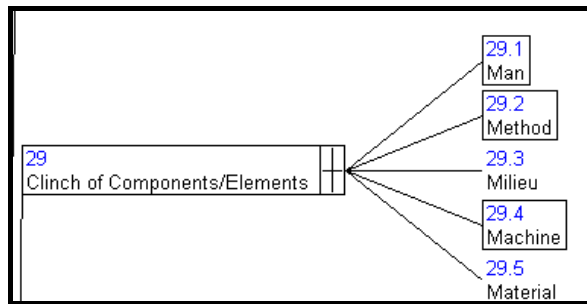


Figura 43 – Representação do processo Clinch ligado às causas do modo de falha

Este processo, bem como os restantes representados na árvore PFMEA são compostos por funções a desempenhar pelo processo.

Essas funções já se apresentam bem formuladas nos PFMEAs atuais, assim como os seus modos de falha, não se efetuando quaisquer alterações nestes elementos.

Pode-se dizer que um modo de falha é a maneira pelo qual um dado componente deixou de executar a sua função ou por outro lado, não se cingiu a uma determinada especificação.

A Figura 44 expõe para o processo *Clinch* as suas funções de processamento, bem como os modos de falha derivados de um incumprimento das funções respetivas.

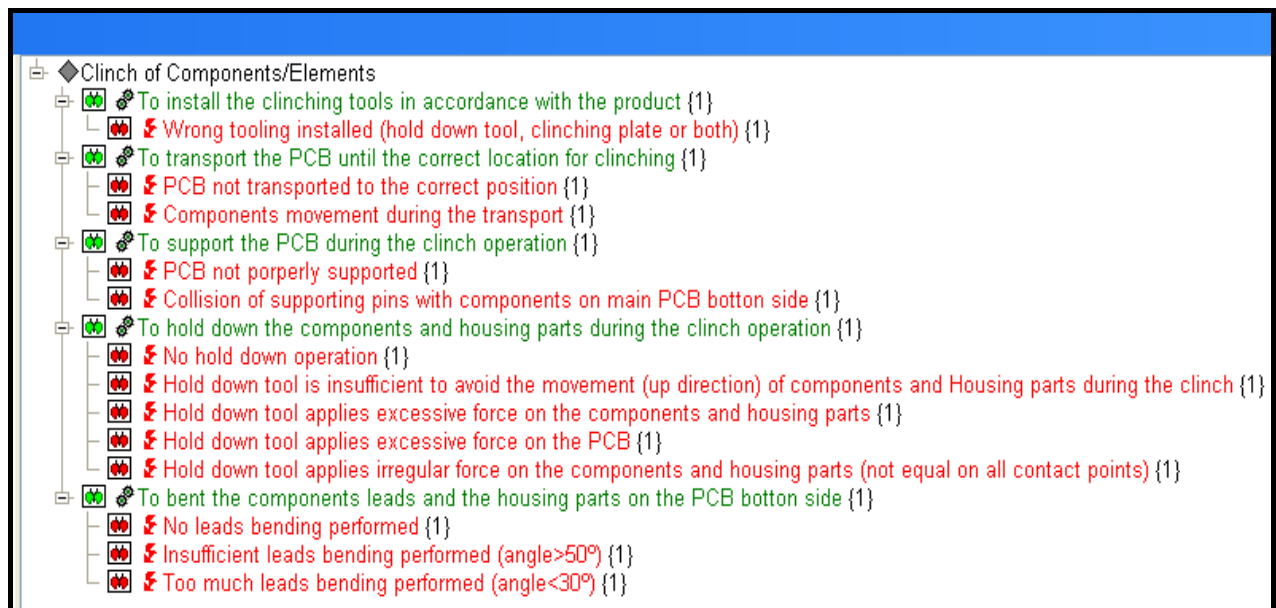


Figura 44 – Representação das funções de processo e seus modos de falha relativos ao processo Clinch

A primeira função deste processo passa por instalar as ferramentas na máquina de *Clinch*, de acordo com o tipo de produto que está a ser produzido na linha. Um modo de falha que pode ocorrer a este nível é a instalação incorreta das ferramentas não de acordo com o produto a ser produzido.

A função seguinte é a de transportar a placa até à localização correta no *Clinch* através de *convoyeur*, contudo nem sempre é deslocada nas devidas condições, e verifica-se por vezes a movimentação de componentes durante o transporte.

Segue-se a função de assegurar o suporte/apoio da placa na base de *Clinch*. A atuação das bases é efetuada por ordem, primeiro a base inferior e só depois a superior. Por vezes, a placa não é devidamente suportada podendo originar problemas de tensão mecânica no PCB durante a operação de *Clinch*, e pode também verificar-se colisão dos pinos de suporte com os componentes da placa.

É essencial segurar/limitar os componentes e as partes do chassi durante a operação de *Clinch*, para que não se movimentem durante a dobragem dos pernos (a tendência é o componente subir). Os principais modos de falha que podem ocorrer são: o de não segurar os componentes devidamente, e o de aplicar uma força excessiva quando se segura os componentes.

Finalmente é efetuado o *Clinch*, dobrando os pernos dos componentes e do chassi para fixação na placa. Como modos de falha tem-se a não execução da dobragem dos pernos, ou também uma excessiva/insuficiente dobragem resultante do ângulo não estar de acordo com a especificação.

3.8 Análise estrutural referente às causas dos processos

Neste segmento da estrutura de rede, os processos são ligados aos cinco tipos de causas (5Ms) do PFMEA. Estes cinco elementos do sistema designam-se mediante ordem gráfica por Man, Method, Milieu, Machine e Material.

Analisados os PFMEAS atuais, relativos ao processo *Clinch*, constata-se que não tem especificados causas de Milieu e Material, pelo que estes elementos de sistema permanecem vazios na estrutura *standard*.

O elemento homem diz respeito essencialmente a erros de manuseamento do operador, bem como etapas da operação que não foram corretamente realizadas (Figura 45).

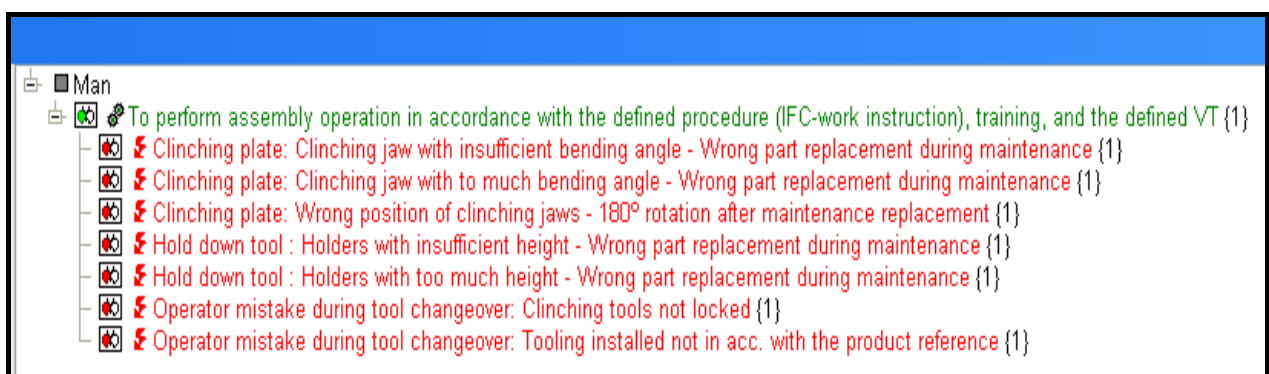


Figura 45 – Causas do elemento de sistema *Man*

A função adjacente ao homem passa por executar a operação de montagem em concordância com os procedimentos pré-estabelecidos (Ex.: instruções de trabalho, designadas IFCs), treino, e de acordo com o tempo definido.

O elemento método refere-se a causas relacionadas principalmente com procedimentos que não foram inicialmente bem estabelecidos (Figura 46).

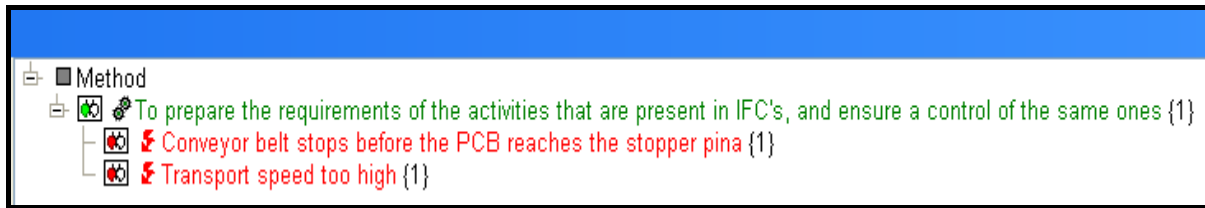


Figura 46 – Causas do elemento de sistema *Method*

Uma função para evitar esses contratempos, passa por preparar e definir corretamente as atividades que estão presentes nas IFC's, bem como assegurar o controlo das mesmas.

As causas inerentes ao elemento ambiente são de âmbito unicamente ambiental, como temperatura, humidade, etc.

No elemento máquina, as causas devem-se fundamentalmente a problemas de setup, nomeadamente erros de programação, ou porque as ferramentas não se apresentam bem calibradas (Figura 47).

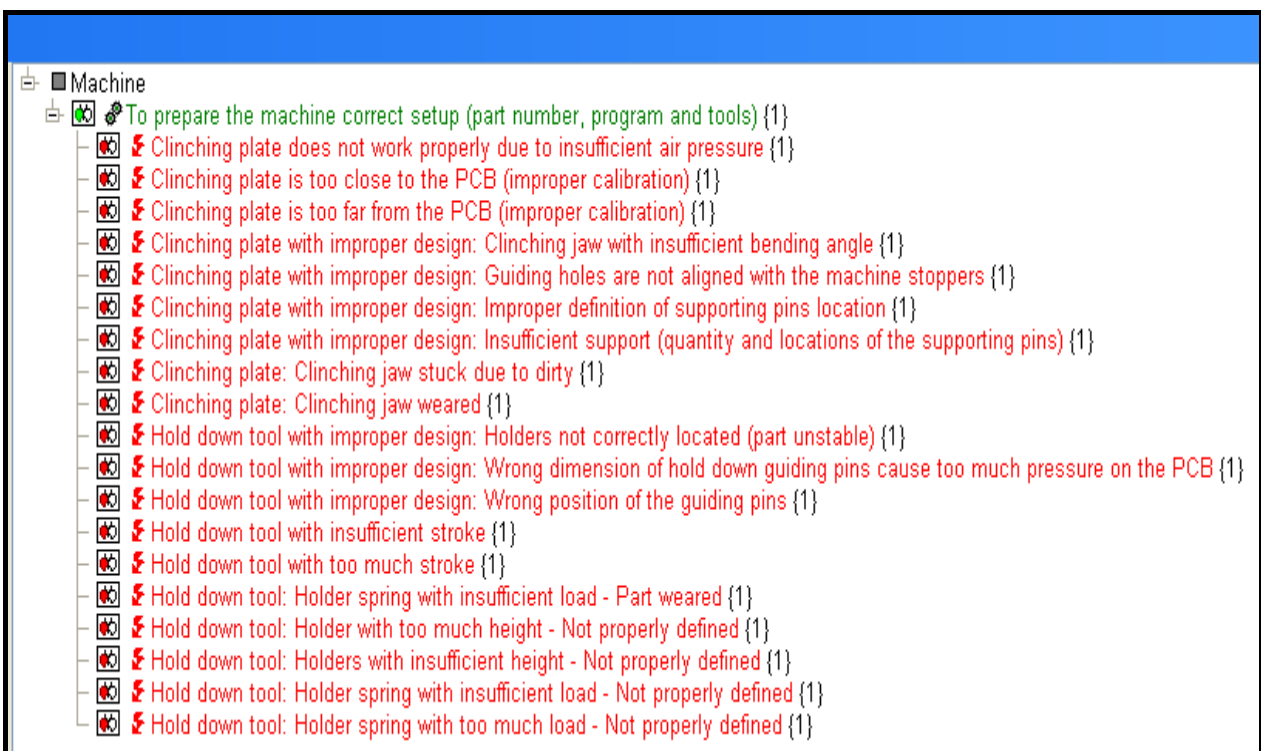


Figura 47 – Causas do elemento de sistema *Machine*

Por último, o elemento material, não é muito utilizado, uma vez que o PFMEA não tem em conta problemas de qualidade relacionados com fornecedores, apenas no processo.

3.9 Análise de três *failure nets* e *function nets* do modelo standard

São descritos neste subcapítulo três exemplos de *failure nets* e *function nets* retirados da estrutura *standard*, de forma a demonstrar a sua importância no contexto das ligações dos seus componentes.

3.9.1 Failure net relativa a um requisito do cliente

Na Figura 48 está representada a *failure net* respeitante a um requisito do cliente – *fascia haptic* (textura das teclas). Este requisito é representativo na maioria dos produtos existentes na empresa (auto rádios), estando sempre sujeita a uma constante avaliação por parte do cliente, dado tratar-se de uma parte visível do produto que lhe transmite os comandos e diz que funções necessitam de ser realizadas.

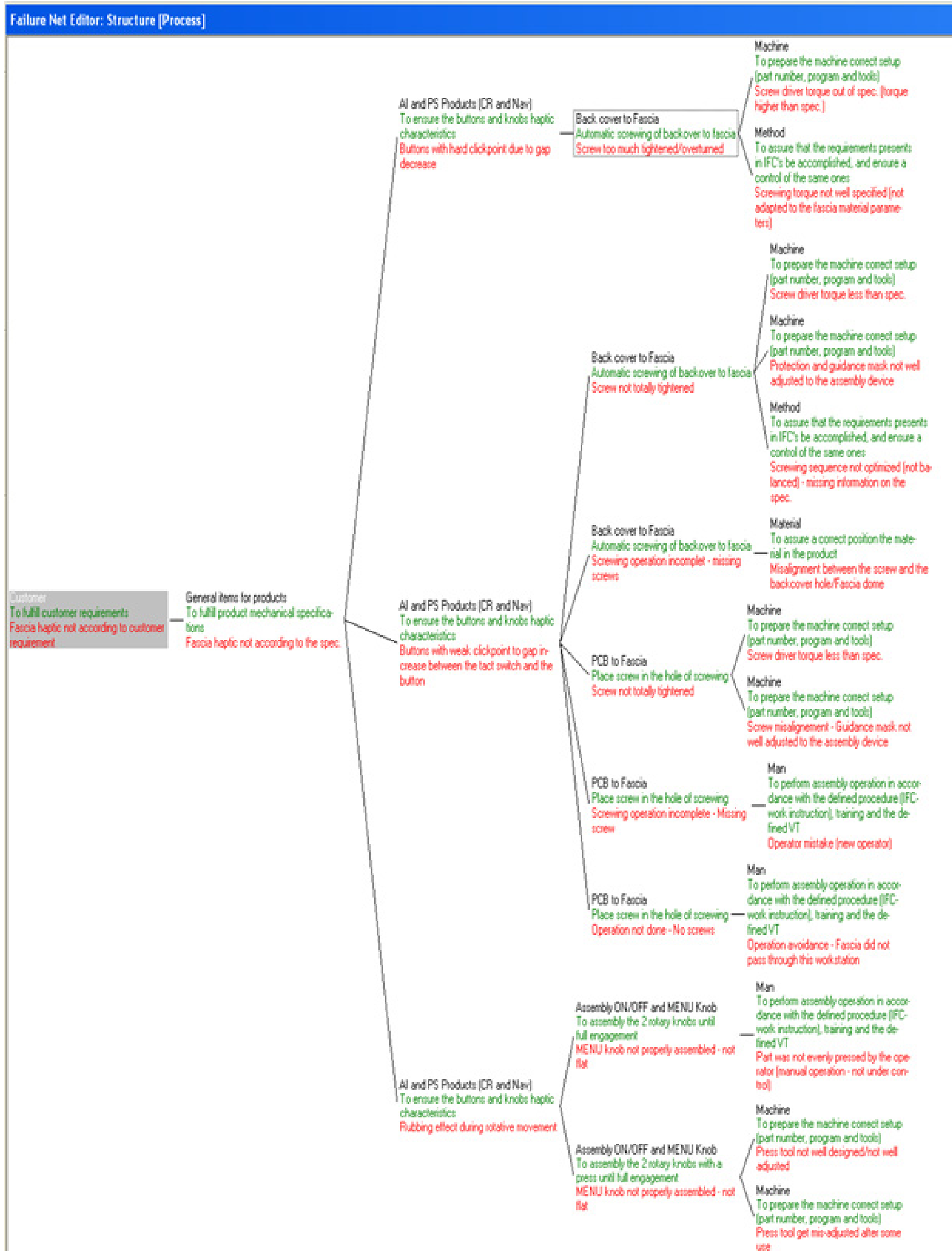


Figura 48 – Failure net respeitante a um requisito do cliente

Todos os requisitos impostos pelo cliente devem ser cumpridos, e este não é exceção. A “textura das teclas” afeta diretamente o cliente final devido ao seu uso no dia-a-dia, tratando-se de uma interface entre o cliente e o produto. Quando essa textura não é a pretendida (encontra-se fora de especificação) é gerado um modo de falha a este nível. Assim, se o comportamento mecânico da tecla não é o julgado ser correto, poderão ser verificadas três possibilidades de problemas (efeitos resultantes de um má especificação):

- Teclas duras – difíceis de comutar;
- Tecla com efeito de mola fraca – tecla não recupera após ser atuada;
- Sensação de precisão ao rodar o botão – prende.

Esses efeitos são associados ao processo de manufatura do auto rádio (Produtos AI e PS) a processos de aparafusamento e montagem de botões.

O *Back cover to Fascia* é um desses processos de aparafusamento. Durante o seu processamento, poderá haver o caso de algum parafuso estar apertado demais ou com defeito, que levará a esse efeito de tecla dura, porque reduz o espaço disponível para a movimentação da tecla.

O outro processo de aparafusamento é o PCB to fascia. Também no decorrer desse processo de manufatura algum parafuso poderá estar demasiadamente apertado, fazendo com que a tecla fique com um efeito de mola fraca, não recuperando a sua posição original após ter sido pressionada.

O processo *Assembly ON/OFF and Menu Knob*, é dedicado à montagem de botões. Um modo de falha desse processo poderá ser a falta de aparafusamento de um botão – não estar montado corretamente. Isso levará a uma sensação de bloqueio ao rodá-lo.

Associado às falhas de cada um desses processos, são definidas causas que podem ser devidas ao factor humano, máquina ou método.

3.9.2 Function Net resultante

Na Figura 49 é apresentada a *function net* respeitante a um requisito do cliente – *fascia haptic* (textura das teclas).

Para cumprir a função “*To fulfill customer requirements*” (requisitos do cliente) é necessário assegurar diversas funções, das quais as especificações mecânicas do produto “*To fulfill product mechanical specifications*”. Nesta categoria encontra-se a função “*To fulfill the mechanical characteristics of the product with impact the customer*”. Esta função é muito importante já que o seu não cumprimento é facilmente detetável pelo utilizador final.

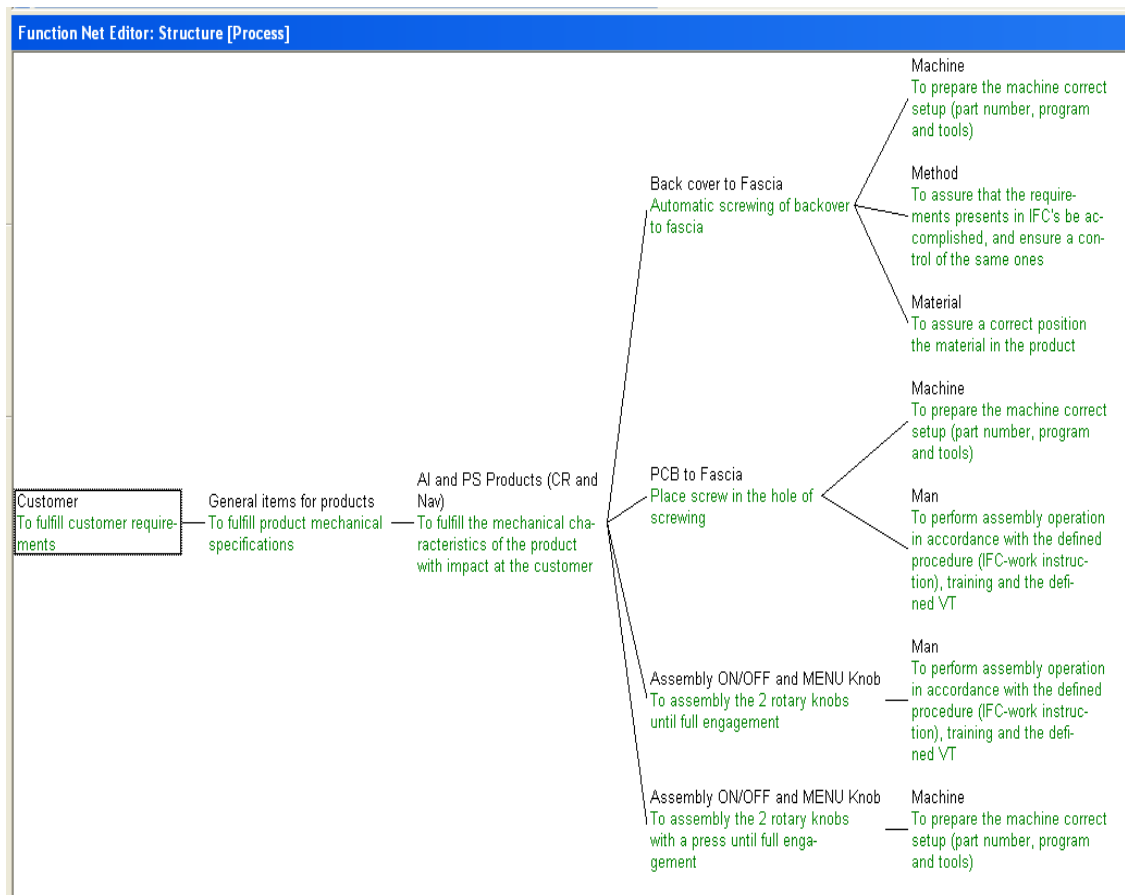


Figura 49 – Function Net resultante

Para que o produto realize com sucesso todas as funções especificadas deve assegurar-se que todas as operações relevantes no processo de fabrico são também realizadas de acordo com o definido. No exemplo apresentado existe uma dependência da função dos produtos AI e PS (Auto rádios e Nav.) com algumas funções de montagem da blenda (face visível do auto rádio com teclado e display), já que se refere ao bom funcionamento das teclas.

Os fatores (causas) que interferem diretamente na manufatura do produto também devem obedecer a certas funções:

- No fator humano deve-se executar a operação de montagem em concordância com procedimentos já definidos (as IFC – instruções de trabalho), treino, e tempo definido;
- No fator máquina deve-se preparar a máquina de acordo com a organização correta (programa, instalação correta das ferramentas, entre outros);
- No fator método pretende-se assegurar que os procedimentos definidos (Ex.: IFCs) são os mais adequados, e que se assegure o controlo das mesmas.

3.9.3 ***Failure net*** relativa ao dimensionamento externo do produto

Qualquer que seja o tipo de produto, as suas dimensões externas devem estar de acordo com as especificações, na medida que tem influência direta no processo de instalação no carro. Como resultado de um mau dimensionamento (produto fora das especificações), o grau de dificuldade em instalar o produto no tablier será maior (Figura 50).

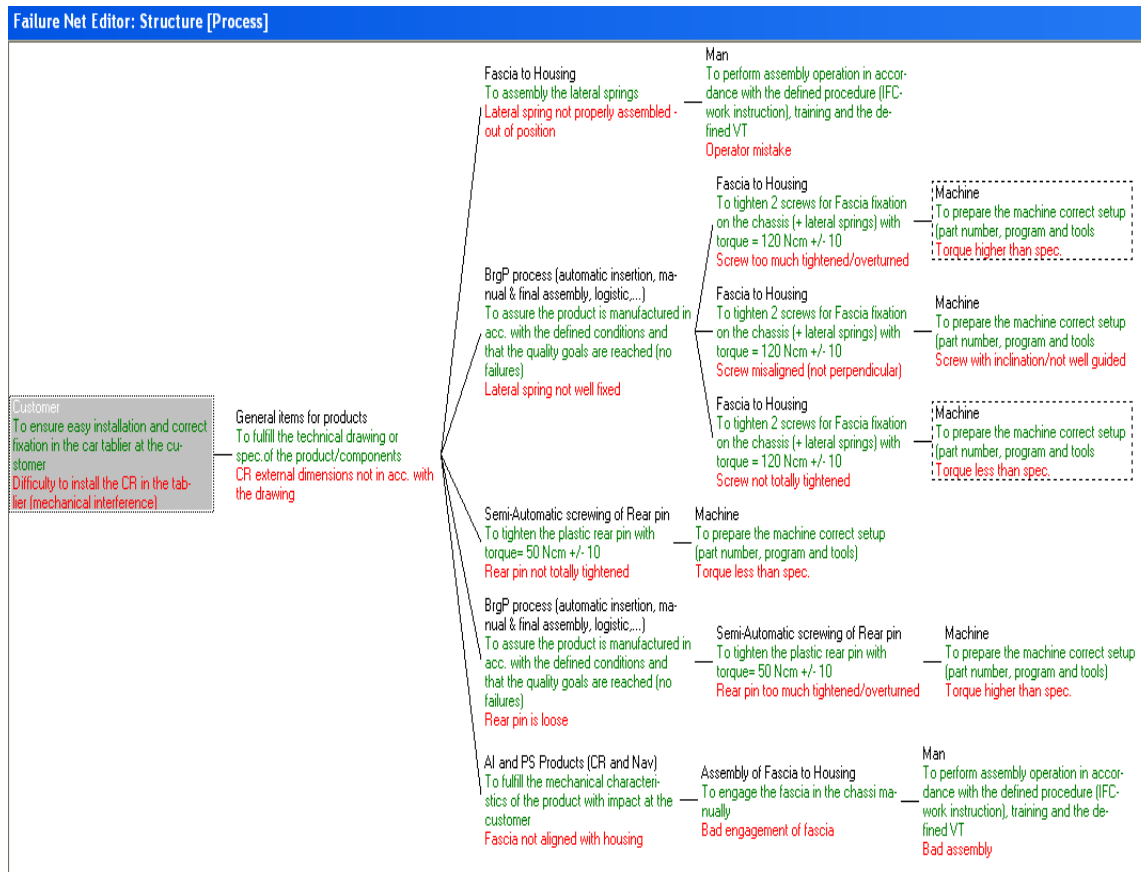


Figura 50 – *Failure Net* respeitante ao dimensionamento do produto

O mau dimensionamento poderá ser originado por três situações distintas:

- Lateral *spring* – mola de fixação nas laterais;
- *Rear pin* – pino traseiro de fixação;
- Alinhamento da blenda com o chassi

Cada situação é analisada no seu processo de montagem. Em relação ao lateral *spring*, poderão estar subjacentes certas falhas, como a mola não estar corretamente montada, devido ao facto de se encontrar fora de posição, em consequência de um erro de montagem por parte do operador. Este elemento pode também não se encontrar totalmente fixado na blenda, ora por o parafuso se encontrar demasiado apertado em consequência de um problema na máquina (torque abaixo/acima da

especificação prevista), ora por estar desalinhado devido a um erro na sua introdução por parte da máquina, que não o conduziu corretamente.

Relativamente ao *rear pin*, ocorre a situação de o elemento não estar totalmente aparafusado resultado de um problema na máquina (torque abaixo da especificação), dando origem a um produto fora de dimensões (mais comprido), causando dificuldade, ou mesmo impossibilitando a instalação do rádio no carro. Também ocorre o caso de se ter perdido a peça em seguimento de um forte aparafusamento da máquina (torque acima da especificação).

Quando a blenda não está alinhada com o chassi, este facto deve-se a uma má montagem por parte do operador.

Associado às falhas de cada um desses processos, são definidas causas que podem ser devidas apenas ao fator humano e máquina.

3.9.4 Function Net resultante

Na Figura 51 é apresentada *function net* resultante.

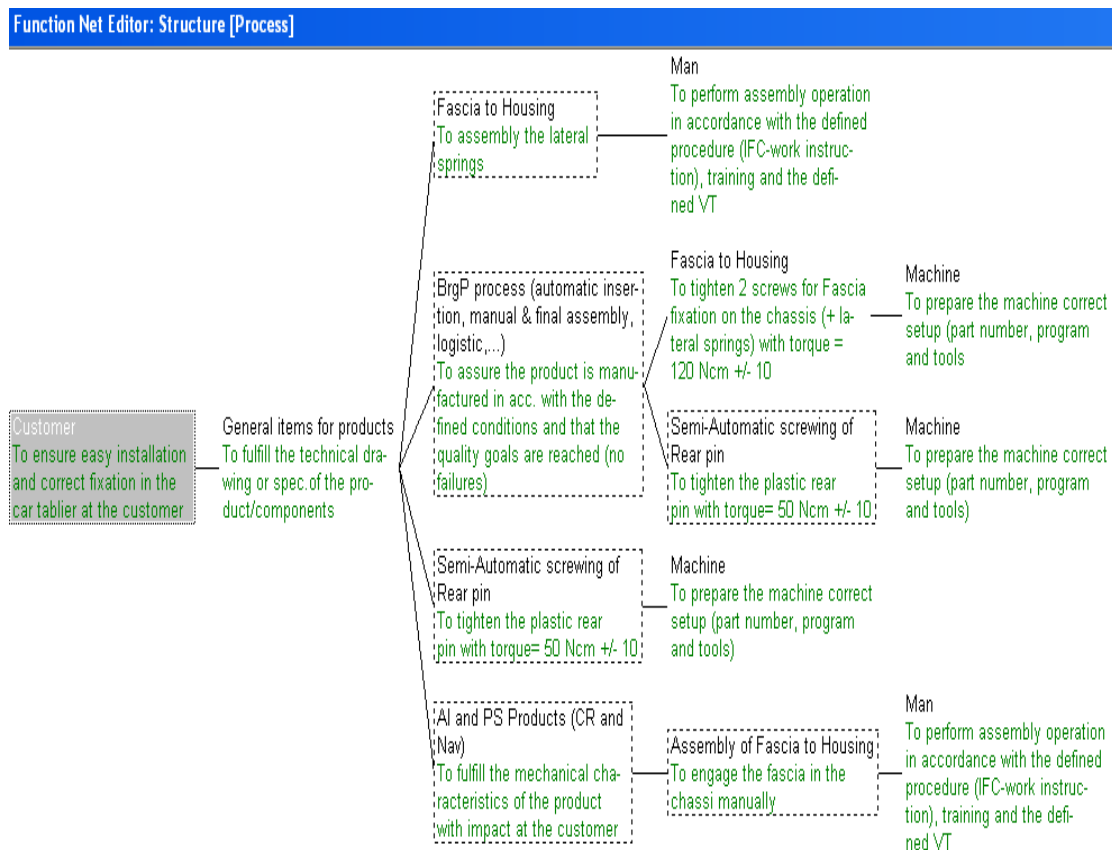


Figura 51 – Function net resultante

Para evitar um mau dimensionamento do produto, deve-se assegurar que tanto o desenho técnico como as especificações do produto/componentes sejam cumpridos à norma “*To fulfill the*

technical drawing or spec. of the product/components”, de forma a permitir uma fácil instalação e conexão do auto rádio no *tablier*.

Certas funções de processo deverão ser cumpridas de maneira a que sejam evitados os modos de falha derivados. Ex.: “*To assembly the lateral springs*”, em que a mola de fixação nas laterais deve ser montada.

Os fatores (causas) que interferem diretamente na manufatura do produto também devem obedecer a certas funções:

- No fator humano deve-se executar a operação de montagem em concordância com procedimentos já definidos (as IFC – instruções de trabalho), treino, e tempo definido;
- No fator máquina deve-se preparar a máquina de acordo com a organização correta (programa, instalação correta das ferramentas, etc.).

3.9.5 Failure net relativa a uma peça solta dentro do produto

A *failure net* da Figura 52 deve-se a uma peça danificada que para além de originar uma falha elétrica provoca ruído detetável pelo cliente (a peça está solta dentro do produto).

O efeito “*SMD coil PHANTOM damaged pull out*” pode ser originado em diversos processos (*Manual Screwing of Heatsink to Backplate; AOI Wave Soldering; In Circuit Test – Main Boards; Control 1; AOI Reflow e Material Identification/Storage*) já que a peça está exposta a diversos pontos do processo de manufatura do produto, podendo ser facilmente danificada por manuseamento (peça crítica devido às dimensões superiores em relação à placa).

Associado às falhas de cada um desses processos, são definidas causas que podem ser devidas apenas ao fator humano, máquina e método.



Figura 52 – Failure Net respeitante a uma peça solta dentro do produto

3.9.6 Function net resultante

De modo a evitar que a peça se encontre solta no produto é necessário que o produto seja produzido em concordância com condições pré-estabelecidas, e que as metas de qualidade sejam alcançadas. Nesse sentido é fundamental seguir com rigor o desenho técnico do produto e suas especificações (Figura 53).

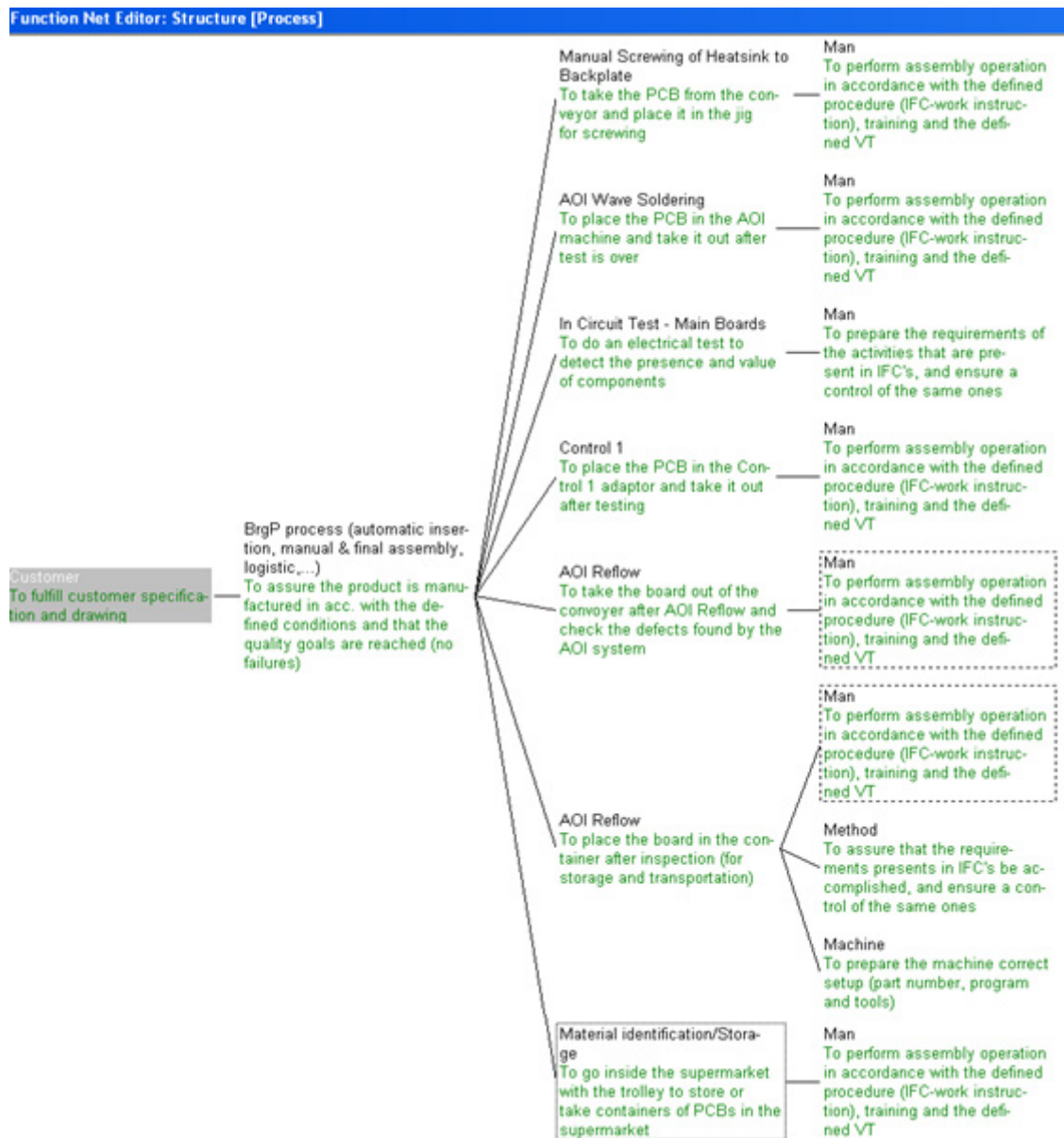


Figura 53 – Function net resultante

Pelo que cada processo de manufatura do produto deverá obedecer a um lista de funções, de forma a evitar que certas falhas possam ocorrer durante o seu intervalo de processamento. Ex.: "To place the PCB in the Control 1 adaptor and take it out after testing", em que se deve colocar o PCB no controlador 1 e retirá-lo depois de o teste ter sido efetuado.

Os fatores (causas) que interferem diretamente na manufatura do produto também devem obedecer a certas funções:

- No fator humano deve executar a operação de montagem em concordância com procedimentos já definidos (as IFC – instruções de trabalho), treino, e tempo definido;
- No fator máquina deve-se preparar a máquina de acordo com a organização correta (programa, instalação correta das ferramentas, etc.);
- No fator método pretende-se assegurar que os procedimentos definidos (Ex.: IFCs) são os mais adequados, e que se assegure o controlo das mesmas.

4 PRINCIPAIS ALTERAÇÕES VERIFICADAS NO PFMEA STANDARD EM COMPARAÇÃO COM OS ATUAIS

Este subcapítulo é dedicado a identificar as principais diferenças entre a estrutura dos PFMEAs atuais, e a estrutura Standard que foi criada no decorrer do estágio.

É representado no Anexo F um excerto de um atual PFMEA referente a um produto da marca OPEL.

A maioria dos PFMEAs que atualmente existem tem apenas um bloco para os efeitos. Este facto traduz-se na alocação dos efeitos de cliente, produto e processo no mesmo bloco sem haver qualquer grau de comparação entre eles. No PFMEA Standard, foram criados blocos para cada tipo de efeito:

- *Customer* – efeitos no cliente;
- General itens for *product* – efeitos que são detetados nos produtos em geral;

Seguiu-se a criação de quatro blocos para os efeitos referentes à classe de produtos específicos:

- *AI and PS Products* (CR and Nav);
- *NEFIT and TT Products*;
- *IS Products*;
- *CC Products*.

Por último foi criado um bloco com efeitos no processo:

- *BrgP process (automatic insertion, manual & final assembly, logistic.)* – efeitos imediatos com impacto no processo.

Um outro aspeto que foi melhorado nesta fase foi ao nível das funções, que não se apresentavam corretamente formuladas para o tipo de efeito em questão. Mediante uma análise meticulosa dos efeitos (retirados dos PFMEAs atuais para o modelo standard) foram definidas funções e alocados a si os respetivos efeitos.

Os elementos com formato FMEA para os elementos de processo já apresentavam as suas funções formuladas corretamente. Deste modo não foram efetuados quaisquer arranjos desses elementos. Na Figura 54 segue-se um exemplo para o processo *Control 1*:

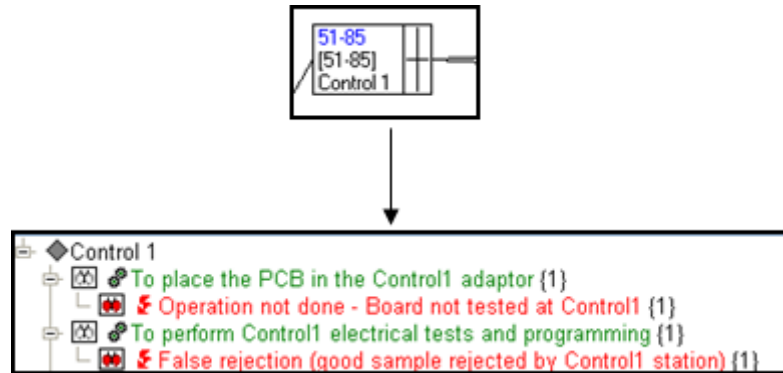


Figura 54 – Funções já formuladas corretamente do Processo Control 1

Estes elementos estão ligados às causas que influenciam o processo. Como se pode constatar na Figura 55, o problema que se coloca neste segmento da estrutura de rede é que os cinco tipos de causas (5M's) do PFMEA estão inseridos todos no mesmo elemento, representado aqui por FMEA.



Figura 55 – 5M's inseridos no mesmo elemento

Para colmatar o problema verificado anteriormente, foram criados na estrutura Standard, cinco elementos do sistema com os nomes Man; Method; Milieu; Machine e Material, com o intuito de os tornar independentes, e assim o elemento FMEA passa a ser eliminado, em conjunto com o *Control Plan*.

Como os elementos Milieu e Material não tinham acoplado a si nenhuma causa, estes elementos permanecem vazios, e resultado obtido apresenta-se na Figura 56.

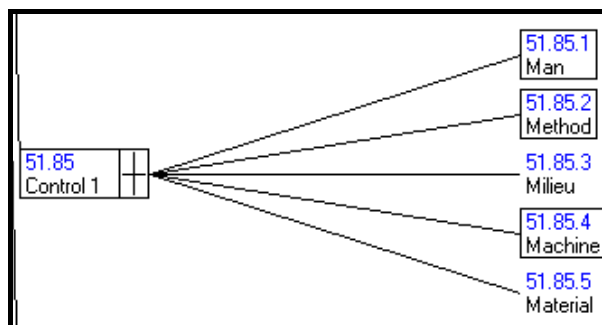


Figura 56 – Exemplo ilustrativo das causas do processo Control 1

O passo a seguir passou pelo “arrastamento” das funções e respetivas causas, para cada tipo de causa inseridos anteriormente no elemento FMEA.

5 LIMPEZA DO FICHEIRO PQP_BASE E ESTANDARDIZAÇÃO DA NUMERAÇÃO

Este capítulo é dedicado à limpeza do ficheiro PQP_Base, sendo que esta atuação só foi possível com a participação em reuniões da equipa do FMEA, de modo a averiguar que processos de manufatura ainda se encontravam presentes nas linhas de produção.

Como se pode observar no Anexo G, relativo às tabelas de alterações do PQP_Base original, foram eliminados 24 processos, dado não serem mais utilizados no processo de manufatura existente na unidade de Braga, ou porque esses processos foram substituídos por novas tecnologias. O número de processos que inicialmente se encontravam presentes no ficheiro PQP_Base, mais os que foram criados nas alterações contabiliza um valor total de 81. Esse número subtraído aos 24 processos eliminados aufere um valor de 57 processos que existem atualmente no ficheiro PQP_Base. Perante esse número de processos chega-se à conclusão que o ficheiro foi reduzido em aproximadamente 30% do seu conteúdo inicial.

Esse número reflete apenas os processos eliminados, contudo foram feitas alterações noutros processos que por consenso permaneceram no PQP_Base. Essas alterações basearam-se na redução ou mesmo eliminação dos elementos derivados (2º nível) e subprocessos (3º nível), por existirem em duplicado e noutras situações não terem conexão com o processo em questão. Noutros casos esses elementos, seriam melhor enquadrados noutros processos e aí apenas se deslocaria o elemento para o processo correto. Essas situações contribuem ainda mais para aumentar essa percentagem final.

Efetuada a limpeza do ficheiro PQP_Base, procedeu-se de seguida à alocação de funções e respetivos modos de falha para cada elemento derivado mediante uma análise detalhada de alguns PFMEAs, como é demonstrado na Figura 57. Este procedimento tem a finalidade de servir como ponto de partida para cada novo projeto. Permite assim à equipa servir-se dessa base de dados, de modo a ir diretamente aos processos que estão a ser analisados e retirar a informação essencial, ou seja, contem todo o *Know-how* existente nos FMEAs, assegurando dessa forma que não há perda de conhecimento, transformando-se assim numa “*lesson learn*”.

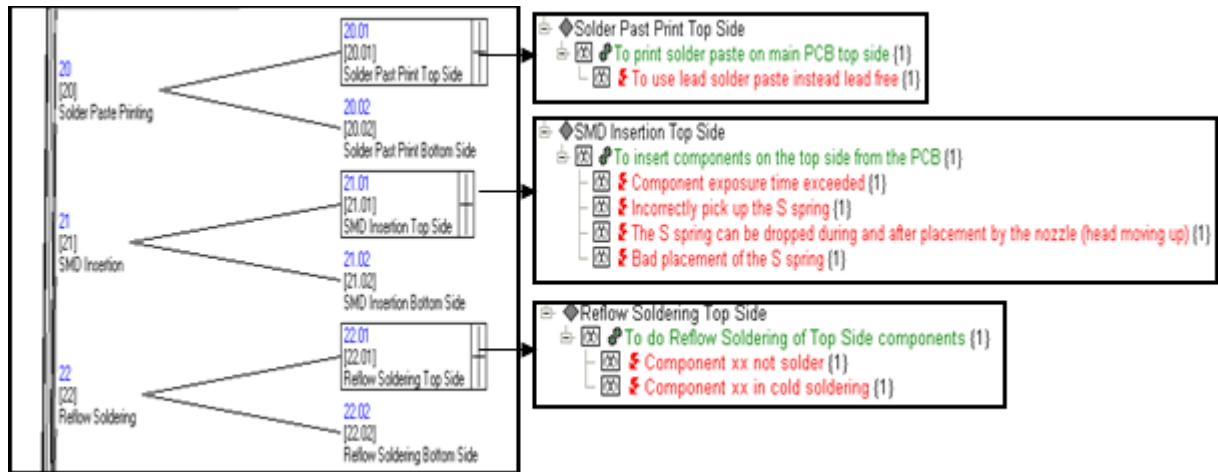


Figura 57 – Extrato do PQP_Base com a integração para cada processo, das funções e seus modos de falha

Atualizados os processos de produção da empresa, é necessário normalizar a numeração dos processos a usar no PQP_Base. Com a finalização desta etapa são removidos do PFMEA *standard* determinados processos que foram eliminados e acopla-se a cada processo a numeração já estandardizada.

A estrutura do processo de numeração pretendido é ABCD, onde:

- **A** diz respeito ao código da área, ou seja, à secção onde é feita a operação;
 - **B** refere-se ao número do processo;
 - **C** ao tipo de código da operação, podendo geralmente ser de três tipos: manual, automático e semi-automático;
 - **D** refere-se ao código da tarefa no produto.
- O código de área, é repartido da seguinte forma:

- 10 – *Material incoming*
- 11 – *Material Storage*
- 12 – *Material incoming inspection*
- 13 – *Material repacking*
- 14 – *Supermarket – Material storage*
- 15 – *Expedition*
- 19 – *Components automatic Insertion*
- 27 – *Manual Assembly*
- 42 – *Supermarket – Automatic insertion area*
- 43 – *Supermarket – Manual Assembly area*

- 44 – Supermarket – Final Assembly area
- 51 – Final Assembly
- 68 – Fascia Assembly
- 94 – QMM area/ Product audit/Customer control

Segue-se um exemplo da numeração normalizada: - Manual *screwing of mechanism*

- 51.58.01.21: - 51 – Final assembly área
- 58 – Screwing
- 01 – Manual
- 21 – Mechanism

Esta nova numeração irá afectar alguma da numeração da documentação típica do FMEA, uma vez que ambos os documentos podem estar interligados, como se pode visualizar na Figura 58.

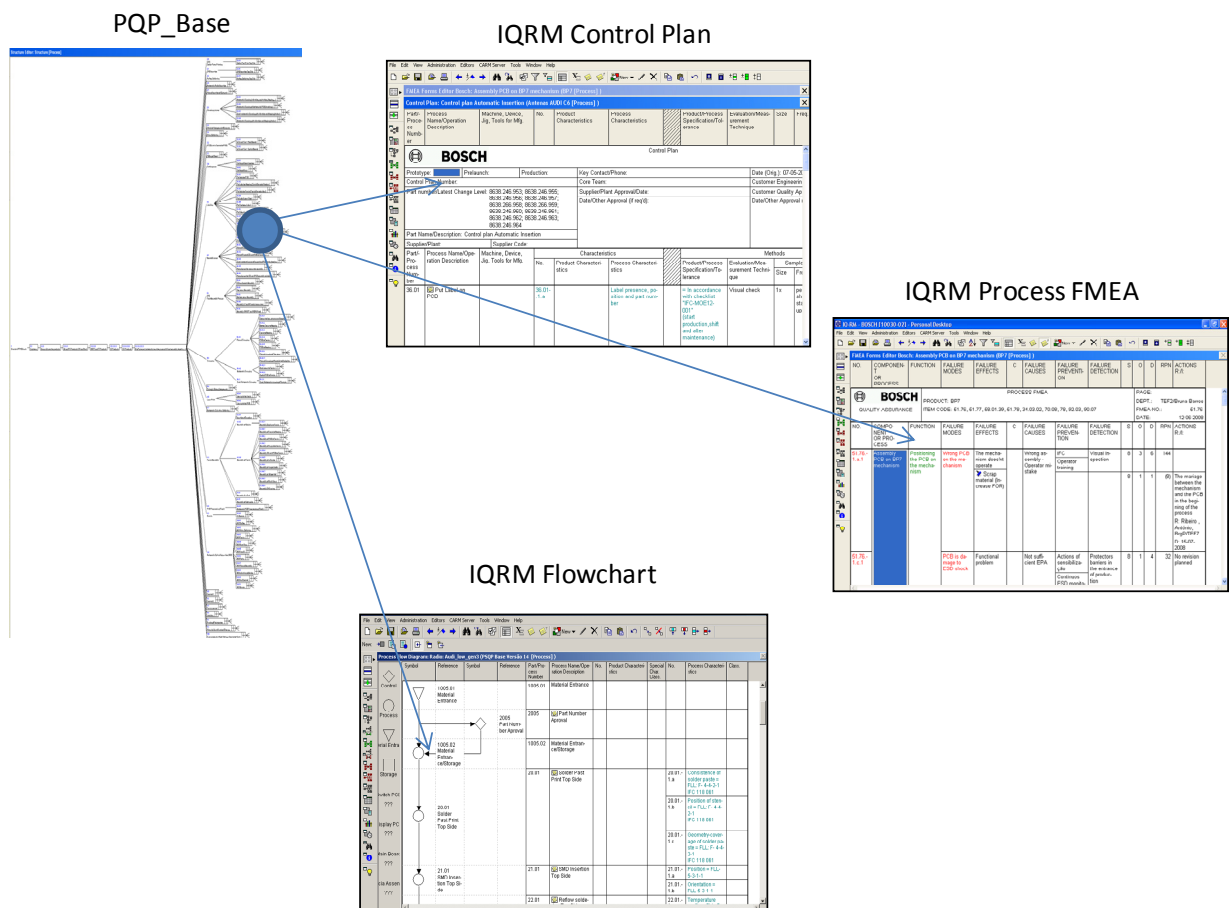


Figura 58 – Representação da documentação do FMEA que é influenciada pela numeração

- O *Flowchart* representa a sucessão ordenada de cada etapa do processo de produção. Cada etapa é representada por um símbolo, e entre as etapas são unidas linhas que indicam a sua conexão em forma linear.

- O *Control Plan* fundamenta-se na descrição das características dos produtos que são fabricados, como também as especificações, tolerâncias, métodos de controlo, entre outros.
- O *Process FMEA* identifica e avalia possíveis falhas de um determinado produto/processo e suas possíveis consequências, definindo ainda ações cuja função passa por reduzir ou mesmo eliminar a possibilidade de ocorrência de uma dada falha.

6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O facto de se ter realizado o projeto numa multinacional ao nível da Bosch serviu por si só como uma experiência enriquecedora, que possibilitou a aquisição de novos conhecimentos e o primeiro contacto com o mundo empresarial.

A base de todo o trabalho foi sustentado na recolha e tratamento dos dados já existentes na empresa, e posteriormente foi realizada a construção de um PFEMA Standard, recorrendo ao Software usado na Bosch, IQ-RM.

Dado que as funções dos processos com o tempo necessitam de uma reformulação, e por outro lado, vão surgindo novos modos de falha, alguns princípios deverão posteriormente ser tidos em conta, na estrutura *standard*, servindo como indicadores contínuos na otimização de resultados. Pretende-se aplicar algum “grau de maturidade”, tendo como finalidade fazer uma revisão e posterior avaliação crítica dos processos, com o intuito de atuar ao nível do desenvolvimento e melhoramento contínuo integrado desses processos.

Assim, o 1º princípio prende-se com uma orientação ao processo, visando uma melhoria global e não apenas a otimização de uma função em particular relativa a uma dada operação de processo. Este princípio permitirá também à partida, a concentração e controlo de todas as ações desenvolvidas durante o fluxo do processo produtivo. Um outro princípio cinge-se à standardização, regendo-se pela definição de um padrão, de forma a verificar se um determinado processo está ou não a funcionar de acordo com as funções de produção estabelecidas. Este padrão deverá estar sempre orientado para a melhoria contínua. A verificação de qualquer desvio relativo a um determinado processo, deverá permitir identificar os problemas. No contexto prático este padrão poderá também referir-se à nova implementação da numeração estrutural do processo com vista à sua normalização.

A transparência também é um princípio muito importante. Um processo transparente deve caracterizar-se por permitir, uma fácil perceção dos desvios, possibilitando uma visão rápida e clara do progresso efetuado. Por outro lado, é mais fácil reconhecer as zonas do progresso e onde se deve atuar. Compreende-se então que os processos na estrutura deverão continuar o mais simples e claro possível, de modo a facilitar o entendimento global do processo. Um último princípio passa pelo envolvimento dos colaboradores, pois são estes que têm presente os conhecimentos e a criatividade, contribuindo para o sucesso dos processos produtivos. Desta forma é fulcral a sua participação ativa na melhoria contínua do modelo *standard*.

Estes princípios têm então o propósito de melhorar a qualidade do modelo, bem como o de evitar uma atualização tardia, sendo que para isso a informação e o conhecimento deverão fluir de forma compassada e contínua.

A partir do modelo criado e com a integração dos parâmetros no PFMEA foi possível realizar as *function network* e *failure network* de forma a estabelecer um entendimento lógico por parte das funções dos componentes e seus modos de falha. Dessa rede de conexões foram apresentados três exemplos descritivos de ligações, referentes aos seguintes aspetos:

1. O requisito *Fascia haptic* (textura das molas) é representativo da maioria dos produtos existentes na empresa (auto rádios), estando sempre sujeita a uma constante avaliação por parte do cliente, dado tratar-se de uma parte visível do produto;
2. A operação *Install the CR in the dashboard*, verifica-se qualquer que seja o tipo de produto. Um dimensionamento externo correto é fulcral na medida que tem influência direta no processo de instalação do rádio;
3. A terceira ligação deve-se a uma peça danificada que para além de originar uma falha elétrica, provoca ruído detetável pelo cliente (a peça está solta dentro do produto).

Das principais variações estruturais constatadas no novo modelo em comparação com os FMEAs atuais, destaca-se o agrupamento dos efeitos por blocos atendendo à classe do efeito. Uma outra alteração verificou-se nas causas relativas aos modos de falha das funções.

O PQP_Base foi sujeito a uma atualização, de modo a reduzir o seu conteúdo, com a eliminação de processos obsoletos existentes no ficheiro. O seu conteúdo foi reduzido em aproximadamente 30%, apenas referente à eliminação de processos, fora os elementos derivados e os subprocessos que também sofreram alterações ou foram eliminados. No mesmo ficheiro atuou-se ainda na numeração relativa aos processos, propondo como proposta de melhoria a sua standardização, de forma que não houvesse mais nenhum engano na atribuição dos campos.

O ficheiro em Excel relativo ao *reminder* de ações em aberto, é uma ferramenta eficaz, que por meio de tabela ou de gráfico indica o número de ações em aberto referente a cada colaborador. Essa informação será enviada aos responsáveis via e-mail lembrando-lhes da obrigatoriedade de lidar com ações que ainda não foram fechadas. Cabe de seguida ao colaborador visualizar a tabela *Action List*, de modo a saber quais são essas ações que permanecem em aberto.

Uma proposta para trabalho futuro passará por recolher todas as reclamações do cliente (0km + campo) com implementação de ações no processo (preventiva ou de deteção), de maneira a aproximar as características daquilo que é produzido, com o que é pretendido pelo cliente, de forma a criar valor para ambos. Um outro ponto consistirá em adicionar essa informação na estrutura *standard*.

REFERÊNCIAS

- Barros, B. Estudo da Utilização de ferramentas da qualidade no desenvolvimento e análise das PFMEA's na Blaupunkt, Universidade de Aveiro, 2008.
- Baxter, M. Projecto de Produto. Guia prático para o design de novos produtos, 2ª Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1998.
- Bosch, Booklet 14: Failure Mode and Effects Analysis – FMEA, 2006.
- Bosch Production System, Manual do Colaborador, Publicação Interna da Blaupunkt, 2006b.
- Dailey, K.W. The FMEA Pocket Handbook. DW Publishing Co.: 2004. 40p.
- Bosch, Requirements, Rules and Guidelines for making FMEA, 1ª Ed, 2009
- Garcia, M. D. Uso integrado das técnicas de HACCP, CEP e FMEA, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul – Escola de Engenharia, Porto Alegre, RS, 2000.
- Helman, Horácio & Andery, Paulo R.P. Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- Moubray, J. Realiability-centered maintenance. New York: Industrial Press, 1997.
- Onodera, K. Effective techniques of FMEA at each life-cycle stage. In: Proceedings of the 1997 Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1997.
- Palady, P. FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAM, 1997.
- Puente, J.; Pino, R.; Priore, P.; Fouente, D. L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. International Journal of Quality and Reability Management, Bradford, V. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.
- Ramos, Eliani F. A gestão de Riscos usando FMEA., nº10, P. 71-74, 2006.
- Scapin, C. A. Análise sistemática de falhas. Belo Horizonte, 1999.
- Slack, Nigel e tal. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1996.
- Stamatis, D. H., “Failure mode and effect analysis FMEA from theory to execution”, ASQC Quality Press, Milwaukee, 1995.
- Toledo, J. C.; Amaral, D. C. FMEA. Análise do Tipo e Efeito de Falha. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos – Grupo de Estudos e Pesquisas em Qualidade, 2004.

Anexos

ANEXO A – ETAPAS DE ELABORAÇÃO DO FMEA

Tabela 1 – Plano de trabalho do FMEA (Adaptado da Bosch, 2006)

Preparação numa “equipa pequena”	0	Sistemática de preparação
		Determinar a tarefa, limitações e os objetivos
		Construção da equipa de trabalho, calendarização das atividades
		Preparação dos documentos para a equipa
		Criação de uma descrição funcional
Preparação numa “equipa pequena”	1	Análise estrutural
		Numeração
		Providenciar documentos ou passos do processo
Criação na “equipa FMEA”	2	Análise funcional
		Determinar as funções/características
	3	Análise de falhas
		Definir o potencial modo de falha
		Detetar os efeitos e as causas do modo de falha
Criação na “equipa FMEA”	4	Análise de ações e determinação de características especiais
		Descrever a prevenção e a deteção do modo de falha
		Determinar a significância do efeito do modo de falha (S)
		Determinar a probabilidade de ocorrência (O)
		Determinar a probabilidade de deteção (D)
		Determinar as características especiais
Update		Calcular o número prioritário do risco $RPN = S \times O \times D$
	5	Otimização / melhoria da qualidade
		Identificar os riscos (analisar S, O, D e RPN) e determinar a ação necessária
		Determinar as ações de melhoria com responsável (R:) e a data (D:)
	Atualizar o rácio depois de todas as ações de melhoria implementadas (S, O, D)	

ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO PARA A SEVERIDADE DO EFEITO DA FALHA

Tabela 2 – Critérios de classificação para a severidade do efeito da falha para o FMEA (Bosch, 2006)

Product/process FMEA: S - Severity of failure effects	Rating
Extremely serious failure Failure affecting safety and/or compliance with legal requirements, without warning. Machine operator or assembly personnel could be endangered without prior warning.	10
Extremely serious failure Failure which could affect safety and/or compliance with legal requirements, with warning. Machine operator or assembly personnel could be endangered with a prior warning.	9
Serious failure Loss of primary functions, e.g. vehicle cannot be driven 100% of the product must be scrapped or vehicle. 100% of the product must be scrapped or vehicle/component must be repaired (repair time > 1h).	8
Serious failure Function of the vehicle is strongly impaired, immediate servicing is required. 100% of the product must be scrapped or vehicle/component must be repaired (repair time 0.5 - 1h).	7
Moderately serious failure Failure of important operational and comfort systems, immediate servicing is not required. 100% of the product must be scrapped or vehicle/component must be repaired (repair time < 0.5h).	6
Moderately serious failure Impaired function of important operational and comfort systems. 100% of the product must be reworked or vehicle/component must be repaired on the production line (at RB).	5
Moderately serious failure Limited function of important operational and comfort systems, noticeable by all drivers. The product must be sorted (no scrap), a part of the product must be reworked.	4
The failure is insignificant The customer is only slightly bothered, and will probably only notice slight interference, noticeable by the average driver. A part of the product has to be reworked on the production line, but away from the work station.	3
Failure is unlikely It is unlikely that the failure could have a noticeable effect on the behaviour of the vehicle. Only noticeable by experts or trained/experienced drivers. A part of the product has to be reworked on the production line/work station.	2
No effect	1

ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO PARA A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA

Tabela 3 – Critérios de classificação para a probabilidade de ocorrência para o FMEA (Bosch, 2006)

Product/process FMEA O – Probability of occurrence:	ppm*	Cpk***	Rating
Very high	100.000	- **	10
It is nearly sure, that the failure mode and cause will occur very frequently.	50.000	- **	9
High			
The failure mode / cause occurs repeatedly.	20.000	- **	8
Problematic, not a mature system Inaccurate process.	10.000	- **	7
Medium.			
The failure mode / cause occurs occasionally. Advanced maturity of the system. Comparable to processes that occasionally produce defects, but not to a	5.000	0.94	6
significant degree.	1.000	1.10	5
	500	1.17	4
Low			
The occurrence of this failure mode / cause is low, proven system layout, proven process.	67	1.33	3
	6.7	1.50	2
Unlikely. The occurrence of this failure mode/cause is unlikely.	<0,67	> 1,67	1

* Per LD (product lifetime) for products / internal defect rate for processes.

** This statistic makes no sense in these cases

*** Only for the process FMEA

ANEXO D – CLASSIFICAÇÃO PARA A PROBABILIDADE DE DETEÇÃO

Tabela 4 – Critérios de classificação para a probabilidade e deteção para o FMEA (Bosch, 2006)

Product FMEA: Rating criterion “design” D – Probability of detection	Rating
Unlikely. It is impossible or improbable that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities	10
Very low. The probability is very low that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	9 8
Low The probability is low that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	7 6
Medium. The probability is medium that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	5 4
High The probability is high that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	3 2
Very high It is certain that a layout error will be discovered during the development phase by testing or analysis activities	1

ANEXO E – ESTRUTURA E ANÁLISE FUNCIONAL

A formalização do FMEA é executada com base num documento (Figura 59), em que como se pode observar, o cabeçalho é composto por campos que serão preenchidos à medida que o FMEA se for desenvolvendo.


 BOSCH			System-FMEA						Page: Department:				
Quality Assurance			Product: Number:						FMEA-Number: Date:				
No.	Component or Process	Function	Failure modes	Failure effects	C	Failure causes	Failure prevention	Failure detection	S	O	D	RPN	Actions R./t.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)

Figura 59 – Cabeçalho do Documento FMEA

- (1) N.º: O n.º identifica a causa do defeito e correlaciona o processo individual no FMEA com o PQP do produto. No FMEA a 1ª parte do número é o número da operação do PQP e a 2ª parte é o número de série para a causa do defeito.
- (2) *Component/Process*: Identifica qual a operação/passos do processo que vai ser fundamentado.
- (3) *Function*: No FMEA de processo são tidas em consideração as funções de processo referentes ao plano de trabalho e as características de peças alusivas aos desenhos.
- (4) *Failure Mode*: No FMEA de processo são analisados todos os potenciais modos de falha, derivadas das funções de processo e das características das peças.
- (5) *Failure Effects*: É realizada uma breve descrição do resultado do modo de falha em questão.
- (6) *Special Characteristics*: Este campo diz respeito a especificações da fábrica, ou requisitos provenientes do cliente, que decerto modo pode afetar o processo/produto
- (7) *Failure causes*: São fundamentadas as causas prováveis do defeito, passo (4).
- (8) *Failure prevention*: Ações preventivas são postas em prática, de forma a prevenir que as causas ocorram.
- (9) *Failure detection*: Implementação de ações com a finalidade de detetar os defeitos o mais cedo possível no processo com o intuito de prevenir, que produtos defeituosos não cheguem ao cliente.

- (10) *Relevance of failure consequence* (S): Neste campo são avaliados os efeitos no fim do sistema e/ou no cliente do modo de falha respetivo.
- (11) *Occurrence probability* (O): Diz respeito à probabilidade resultante de um modo de falha ocorrer como consequência de determinada causa.
- (12) *Detection probability* (D): Este campo resulta da avaliação dos testes e medidas de detecção da produção e montagem.
- (13) *Risk Priority Number* (RPN): é o resultado final do produto do S, O e D. O número em questão expõem o risco ligado à causa da falha.
- (14) *Actions* R:/I: Descritas as ações no FMEA, estas terão de ser completadas pelo responsável (R) na data (I).

ANEXO F – EXTRATO DE UM PFMEA DE UM PRODUTO DA MARCA OPEL

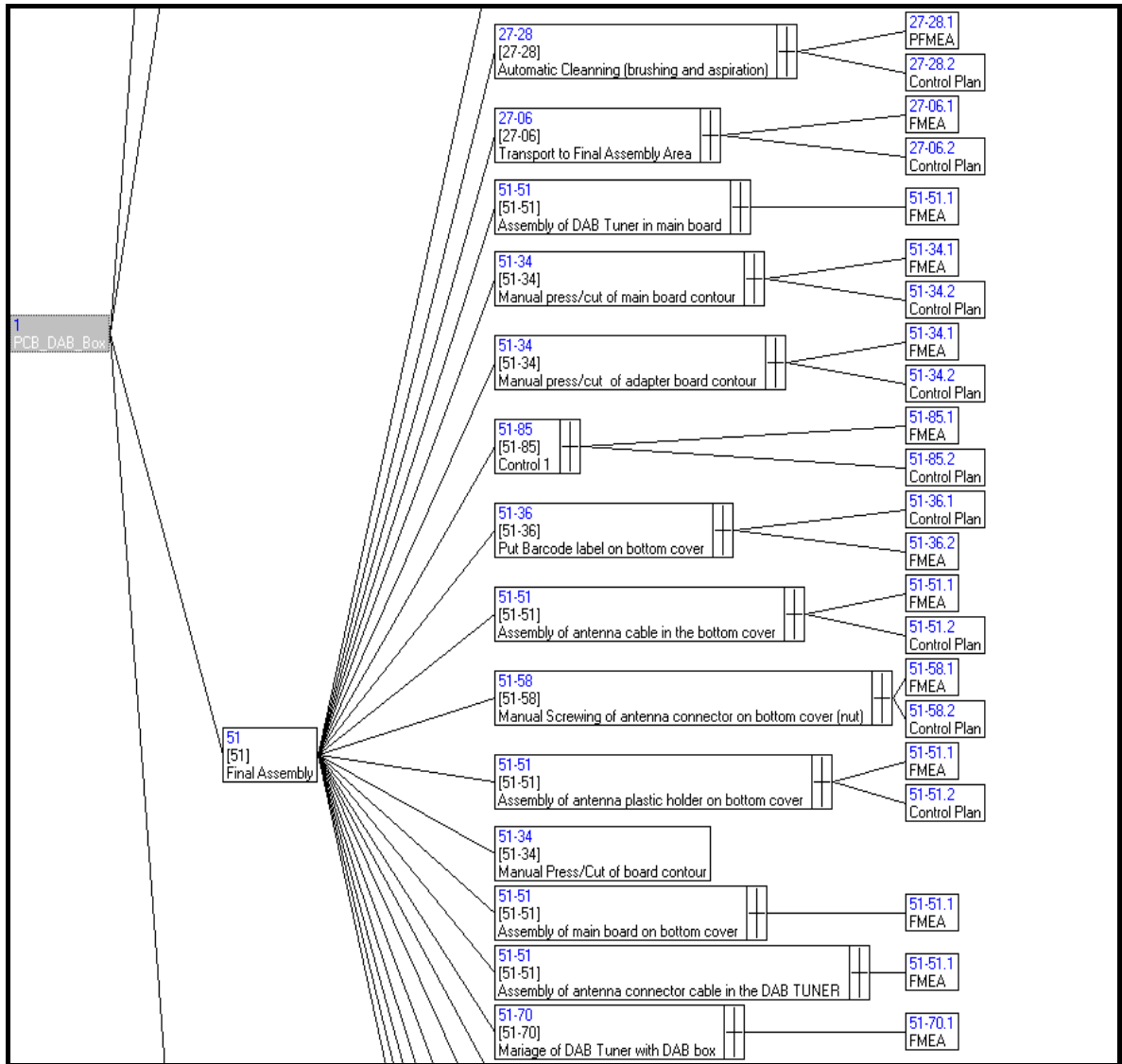


Figura 60 – Extrato de um histórico PFMEA de um produto da Opel

ANEXO G – ALTERAÇÕES EFETUADAS NO FICHEIRO PQP_BASE ORIGINAL

Tabela 5 – Tabela de alterações do PQP_Base Original

Nº do Processo /Sub-processo	Nome Original	Proposta de nome	Descrição da alteração
01	Analysis/Repair	-	Eliminados os elementos do 2º e 3º nível. Exemplo: o elemento derivado <i>Repair</i> (2ª nível) que está ligado aos sub-processos (3º nível): <i>Removal of Components; Clean PAD/land</i> e <i>Installation/Solder of new components</i> são removidos
02	SPC for Atributs	SPC	Eliminar distinção entre “ <i>for Atributs</i> ” e “ <i>for Variants</i> ”, existindo apenas o processo SPC. Eliminados os processos derivados (2ª nível), excepto o <i>SPC Dimensional Control</i>
03	SPC for Variants		
05	Scrap Material	-	-
06	Transporting	Transport	Os elementos derivados (2º nível) mantiveram-se (06.01 até 06.09), ex: <i>Transport – Material Reception Area</i> porque identificam a área de transporte, contudo foram eliminados os sub-processos (06.02.01 até 06-02.31)
07	Pre-preparation of Material for the Automatic Insertion	-	-
08	Pre-Preparation of Manual Components	-	Eliminados os elementos derivados (2º nível)
09	Pre_Preparation of Acessories to the Packing	-	Processo eliminado
21	SMD Insertion	-	Eliminado elemento derivado (2º nível) <i>Automatic Optical</i>

			<i>Inspection (Paste Printing)</i>
23	Automatic Axial Insertion	-	Processo eliminado
27	Manual Insertion of Elements	-	Eliminados elementos derivados (2º nível) (<i>Pre-preparation; Assembly of DAB Tuner in the main board; Assembly Twin Tuner module on main PCB</i>). No elemento derivado <i>Manual insertion of Tuner module</i> (2º nível) são eliminados os sub-processos (3ª nível)
28	Automatic Cleanning (vibration, aspiration, blowing, ...)	Cleanning systems	Eliminados elementos derivados (2º nível) <i>Automatic Cleaning of PCB (blowing)</i> e <i>Automatic Cleaning of PCB (brushing)</i> . Em substituição cria-se elemento <i>Automatic Cleanning (vibration, aspiration, blowing, ...)</i>
29	Clinch of Components/Elements	-	Eliminados elementos derivados (2º nível): (29.03 até 29.07)
30	Wave soldering	-	Eliminados elementos derivados (2º nível)
31	Visual Inspection 100%	-	-
32	Electric Control of PCB	ICT (Electric Control of PCB)	-
33	Milling of board	-	Eliminado elemento derivado (2º nível) com numeração 33.01 – <i>Manual Milling</i>
34	Press/cut	Cutting Press	O processo <i>Press/cut</i> foi repartido em dois segmentos, o <i>Cutting Press</i> e o <i>Assembly Press</i> . Manteve-se o nº 34 para a prensa de corte e foi atribuído o nº 48 para a prensa de montagem (*). Assim, o processo <i>Cutting Press</i> é composto pelos seguintes elementos reformulados <i>Cutting of board contour; Cutting of keys e Cutting of Pick-up shunt</i> . Os sub-elementos (3º nível) para esses elementos derivados (2ª nível) são eliminados. Ex.: o sub-processo (3º nível) <i>Manual Press/Cut of board contour</i> do elemento derivado) “ <i>Press/Cut of board contour</i> ” (2ª nível é eliminado.
35	Engraving	-	Eliminado elemento derivado (2º nível) <i>Manual Engraving</i>
36	Labeling	-	-
41	Gauge	-	-

48	Press/cut (*)	Assembly Press	Um novo processo que tem origem da repartição do processo <i>Press/cut</i> . A prensa de montagem apresenta acoplada a si alguns elementos que pertenciam até então ao processo <i>Press/cut</i> . Ex: <i>Press for Top Cover</i> , <i>Press Volume Knob</i> , etc
50	Pre-Assembly	-	É retirado do processo <i>Final Assembly</i> , ficando como elemento independente. Permanece o n° 50
51	Final Assembly	-	Os elementos derivados (2ª nível) (<i>Assembly display</i> ; <i>Remove display foil</i> ; <i>Assembly of Fascia</i> e mais alguns processos derivados) do elemento 51 são transferidos para um novo processo <i>Fascia Assembly</i> com a atribuição do n° 68
52	Manual Soldering of encoder	-	-
55	Semi-Automatic Heat Sealing	-	Processo eliminado.
56	Crimping/Riveting Parts	Riverting	Os elementos derivados (2ª nível) que estavam acoplados ao processo <i>Crimping/Riveting Parts</i> são transferidos para o processo <i>Crimping</i> com o n°57.
57	Warm Crimping (Plastic Components)	Crimping	-
58	Screwing	-	-
59	Fixing by Gluing Components	-	-
60	Put / Fix Tape or film	-	Eliminado elemento derivado (2º nível) - <i>Put the Barcode label in the housing</i> .
63	Pulse Heated Thermode Soldering (STAMP SOLDERING)	-	-
64	Bending of Metallic Parts	-	Processo eliminado.
65	Laser Print	-	-
67	Automatic Selective Soldering	-	-
68	Fascia Assembly	-	Novo processo com a atribuição do n° 68, composto por

			elementos provenientes do nº 51 – “Final Assembly”.
70	Mariage	-	-
71	QCO_Quick change over	-	Processo eliminado.
72	Check tuner part number	-	Processo eliminado.
73	Check rear pin	-	Processo eliminado.
79	Automatic adjustment of Display contrast	-	-
80	PCB Programming (Flash)	-	-
81	Labelling Control by Scanner	-	Processo eliminado.
82	Diagnostic Test	-	-
83	Burn In	-	-
84	Automatic Optical Inspection	-	-
85	Control 1	-	-
86	Control 2	-	-
87	Test of Fascia	Fascia Control	Eliminados elementos derivados (2º nível) do processo <i>Test of Fascia</i> .
88	Coating	-	-
89	Screening	-	-
90	Packaging/labelling	-	-
91	Paletization	-	-
92	Functional Test	-	-
93	Material Identification/Storage	-	-
94	VQ	-	-
95	ENG Area Avaliation of Product	-	Processo eliminado.
100	Plastic Injection	-	Processo eliminado.

110	Silicon Dispensing	-	Processo eliminado.
120	Lackier	-	Processo eliminado.
130	Automatic Printing Paint Inject	-	Processo eliminado.
140	Assembly Cables	-	Processo eliminado.
150	Semiautomatic Hight Voltage (Control of Unit)	-	-
160	Glue Dispensing (Speakers Process)	-	Processo eliminado.
170	Semiautomatic Acustic Test (Subjective) for Woofer	-	Processo eliminado.
171	Semiautomatic Acustic Test (Subjective) for Coax	-	Processo eliminado.
172	Automatic Acustic Test (Objective) for Tweeter	-	Processo eliminado.
180	Magnetiser	-	Processo eliminado.
190	Heatforming	-	Processo eliminado.
200	Ultrasonic Seeling	-	Processo eliminado.
210	UV Glue Curing	-	Processo eliminado.
220	Metalic Parts Stamping	-	Processo eliminado.
230	PDI	-	-
1005	Material Entrance	-	-
1010	Product Expeditation	-	-
2005	Part Number Aproval	-	-
2006	Material devolution of Storage	-	-
2008	SPC study (Dimensional control)	-	Processo eliminado.
2009	FEP	-	-
2010	Reliability Test	-	-

2100	Program IDB Fazit ID after warranty	-	-
------	--	---	---