

Análise da eficácia da aplicação da Metodologia FMEA do Processo

Caso de estudo numa empresa certificada

Teresa Maria da Costa Quintas Soares



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização de Sistemas e Planeamento Industrial
Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

21 de novembro de 2014

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Teresa Maria da Costa Quintas Soares, Nº 1860367, 1860367@isep.ipp.pt

Orientação científica: Ângelo Martins, amm@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização Sistemas e Planeamento Industrial

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

21 de novembro de 2014

*“Quality is never an accident.
It is always the result of intelligent effort.”*

John Ruskin

Agradecimentos

Apresento o meu reconhecimento e estima ao Dr. Ângelo Martins, orientador desta monografia, toda a sua disponibilidade, atenção e partilha de conhecimento durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ainda, todo o esforço e dedicação empenhados neste projeto, foram fruto da compreensão, paciência e força transmitida pela minha família, da qual muitos momentos de alegria tiveram de ser adiados e outros cancelados.

Resumo

Num mercado globalizado, a procura continua de vantagens competitivas é um fator crucial para o sucesso das organizações. A melhoria contínua dos processos é uma abordagem usual, uma vez que os resultados destas melhorias vão se traduzir diretamente na qualidade dos produtos.

Neste contexto, a metodologia Failure Mode Effect Analysis (FMEA) é muito utilizada, especialmente pelas suas características proactivas, que permitem a identificação e a prevenção de erros do processo. Assim, quanto mais eficaz for a aplicação desta ferramenta, mais benefícios terá a organização. Assim, quando é utilizado com eficácia, o FMEA de Processo, além de ser um método poderoso na análise do processo, permite a melhoria contínua e a redução dos custos [1].

Este trabalho de dissertação teve como objetivo avaliar a eficácia da utilização da ferramenta do FMEA de processo numa organização certificada segundo a norma ISO/TS16949. A metodologia proposta passa pela análise de dados reais, ou seja, comparar as falhas verificadas no mercado com as falhas que tinham sido identificadas no FMEA. Assim, ao analisar o nível de falhas identificadas e não identificadas durante o FMEA e a projeção dessas falhas no mercado, consegue-se determinar se o FMEA foi mais ou menos eficaz, e ainda, identificar fatores que condicionam a melhor utilização da mesma.

Este estudo, está organizado em três fases, a primeira apresenta a metodologia proposta, com a definição de um fluxograma do processo de avaliação e as métricas usadas, a segunda fase a aplicação do modelo proposto a dois casos de estudo, e uma última fase, que consiste na análise comparativa, individual e global, que visa, além de comparar resultados, identificar pontos fracos durante a execução do FMEA.

Os resultados do caso de estudo indicam que a ferramenta do FMEA tem sido usada com eficácia, pois consegue-se identificar uma quantidade significativa de falhas potenciais e evitá-las. No entanto, existem ainda falhas que não foram identificadas no FMEA e que apareceram no cliente, e ainda, algumas falhas que foram identificadas e apareceram no cliente. As falhas traduzem-se em má qualidade e custos para o negócio, pelo que são propostas ações de melhoria.

Pode-se concluir que uma boa utilização do FMEA pode ser um fator importante para a qualidade do serviço ao cliente, e ainda, com impacto dos custos.

Palavras – chave

Eficácia do FMEA, qualidade, custos

Abstract

Nowadays, in a globalized market, the continuous search for competitive advantages is a crucial factor for the success of organizations. The continuous improvement of processes is a usual approach, since the result of these improvements will influence directly the product quality.

In this context, the Failure Mode Effect Analysis (FMEA) methodology is widely used, especially due to its proactive characteristics, which enable the identification and prevention of process errors. Thus, the more effectively this tool is applied, the more benefits it will bring to the organization. Thus, when it is used efficiently, the Process FMEA, besides being a powerful method in process analysis, also enables continuous improvement and cost reduction [1].

This thesis had therefore the aim of evaluating the effectiveness of the use of the process FMEA tool in a certified organization according to ISO/TS16949. The proposed methodology involves the analysis of real data, i.e. compare the failures found in the market with the failures that had been identified in the FMEA. Thus, when analyzing the level of failures identified and not identified during the FMEA and the projection of these failures in the market, we can determine whether the FMEA was more or less effective, and also identify factors that condition the best use of it.

This study is organized into three phases: the first presents the proposed methodology, with the definition of a flowchart of the evaluation process and the used metrics, the second phase the implementation of the proposed model to two case studies, and a final stage, which consists of the individual, comparative and global analysis, which aims, besides comparing results, to identify the weaknesses during the FMEA execution.

The results of the case study indicate that the FMEA tool has been used effectively, because it is possible to identify a significant amount of potential failures and avoid them. However, there are still failures that have not been identified in the FMEA and appeared at the customer, and also failures that have been identified and appeared at the customer. The failures result in poor quality and costs for the business, so that improvement actions are proposed.

We can conclude that a good application of FMEA can be an important factor for customer service quality, and also has an impact on costs.

Keywords

Effectiveness of FMEA, quality improvement, costs reduction

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ACRÓNIMOS	XVII
SIGLAS	XIX
DEFINIÇÕES	XXI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICAÇÃO E MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVO E METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO.....	2
1.3 ESTRUTURA DA TESE.....	2
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1 INTRODUÇÃO AO FMEA.....	5
2.2 PERSPETIVA HISTÓRICA.....	7
2.3 TIPOS DE FMEA.....	8
2.3.1 FMEA de produto/projeto.....	9
2.3.2 FMEA de processo.....	10
2.4 METODOLOGIA DO FMEA.....	11
2.4.1 Condições necessárias.....	11
2.4.2 Fases de Desenvolvimento.....	12
2.4.3 Avaliação dos Riscos.....	15
2.4.4 Número de prioridades de Risco (RPN).....	18
2.5 BENEFÍCIOS DO FMEA.....	21
2.6 LIMITAÇÕES DA FMEA.....	21
2.7 ERROS MAIS COMUNS DURANTE A EXECUÇÃO DO FMEA.....	22
2.8 RECOMENDAÇÕES PARA MELHORAR O FMEA.....	23
3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, PRODUTO E PROCESSO	25
3.1 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO DA EMPRESA.....	25
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO.....	26

3.3	CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	29
3.4	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO E PRINCIPAIS MODOS DE FALHA	30
3.4.1	<i>Fase1: Laser marking</i>	31
3.4.2	<i>Fase2: Processo de SMT</i>	32
3.4.3	<i>Fase 3: Processo PTH</i>	34
3.4.4	<i>Fase 4: Sub-processo da Blenda</i>	36
3.4.5	<i>Fase 5: Montagem final e Testes funcionais</i>	37
3.5	DESCRIÇÃO DO PROCESSO FMEA E DAS RESPONSABILIDADES.....	40
4	APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO E DO PROBLEMA.....	43
4.1	SITUAÇÃO ATUAL.....	43
4.2	DEMONSTRAÇÃO DOS DADOS DA QUALIDADE NO CLIENTE.....	45
4.3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	50
5	CASO DE ESTUDO E A METODOLOGIA	51
5.1	INTRODUÇÃO.....	51
5.2	DESCRIÇÃO DO ARTIGO SELECIONADO	51
5.3	METODOLOGIA ADOTADA NO CASO DE ESTUDO	54
5.3.1	<i>Caracterização da Amostra</i>	54
5.3.2	<i>Modelo proposto</i>	55
5.3.3	<i>Métricas aplicadas</i>	58
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	65
6.1	INTRODUÇÃO.....	65
6.2	RESULTADOS DO ESTUDO	65
6.2.1	<i>Avaliação do parâmetro “Modos de Falha ”</i>	66
6.2.2	<i>Avaliação do parâmetro “Efeitos da falha”</i>	68
6.2.3	<i>Avaliação do parâmetro “Causas da falha”</i>	70
6.2.4	<i>Nível total dos fatores de impacto positivo e negativo no FMEA</i>	73
6.2.5	<i>Análise de Pareto do impacto dos parâmetros identificados e não identificados no cliente.</i>	75
6.2.6	<i>Identificação das falhas aos sub-processos</i>	78
6.2.7	<i>Ocorrências das falhas e eficiência das ações</i>	80
6.2.8	<i>Porcentagem das falhas detetadas no cliente por RPN</i>	81
6.2.9	<i>Análise de Pareto por categoria das falhas no cliente</i>	84
7	CONCLUSÕES E FUTURA INVESTIGAÇÃO	87
7.1	INTRODUÇÃO.....	87
7.2	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	90
7.3	RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	ANEXOS.....	97

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema das relações da falha [5].....	6
Figura 2 - Análise de criticidade [4].....	6
Figura 3 - Tabela do Formulário FMEA [5].....	15
Figura 4 - Fluxograma de análise do FMEA [14]	20
Figura 5 - Caminho para a Gestão da Qualidade Total [22].....	26
Figura 6 - Exemplos de autorrádios modernos.....	27
Figura 7 - Esquema de um autorrádio [22].....	27
Figura 8 - Explosão de um autorrádio [22].....	28
Figura 9 - Árvore de componentes de um autorrádio.....	29
Figura 10 - <i>Layout</i> da produção[22].....	30
Figura 11 - Operações de montagem de um autorrádio.....	31
Figura 12 - Diagrama do processo de laser marking.....	31
Figura 13 - Diagrama do processo de inserção automática e soldadura <i>reflow</i>	32
Figura 14 - Alguns erros típicos na inserção de componentes	33
Figura 15 - Defeitos nas terminações	34
Figura 16 - Diagrama do processo inserção manual e soldadura overflow.....	35
Figura 17 - Defeitos na inserção manual/ manuseamento.....	36
Figura 18 - Defeitos da soldadura	36
Figura 19 - Componentes da blenda.....	37
Figura 20 - Defeitos na montagem da blenda.....	37
Figura 21 - Defeitos na montagem final.....	38
Figura 22 - Diagrama do processo montagem final e afinação e teste	39
Figura 23 - Diagrama do processo programação, teste embalagem.....	39

Figura 24 - Exemplo do documento de FMEA da empresa.....	41
Figura 25 - Níveis de rejeição no cliente.....	44
Figura 26 - Proporção das causas-raiz 2012.....	45
Figura 27 - Proporção das causas-raiz 2013.....	46
Figura 28 - Análise do Diagrama de Pareto 2013	48
Figura 29 - Análise do Diagrama de Pareto 2012	49
Figura 30 - Fluxograma do processo de avaliação do FMEA [23]	53
Figura 31 - Fluxograma do processo de avaliação do FMEA proposta.....	57
Figura 32 - Valor da capacidade dos Modos de falha	67
Figura 33 - Representação gráfica dos fatores dos modos da falha	68
Figura 34 - Valor da capacidade dos efeitos da falha	69
Figura 35 - Representação gráfica dos fatores dos efeitos da falha	70
Figura 36 - Valor da capacidade das causas da falha	72
Figura 37 - Representação gráfica dos fatores das causas da falha.....	73
Figura 38 - Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados do produto X (vermelho).....	76
Figura 39 - Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados do produto Y (verde).....	77
Figura 40 - Falhas identificadas no FMEA e o seu RPN	82
Figura 41 - Falhas identificadas no FMEA e detetadas no cliente e o seu valor de RPN...	83

Índice de tabelas

Tabela 1 - Índice de Gravidade [3] (15)	16
Tabela 2 - Índice de Ocorrência [3] (15)	17
Tabela 3 - Índice de Detecção [2] [14].....	18
Tabela 4 - Custos das reclamações	44
Tabela 5 - Categorias por grupos e subgrupos 2012	45
Tabela 6 - Categorias por grupos e subgrupos 2013	46
Tabela 7 - Quantificação das reclamações por tipo em 2013	47
Tabela 8 - Quantificação das reclamações por tipo em 2012	49
Tabela 9 - Fatores de ponderação das anomalias detetadas.....	62
Tabela 10 - Síntese de alguns dos resultados obtidos do parâmetro Modo de falha	66
Tabela 11 - Síntese de alguns dos resultados obtidos do parâmetro Efeitos da Falha	68
Tabela 12 - Síntese de alguns dos resultados obtidos do parâmetro causa da falha.....	71
Tabela 13 - Nível total de impacto positivo FMEA	74
Tabela 14 - Nível total de impacto negativo FMEA	74
Tabela 15 - Relação entre níveis de impacto	75
Tabela 16 - Índice de impacto por atributo do produto X (vermelho)	76
Tabela 17 - Índice de impacto total por atributo do produto X (vermelho)	76
Tabela 18 - Índice de impacto por atributo do produto Y (verde).....	78
Tabela 19 - Índice de impacto total por atributo do produto Y (verde).....	78
Tabela 20 - Causas das falhas por sub-processos do produto X (vermelho).....	79
Tabela 21 - Causas das falhas por sub-processos do produto y (verde).....	79
Tabela 22 - Ocorrências dos modos de falha identificados no produto X (vermelho).....	80
Tabela 23 - Ocorrências dos modos de falha identificados no produto Y (verde)	81
Tabela 24 - Falhas identificadas no FMEA por RPN	82

Tabela 25 - Percentagem das falhas detetadas no cliente por RPN	83
Tabela 26 - Categorias das falhas não identificadas no FMEA do produto X (vermelho) .	85
Tabela 27 - Categorias das falhas identificadas no FMEA do produto X (vermelho)	85
Tabela 28 - Categoria das falhas não identificadas no FMEA do produto Y (verde)	86
Tabela 29 - Categoria das falhas identificadas no FMEA do produto Y (verde)	86

Acrónimos

- FMEA – Failure Mode, Effects, and Analysis
- FMECA – Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis
- PFMEA – Process Failure Mode, Effects, and Analysis
- DFMEA – Design Failure Mode, Effects, and Analysis
- EMAS – Eco-Management and Audit Scheme, instrumento de gestão desenvolvido pela Comissão Europeia para as empresas e outras organizações para avaliar, relatar e melhorar o seu desempenho ambiental.
- AIAG – Automotive Industry Action Group. Foi criado para desenvolver recomendações na área da melhoria da qualidade para a indústria automóvel norte-americana.
- ISO9000 – Normas do sistema de gestão da qualidade que foi concebido para ajudar as organizações que possam cumprir com as necessidades dos clientes e outras partes interessadas, ISO 9000 trata dos fundamentos de sistemas de gestão da qualidade, incluindo os oito princípios de gestão em que a família de normas é baseada.
- QS9000 – é um padrão de qualidade desenvolvido por um esforço conjunto do "Big Three" montadoras americanas, a General Motors, Chrysler e Ford. Foi introduzida no mercado em 1994 e tem sido adotado por vários fabricantes de caminhões pesados e os EUA também. Essencialmente todos os fornecedores das montadoras americanas precisam implementar um sistema QS 9000.
- ISO14001 – é uma família de normas relacionadas com a gestão ambiental que existe para ajudar as organizações a minimizar a suas operações (processos, etc) afetam negativamente o meio ambiente.

ISO/TS16949 – é uma especificação ISO técnica visando o desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade que oferece para a melhoria contínua, enfatizando defeito prevenção ea redução da variação e desperdício na cadeia de fornecimento. Ele é baseado na ISO 9001 padrão e a primeira edição foi publicada em março de 2002 como ISO / TS 16949:, 2002 [1] Ele foi elaborado pela International Automotive Task Force (IATF) ea "Comissão Técnica" da ISO. Harmoniza as normas de sistemas de gestão da qualidade específicos de cada país.

Siglas

- RPN – Risk Number Priority – Produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção.
- APQP – Advanced Product Quality Planning. Conjunto de procedimentos e técnicas usadas para desenvolvimento de produtos em especial na indústria automóvel.
- FTA – Fault Tree Analysis. Árvore de falhas ou eventos. Ferramenta usada para identificar múltiplos pontos de falha; mais do que uma condição pode ocorrer para queaconteça uma falha.
- SPC – Statistic Process Control. Inclui ferramentas tais como, diagramas de Pareto, diagramas de Ishikawa, histogramas, cartas de controlo, gráficos de dispersão, check-lists.
- VDA – Verband der Deutschen Automobilindustrie, norma de gestão da qualidade alemã, foi iniciado pela indústria automovel.
- IATF – International Automotive Task Force; um grupo dos principais fabricantes de automóveis e suas respectivas organizações comerciais, para harmonizar as exigências dos fabricantes de automóveis do mundo.
- SMT/SMD – Surface Mounting Technologie/Surface Mounting Device
- PCI – Placa Circuit Impresso
- SPI – Solder Paste Inspection, máquina de visão optica para medir a quantidade e a qualidade de deposição da pasta de solda antes do processo de solidificação.
- AOI – Automatic Optical Inspection, Máquina por visão optica para inspecionar a qualidade da solda nos componentes.

- PTH – Pin Through Hole, tipo de tecnologia que são utilizados meios humanos para realizar a montagem.
- SD/MMC – Secure Digital (SD)/ MultiMediaCard (MMC) é um cartão de memória utilizada em dispositivos portáteis, como telemóveis, câmeras digitais, dispositivos de navegação GPS.

Definições

- Criticidade – Produto dos índices de severidade e ocorrência. Atribuição da importância relativa ao equipamento ou sistema que permite estabelecer prioridade no planeamento de ações de melhoria.
- Fiabilidade – Pode também ser designada como confiabilidade. Exprime a probabilidade que um sistema não falhe num determinado período de tempo.
- Efeito Falha – A incapacidade de um sistema, subsistema, componente, atividade ou tarefa para desempenhar a função requerida.
- Causa – Meio pelo qual um elemento do desenho ou processo resulta num modo de falha.
- Modo de falha – A descrição física do modo de ocorrência da falha e as condições de operação do equipamento nesse momento.
- Deteção – Probabilidade de perceber a falha ou seus efeitos. Quão difícil é detetar o modo de falha ou causa.
- Ocorrência – Probabilidade de acontecer a falha ou causa da mesma.
- Severidade – Gravidade da falha. Quão sério é o impacto do efeito final.
- Função – Determinação das necessidades e expectativas, recorrendo a QFD, matrizes de priorização e brainstorming.
- Brainstorming – Tempestade de ideias. Técnica para produzir, por associação livre de ideias, múltiplas soluções para um problema ou questão.

- APOLLO O Programa Apollo foi um conjunto de missões espaciais coordenadas pela NASA entre as décadas de 60 e 70, com o objetivo de colocar o homem na lua.
- Blenda – Parte frontal plástica do autorrádio.

1 Introdução

1.1 Justificação e motivação

Nos dias que correm, a vantagem competitiva de uma organização, é um fator crucial para o sucesso do seu negócio, e uma das temáticas que mais influencia essa vantagem é apostar na melhoria contínua dos seus processos. O resultado destas melhorias vão se traduzir em produtos mais robustos e mais fiáveis.

Uma ferramenta bastante expressiva nesta área, é a metodologia *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), com características proactivas, que permite a identificação e prevenção de erros do processo. Assim, quanto mais eficazmente esta ferramenta for aplicada, mais benefícios trará a uma organização. O FMEA do processo (PFMEA), quando utilizado com eficácia, além de ser um método poderoso na análise do processo, permite a melhoria contínua e redução dos custos [1].

A redução de custos, igualmente, visa manter ou conseguir uma vantagem competitiva. Segundo Michael Porter, uma empresa pode conseguir vantagem competitiva sustentável por meio de custos ou de diferenciação. No entanto, ele ressalta que mesmo quando a opção da empresa é pela diferenciação, os custos não podem nunca ser esquecidos [2].

Certamente, o processo de PFMEA da empresa do caso de estudo abordado nesta dissertação, contempla possivelmente alguns erros que afetam a sua eficácia. Assim, a grande motivação e interesse em explorar esta temática, visa em quantificar a eficácia e identificar quais os fatores que mais influenciam nos resultados durante a aplicação desta ferramenta, e contribuir para introduzir correções que são justificadas pelos grandes desafios da melhoria contínua e da redução de custos.

1.2 Objetivo e metodologia de investigação

Este trabalho tem por objetivo principal medir a eficácia do PFMEA e identificar as principais dificuldades que possam ocorrer na utilização do PFMEA da empresa.

Na presente dissertação, a metodologia definida compreendeu as etapas a seguir descritas:

1. Revisão bibliográfica sobre a ferramenta FMEA, a qual é considerada o ponto de partida para a realização desta dissertação;
2. Fazer uma pesquisa e análise em estudos efetuados sobre as dificuldades e limitações na utilização desta ferramenta, e ainda, em formas de medir a eficácia do FMEA;
3. Conceber um modelo, identificar e parametrizar as variáveis, para medição da eficácia do PFMEA, tendo como base a identificação dos modos de falhas durante o FMEA e suas relações;
4. Definição e apresentação da sistemática proposta e sua aplicação no caso de estudo;
5. Identificar dos fatores críticos que influenciam a utilização da ferramenta;
6. Apresentação de um resumo das conclusões obtidas, sugerindo-se possíveis desenvolvimentos futuros.

1.3 Estrutura da tese

A dissertação encontra-se organizada em sete capítulos. O capítulo 1, presente capítulo, constitui a introdução da dissertação, no qual se apresenta a justificação, motivação e os objetivos do tema escolhido, e descreve-se de forma sucinta a metodologia que se adotou. Finalmente, é elaborado um resumo dos capítulos da dissertação.

No capítulo 2, elabora-se o estado da arte, efetuando-se um enquadramento geral sobre a história do FMEA, seguido pela descrição dos principais conceitos, métodos e

características desta metodologia, e descreve-se resumidamente, os seus principais benefícios, limitações e erros, e ainda, para finalizar, considerações gerais e boas práticas.

No capítulo 3, é feita uma descrição da empresa e sua atividade de negócio, caracterização dos seus produtos e do processo produtivo, e as principais anomalias e as respetivas causas. No final, descreve-se a metodologia do FMEA do processo que está a ser aplicada na Empresa.

No capítulo 4, é feita uma exposição e descrição do problema, a apresentação dos resultados de qualidade no cliente e custos associados, da empresa em estudo.

No capítulo 5, apresenta a metodologia proposta para alcançar os objetivos propostos, aplicação do modelo anteriormente descrito ao caso de estudo.

No capítulo 6, apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos na metodologia proposta.

No capítulo 7, último capítulo, elaboram-se as considerações finais da dissertação e apresenta-se um resumo dos principais resultados obtidos deste estudo, assim como se propõem algumas linhas de investigação futuras.

2 Estado da arte

2.1 Introdução ao FMEA

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (do inglês Failure Mode and Effect Analysis) [3], é uma ferramenta que visa evitar, por meio da identificação e análise das falhas potenciais, que estas ocorram no produto ou processo e propor ações de melhoria. Este método de gestão de qualidade é essencialmente preventivo, tendo como objetivo melhorar constantemente os processos e produtos das empresas. O FMEA, por si só, não é um método de resolução de problemas mas usa ferramentas de qualidade para a resolução de problemas, tais como, Brainstorming, Análise de Pareto, FTA (Failure Tree Analysis), entre outras [4].

O modo de falha (ver Figura 1) é classificado de acordo com a criticidade dos seus efeitos e a sua probabilidade de ocorrência, sendo o ponto crítico centrado a partir da causa, e racionando na direção do efeito.

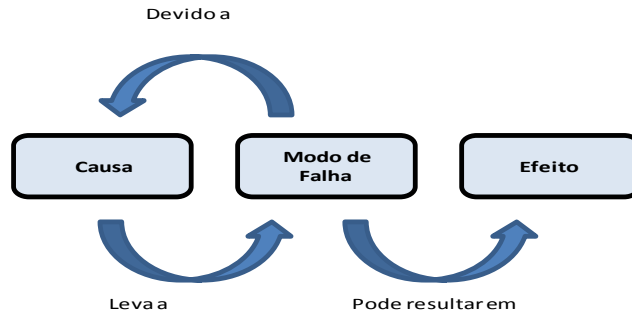


Figura 1 - Esquema das relações da falha [5]

A partir deste ponto, pode-se determinar por meio de análise do modo de falha, o efeito de cada falha e identificar os pontos críticos.

Deste modo, tem-se a análise dos modos, efeitos e criticidade da falha (FMECA) [6] que é resultado de duas metodologias:

- Failure Mode and Effect Analysis (FMEA);
- Criticality Analysis (CA).



Figura 2 - Análise de criticidade [4]

Para cada falha é efetuada uma estimativa do efeito total da gravidade, da ocorrência e da detecção associada em cada sistema analisado [7]. A análise de criticidade (*Criticality Analysis*) é realizada por meio do índice *Risk Priority Number (RPN)*, que estima o risco relacionado às falhas ocorridas, e é obtido pelo produto de três índices (ver Figura 2): Severidade, Ocorrência e Detecção.

O acrónimo FMEA ao longo do tempo passou-se a designar de modo genérico o FMECA, onde a avaliação de criticidade lhe está associada [4].

2.2 Perspetiva Histórica

Em 1949, surge a primeira abordagem e referência bibliográfica, o procedimento militar US MIL-P 1629 intitulado *Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis*, criado pelo exército norte-americano para a identificação dos efeitos das falhas nos sistemas e equipamentos, e classificação segundo o seu impacto sobre o sucesso da missão, e sobre as condições de segurança referentes ao pessoal e aos equipamentos [8].

Anos mais tarde, o procedimento militar MIL-P1629, serviria de base para a criação das normas militares MIL-STD1629 e MIL-STD1629A, que continuam sendo usadas até os dias de hoje [9]. Estas normas descrevem os procedimentos utilizados pela metodologia FMEA. Entretanto, surgiram outras normas de suporte ao FMEA, como por exemplo, a IEC 60812 (2006) intitulada de Técnicas de análises para fiabilidade de sistemas – Procedimento para a análise dos modos e dos efeitos de falha [8]. Esta norma promove um modelo sobre a forma como se deve aplicar esta ferramenta, tais como, uso dos termos mais apropriados, fornecer diretivas para a realização de uma análise, definição dos princípios básicos e disponibilizando exemplos de formulários para execução da ferramenta.

A primeira aplicação formal do uso da metodologia FMEA foi realizada pela indústria aeroespacial (NASA) em 1963, com o intuito de propor uma metodologia de projeto que fosse ao encontro das necessidades de segurança durante o programa APOLLO. O objetivo era garantir as exigências de segurança relacionada às falhas de todos os componentes e dos seus efeitos sobre os sistemas do programa espacial [10] [8].

No início dos anos 80, as indústrias automóvel americanas começaram a aplicar formalmente o FMEA no desenvolvimento de seus novos produtos e processos. A Ford Motor Company foi a pioneira, tendo generalizado o seu uso tanto internamente, como externamente, de modo a obter avanços significativos tanto nas áreas de projeto como de manufatura. Mais tarde, em 1988, publicou um manual de aplicação deste método à engenharia automóvel intitulado *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design*

(Design FMECA) and for Manufacturing and Assembly Processes (Process FMECA) Instruction Manual [8].

Na década de oitenta, uma equipa de trabalho composto por representantes da Chrysler Corporation, da Ford Motor Company e da General Motors Corporation, desenvolveu a norma americana QS 9000 que esta define o sistema da qualidade exigido por estas três grandes companhias quer a fornecedores internos, quer a fornecedores externos de produção e fornecimento de materiais e componentes, tendo por base o FMEA, com o objetivo de obterem uma melhoria contínua dos seus produtos e serviços, prevenção de defeitos, redução de desperdícios e custos, entre outros [11].

Entretanto, na Europa surgiram normas semelhantes à QS 9000 com o mesmo intuito, ou seja, com a tarefa de uniformizar os critérios existentes. O IATF (*International Automotive Task Force*) iniciou, em 1995, o desenvolvimento de um referencial comum, que incluíse os requisitos dos vários fabricantes e que fosse reconhecido por todos. Desta forma, surgiu, em 1999, a Especificação Técnica ISO/TS 16949 [12] [8].

O FMEA foi promovido pela industria aeronáutica e automóvel, desde então, tem sido reconhecida como uma ferramenta de grande importância, e é aplicada nas mais diversas áreas, desde das indústrias elétrica e eletrónica, química e petroquímica, indústrias farmacêuticas e até em hospitais [4].

2.3 Tipos de FMEA

Em relação ao tipo de FMEA, não existe um número que se possa dizer unânime, em que alguns autores defendem a existência de 4 tipos (sistema, produto, processo e serviço) e outros 3 (produto, processo e serviço). Os tipos de FMEA podem ser classificados, de acordo com a sua aplicação, em [7]:

- FMEA de Sistemas: usado para analisar sistemas no início da conceção e estágio de projeto;
- FMEA de Projeto: usado para analisar projetos antes de serem produtos. O foco centra-se em modos de falha causados por deficiências de projeto;
- FMEA de Processo: usado para analisar os processos de produção;
- FMEA de Serviço: usado para analisar serviços antes de chegarem ao consumidor.

Contudo, pode afirmar-se que dois será o número de tipos FMEA mais consensual, o FMEA de produto e o FMEA de processo [3].

No FMEA de produto, também conhecido como FMEA de projeto, as falhas consideradas poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto que resultem de uma elaboração do projeto menos correta, por exemplo, antecipar e corrigir eventuais problemas estruturais ou funcionais do produto. O outro tipo, o FMEA de processo, considera as falhas de planejamento e execução do processo. Neste tipo de FMEA, as observações finais são, na maioria das vezes, resultantes de uma conceção menos bem conseguida [13] [14] [15].

A aplicação da metodologia destes dois tipos é análoga, mas difere em alguns pontos, por exemplo, o momento de aplicação e a origem da informação. Isto significa que, enquanto o FMEA de Produto utiliza uma lista estruturada de materiais, o FMEA de Processo utiliza diagramas de fluxo de processo como documento fonte [16]. Para uma melhor diferenciação das suas funções, apresenta-se a seguir uma breve descrição de cada um.

2.3.1 FMEA de produto/projeto

O FMEA tem por objetivo identificar os modos falhas e, para isso, são realizadas análises e ações de melhoria antes da primeira produção, para se poder eliminar todas as características que possam ter influência influenciar no bom funcionamento do produto final [14] [15].

Neste tipo de FMEA, toda a documentação e o processo devem ser iniciados antes, ou na fase de conclusão da conceção do projeto, devendo ser sempre atualizados ao longo da fase de conceção e registadas todas as alterações realizadas ou informações que possam ser relevantes. Todo este processo deverá estar concluído no final da fase da conceção, ou seja, no final da fase de desenho, para possibilitar a elaboração do *layout* do processo de fabrico, assim como todos os componentes que integram o produto. Este *timing* é muito importante, uma vez que os custos que resultam das alterações de um produto na fase de conceção são muito inferiores aos custos de realização das mesmas alterações com o produto já em fase de produção. Existe um grande impacto nos custos e no tempo de desenvolvimento quando o FMEA é realizado na fase de conceção e que a aplicação desta, ajuda na identificação e respetiva solução de problemas, mantém o conhecimento do produto e do processo na organização e é sempre uma mais-valia para a identificação de possíveis falhas [7]. Esta técnica serve de suporte ao desenvolvimento do projeto reduzindo os riscos de falhas, por:

- Auxiliar na avaliação dos requisitos do projeto e de soluções alternativas.
- Considerar os requisitos de produção e montagem no projeto inicial.
- Aumentar a probabilidade para que os modos de falha potenciais e os seus efeitos nos sistemas e na utilização do produto sejam considerados no processo de desenvolvimento/projeto.
- Proporcionar dados no planeamento de programas de desenvolvimento e de ensaios de projeto eficientes e completos.
- Desenvolver uma lista de modos de falhas potenciais classificadas de acordo com os seus efeitos no cliente, estabelecendo assim um sistema de prioridades para melhorias do projeto e ensaios de desenvolvimento.
- Proporcionar uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear ações de redução de risco.
- Promover referências para no futuro ajudar na análise de problemas de campo, na avaliação de alterações de projeto e no desenvolvimento de projetos futuros.

2.3.2 FMEA de processo

Em relação a ao FMEA de processo, assume-se que o produto, tal como foi desenhado, está dentro do objetivo do projeto. Deste modo, as falhas potenciais que possam ocorrer devido a deficiências do projeto não precisam de ser consideradas no FMEA de processo, uma vez que devem ser estudadas no FMEA de Projeto. O FMEA de processo também não deve considerar as alterações de projeto do produto, de modo a atenuar quaisquer deficiências do processo. O planeamento do processo de produção ou montagem tem em conta as características de projeto do produto para garantir, tanto quanto possível, que o produto resultante satisfaz as necessidades e as expectativas do cliente. Stamatis refere que o objetivo do FMEA de processo é poder identificar, avaliar e obter possíveis soluções para as potenciais falhas nos processos de produção e montagem, para que sejam cumpridos todos os requisitos de conformidade do produto final [7].

Este tipo de FMEA deverá estar concluído antes da execução da primeira produção. É importante salientar que esta “execução” exclui testes e protótipos, ou seja, o FMEA de processo deverá estar concluído, até ao início da primeira produção “real” (produto final). Como se sabe não é fácil conhecer todos os processos no início da produção, o que faz com que o conhecimento sobre os processos seja desenvolvido no decorrer do tempo. Então, o

FMEA de Processo torna-se um documento dinâmico (à semelhança do FMEA de projeto) para refletir as mudanças nos processos [7].

Segundo Moura [9], o FMEA de processo é o resultado do trabalho de uma equipa ao longo do desenvolvimento de um processo e inclui a análise dos pontos que podem falhar, com base na experiência e nos problemas do passado. Regra geral, o FMEA de processo:

- Identifica os modos de falhas potenciais do processo relacionadas ao produto.
- Avalia os efeitos potenciais da(s) falha(s) no cliente.
- Identifica as causas potenciais de falhas do processo de produção ou montagem e as variáveis que devem ser controladas para reduzir a ocorrência ou melhorar a eficácia da deteção das falhas.
- Classifica os modos de falha potenciais, estabelecendo um sistema de “prioridades” para a tomada das ações corretivas.
- Documenta os resultados dos processos de produção e montagem.

2.4 Metodologia do FMEA

A mecânica da metodologia é sempre a mesma, independentemente do tipo de FMEA e da sua aplicação. Assim, consiste na identificação do produto ou do processo em causa, das suas funções, dos tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas dessa falha [13]. O FMEA permite ver o sistema, o produto ou o processo sob um ponto de vista global, partindo de uma visão macro ao detalhe (*top-down*) ou partindo dos modos de falha dos componentes ou operações até às falhas do sistema (*bottom-up*), avaliando as respetivas consequências [15]. A seguir, são avaliados os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nesta avaliação, são promovidas as ações que visam reduzir esses riscos, diminuindo a probabilidade de o produto/processo falhar. Para a avaliação do risco são levados em consideração quatro índices: Severidade (S), Ocorrência (O), Deteção (D) e Número de Prioridade de Risco (RPN). A avaliação de cada índice é independente entre si [3].

2.4.1 Condições necessárias

Para o sucesso de um FMEA, um dos fatores mais importantes é o momento oportuno da sua execução, devendo o FMEA ser uma ação “antes do evento” e não um exercício “após o facto”. Contudo, após a sua conclusão, a sua implementação deve ser revista sempre que

se verifiquem alterações significativas no desenvolvimento do produto ou no processo de fabrico [14] [15].

Outro fator crucial para que um projeto de FMEA seja bem-sucedido, é o compromisso da Gestão de topo. É essencial que esta tenha uma visão de longo prazo, um compromisso com a prevenção e valorize o tempo e os recursos despendidos nas atividades necessárias, sem esquecer a promoção da disponibilidade dos colaboradores para se comprometerem disciplinadamente no projeto [14] [15] [17].

Como todos os projetos, um FMEA deve ter um âmbito bem definido, as metas bem definidas e com calendarização de reuniões periódicas. Devem ser estabelecidas as etapas do projeto e avaliado o seu progresso, pelo menos através do cumprimento de etapas.[14].

A equipa do FMEA deverá ser multidisciplinar e ser constituída por 4 a 6 pessoas com conhecimentos específicos na sua área. A importância de um facilitador é crucial, uma vez que a sua tarefa é moderar as reuniões e assegurar o cumprimento dos critérios estabelecidos, a agenda e o tempo. Durante a execução de um projeto de FMEA, é importante dispor de todas as informações relevantes sobre o produto/processo em estudo, tais como, descrições do sistema, procedimentos, instruções de trabalho, indicadores de falhas, plano de controlo, fluxograma do processo, desenhos, especificações do produto, *layout*, e outros.[14].

O desenvolvimento do FMEA é um processo moroso que requiere um investimento considerável de tempo da equipa de projeto, pode incluir formação e treino [14][17].

2.4.2 Fases de Desenvolvimento

As fases de desenvolvimento deste método são as seguintes [14][15]

1. Análise e hierarquização do sistema;
2. Análise funcional;
3. Identificação dos modos potenciais de falha;
4. Identificação dos efeitos potenciais de falha;
5. Identificação das causas dos modos potenciais de falha;
6. Identificação dos métodos de deteção e de prevenção.

Análise e hierarquização do sistema

Na análise do sistema, deve ser efetuada a identificação e o desdobramento dos diversos subsistemas e/ou respetivos componentes [3]. A divisão do sistema pode ser realizada em funções ou subsistemas, unidades facilmente substituíveis ou componentes individuais.

Análise funcional

Nesta fase, deve ser elaborada uma lista das funções a desempenhar pelo produto em análise, tendo em conta as exigências e as expectativas do cliente, e incluir os requisitos regulamentares. Pode ser relevante definir nesta fase fatores como: intervalo de tempo mínimo entre a ocorrência do modo de falha no sistema e a implementação de uma ação corretiva, procedimentos operacionais durante o funcionamento do sistema, tipo de controlo a realizar durante as fases operacionais, execução de manutenção corretiva e/ou preventiva e os procedimentos para realização de testes de rotina, caso sejam utilizados [14] [15].

Identificação dos modos potenciais de falha

O levantamento dos modos potenciais de falha é realizado nesta fase. O modo potencial de falha é a forma como a disfuncionalidade se manifesta. Alguns exemplos de modos de falha são os seguintes: curto-circuito, corrosão ou deformação elétrica. O objetivo é entender como produto ou componente pode falhar ou como pode falhar potencialmente o processo. O desenvolvimento correto desta fase depende do grau de pormenorização atingido durante as duas fases anteriores: divisão do sistema e análise funcional. A informação básica para se encontrar os modos típicos de falha baseia-se em casos de estudo documentados, experiências ou testes laboratoriais, na experiência em campo (prática) e na opinião de peritos [14] [15].

Efeitos dos modos potenciais de falha

Os efeitos dos modos potenciais de falha são o resultado dos modos de falhas, ou seja, é a forma como o cliente final percebe a falha do produto. O efeito é a consequência da falha no processo, produto, operação. Pode citar-se como exemplos de efeitos de falha: desempenho, ruído, etc. Para cada modo potencial de falha, devem listar-se as consequências dos efeitos negativos potenciais, quer no rendimento do componente, quer no rendimento do sistema, quer ainda no grau de descontentamento que a disfuncionalidade surgida provoca no cliente ou utilizador final em termos de segurança e de exigências regulamentares [14] [15].

Causas dos modos potenciais de falha

Para cada modo de falha potencial, as causas mais prováveis que estiveram na origem do seu aparecimento devem ser identificadas e descritas. Pode citar-se como exemplos de causas: algoritmos incorretos, tensão excessiva ou condições de funcionamento impróprias. Tendo em conta que um modo de falha potencial pode ter origem em várias causas, deve identificar-se e descrever-se as causas independentes e mais prováveis para cada modo de falha potencial. Deve procurar-se a razão pela qual a exigência ou requisito falha [14] [15].

Métodos de deteção e prevenção

Para cada modo de falha, é necessário determinar depois a forma como esta é detetada e os meios através dos quais a ocorrência da falha é detetada. A sua deteção pode ser efetuada através de um dispositivo automático da conceção, do estabelecimento de um procedimento de verificação específico depois da entrada em funcionamento, ou através de atividades de inspeção. É conveniente o método de deteção e prevenção elimine a ocorrência de modos de falha que possam pôr em causa a segurança de pessoas e bens (funcionamento perigoso). É igualmente oportuno estudar e enumerar outros modos de falhas que deem origem a manifestações idênticas às do modo em análise [14] [15].

O formulário FMEA, que é um documento que contém todas as informações da aplicação da metodologia FMEA, gera um histórico de falhas para análises futuras. Esse formulário é muito flexível e pode ser adaptado aos diversos tipos de FMEA existentes, de acordo com o problema a ser analisado. A Figura 3 mostra um exemplo de uma possível adaptação de formulário para um FMEA de processo, em que estão identificados 22 passos para o respetivo preenchimento [14][15].

A construção do FMEA também pode ser efetuada em software específicos. Atualmente existem uma grande variedade de softwares para o efeito que facilitam muito a execução do FMEA

Figura 3 - Tabela do Formulário FMEA [5]

2.4.3 Avaliação dos Riscos

Nesta fase são definidos os índices de Gravidade (*Severity* – S), Ocorrência (O) e Detecção (D) para cada falha, de acordo com os critérios. A seguir, são calculados os coeficientes de prioridade de risco (RPN) através do produto dos três índices.

Gravidade (S)

A gravidade é uma avaliação do impacto causado pelo efeito do modo de falha no funcionamento do dispositivo que está a ser analisado. Nessa avaliação, deve ser considerada a gravidade do efeito para o produto ou processo. A classificação dos efeitos de gravidade deve ter em conta inúmeros fatores, nomeadamente, os efeitos possíveis sobre os utilizadores e o meio envolvente, o desempenho funcional do sistema ou do processo, cumprimento de exigências contratuais impostas pelo cliente e requisitos regulamentares ou de garantia [14].

Ao efeito de falha é atribuída uma classificação de gravidade, que constitui o chamado Índice de Gravidade (S). De um modo geral, é usada uma escala de 1 a 10, em que a classificação 1 corresponde a uma gravidade impercetível e a classificação 10 reflete a pior

hipótese a nível de consequências relativamente à qual a segurança do utilizador pode estar em risco [13].

Tabela 1 - Índice de Gravidade [15]

Índice	Severidade	Critério
1	Nenhum	Nenhum efeito sobre o produto ou processo
2	Mínimo	
3	M. Pequeno	Causa pequeno incómodo no cliente
4	Pequeno	Deterioração progressiva no desempenho do sistema
5	Moderado	Resulta em falha sobre componente não vital
6	Significativo	
7	Grande	Produto fortemente afetado, mas ainda seguro
8	Extremo	
9	Sério	Sistema deixa de funcionar, segurança afetada
10	Catastrófico	

Ocorrência (O)

Esta variável designa a frequência ou probabilidade de aparecimento de cada modo de falha. Para determinar a probabilidade de aparecimento dos modos de falha, além das informações publicadas sobre taxas de falha, devem ser obtidos os dados de ensaios do tempo de vida do componente, as taxas de falhas disponíveis em bases de dados, as falhas ocorridas durante a exploração/funcionamento do sistema e as falhas em dispositivos semelhantes.[14].

Uma vez estimada a probabilidade de ocorrência, deve definir-se o período de tempo dessa estimativa. Normalmente é o período de garantia ou a duração de vida pré-determinada para o dispositivo ou produto em causa. Regra geral, a cotação vai de 1 a 10, sendo 1 correspondente a uma probabilidade muito remota de ocorrência da falha e 10 uma ocorrência muito frequente da falha [13].

Tabela 2 - Índice de Ocorrência [15]

Índice	Ocorrência	Taxa de Falha	Cpk
1	Remota	1/1,500,000	>1,67
2	Mínima	1/150,000	>1,50
3	Raramente ocorrem	1/15,000	>1,33
4	Baixa	1/2,000	>1,17
5	Falhas ocasionais	1/400	>1,00
6	Moderada	1/80	>0,83
7	Ocorrem com frequência	1/20	>0,67
8	Alta	1/8	>0,51
9	Muito alta	1/3	>0,33
10	Quase certa	1/2	<0,33

Detecção (D)

Este critério, o índice de detecção (D), mede a probabilidade de o procedimento de controlo detetar a causa da falha ou o modo de falha, antes de o produto chegar ao cliente. Este número está classificado por ordem inversa aos restantes números de gravidade e de ocorrência, ou seja, quanto mais elevado é o número de detecção, menos provável é a detecção [13].

Tabela 3 - Índice de Detecção [14]

Índice	Detecção	Critério
1	Quase certa	Controlos detetem falha quase sempre
2	Muito alta	
3	Alta	Grande probabilidade de ser detetado
4	Moderação Alta	
5	Média	Provavelmente será detetado
6	Baixa	
7	Muito baixa	Provavelmente não será detetada
8	Mínima	
9	Rara	Certamente não será detetada
10	Quase impossível	

2.4.4 Número de prioridades de Risco (RPN)

Um dos métodos para quantificar o risco, que consiste no cálculo do Número de Risco de Prioridade (RPN - Risk Priority Number), representa o produto dos três fatores calculados anteriormente para cada um dos modos de falha potenciais:

$$RPN = S \times O \times D$$

Os valores de RPN variam entre o valor máximo de 1000 e o valor mínimo de 1. Para valores de RPN superiores a 100 recomenda-se uma ação imediata, para valores de ocorrência superiores a 5 e para valores superiores a 1 em simultâneo para os índices de ocorrência e deteção, é recomendável atuar.

Em princípio, os valores de RPN mais elevados devem ser tratados prioritariamente, mas é necessário analisar os valores parciais dos índices. A norma IEC 60812 [14] refere como uma boa prática considerar o par de valores, o índice de gravidade (S) e o RPN de cada modo de falha, para uma melhor consistência na tomada de decisões. Para índices de gravidade de 9 ou 10 significam que os modos potenciais de falha põem em risco exigências de segurança e, como tal, exigem ações prioritárias.

Uma análise do valor do RPN exige algumas precauções e um bom julgamento. Com o cálculo e a análise do RPN e dos índices parciais obtidos, é possível quantificar a amplitude em relação a cada falha e realizar uma ordenação e escalonamento das prioridades das ações a desenvolver, de modo a reduzir ou minimizar os efeitos que certas falhas podem originar.

A fase seguinte será elaborar um plano para eliminar ou minimizar o risco da implementação de ações de melhoria que se podem traduzir em várias formas de ações, que podem ser [13]:

- Medidas de prevenção total de um modo de falha;
- Medidas de prevenção total de uma causa de falha;
- Medidas que dificultam a ocorrência de falhas;
- Medidas que limitem o efeito do modo de falha;
- Medidas que aumentam a probabilidade de detecção do modo ou da causa de falha.

Em seguida mostra-se o fluxograma de análise do FMEA

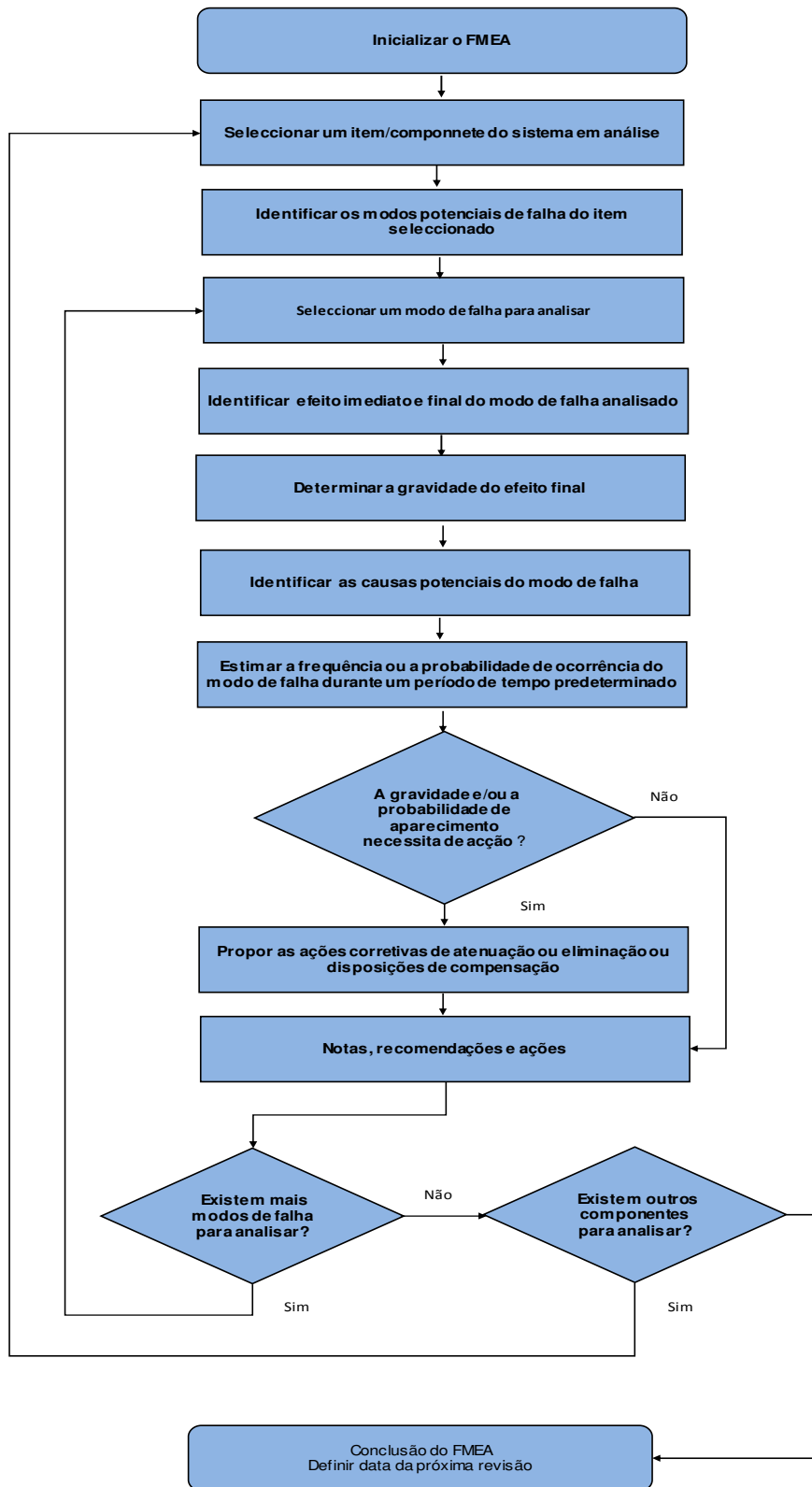


Figura 4 - Fluxograma de análise do FMEA [14]

2.5 Benefícios do FMEA

Segundo Toledo e Amaral [3], a metodologia FMEA pode oferecer diversas vantagens:

- Possibilidade de obter um catálogo de informações sobre as falhas dos produtos e processos;
- Um melhor conhecimento dos problemas nos produtos e processos;
- Ações de melhoria no projeto do produto/processo, baseado em dados e devidamente controlados (melhoria contínua);
- Redução de custos através da prevenção de ocorrência de falhas;
- Desenvolver uma lista de classificação de modos de falhas potenciais, estabelecendo um sistema de priorização para considerações de ações corretivas;
- Vantagem de incorporar dentro da organização uma atitude proactiva de prevenção de falhas, uma atitude de cooperação e de trabalho em equipa e uma preocupação constante com a satisfação dos clientes.

2.6 Limitações da FMEA

Embora a metodologia FMEA seja uma ferramenta muito eficaz, pode ter algumas limitações. Enumeram-se a seguir quatro dessas limitações [18]:

- A investigação do erro humano é limitada. Num FMEA consideram-se apenas os erros humanos potenciais e, no caso de ocorrerem erros humanos que não causem falhas nos equipamentos, estas são omitidas. Na presente pesquisa, os erros humanos são refletidos nos índices Ocorrência e Detecção, consoante a causa da falha.
- A análise é direcionada para um único evento do problema. As falhas ocorridas nos equipamentos são analisadas uma a uma, para que as combinações importantes de falhas nos equipamentos sejam omitidas.
- A investigação de influências externas é limitada. Num FMEA típico trata-se de influências externas potenciais, no entanto, as influências externas que afetam o desempenho e a segurança do trabalhador são omitidas se não causarem falhas nos equipamentos. Contudo, na aplicação em qualidade de serviço, as causas externas podem ser incluídas nos modos de falha, como por exemplo, as descargas atmosféricas e o abaloamento em poste.

- Os resultados dependem do modo de operação. Os efeitos dos modos de falha dos equipamentos variam e dependem do modo de operação do sistema. Deste modo, pode ser necessário mais do que um FMEA para um sistema com múltiplos modos de operação.

2.7 Erros mais comuns durante a execução do FMEA

Além das limitações descritas no subcapítulo anterior, podem ser considerados outros fatores como limitadores da eficácia dos FMEAs, quer sejam erros passíveis de ser mensuráveis ou não, dos quais se destacam os seguintes [19]:

- Existe muito pouca interação entre os FMEA de projeto e de processos;
- O FMEA do processo é executado tardiamente, o que terá um impacto nas decisões de projeto;
- O FMEA é, muitas vezes, tratado como uma lista de verificação "após o facto", apenas para satisfazer a gerência ou o cliente;
- O FMEA não promove uma análise estruturada de todo o processo de fabrico. A base apenas num componente não é uma abordagem suficientemente completa.

Em complemento à lista de erros mais comuns, existem situações frequentemente constatadas no FMEA que é importante referi-las [20]:

- Atribuição de pontuações limiares;
- A não identificação de todas as falhas potenciais;
- A incorreta identificação do cliente;
- Aplicação incorreta das escalas;
- Confundir modos de falha com efeitos ou modos de falha com causas;
- Incapacidade de desenvolver ações recomendadas ou ações recomendadas que não são exequíveis;
- Classificação da ocorrência e deteção muito otimista;
- Descrição dos processo/funções com pouca precisão;
- Permitir que o PFMEA se transforme numa revisão de projeto.

2.8 Recomendações para melhorar o FMEA

Finalmente, apresentam-se algumas recomendações de modo a melhorar a aplicação do FMEA, tornando-a mais eficaz [21]:

- Incorporar dados de falhas de campo;
- Estabelecer uma biblioteca de melhores práticas de FMEA;
- Certificar que as ações definidas são efetuadas até à sua conclusão;
- Rever periodicamente FMEAs e mantê-los atualizados;
- Aplicar terminologia consistente para as funções, modos de falha e efeitos e causas.
- Elaborar escalas de classificação padrão com exemplos para severidade, ocorrência e deteção;
- Evitar RPN "limiares" que incentivam o ajuste S, O e D para obter a resposta "certa";
- Usar o FMEA como um repositório de conhecimentos de engenharia;
- Usar software específicos para FMEA;
- Analisar e utilizar dados FMEA derivado de apoio à decisão.

3 Caracterização da Empresa, Produto e Processo

3.1 Descrição do negócio da empresa

A “FIRMA “, a empresa estudada neste trabalho, sediada em Portugal, é especializada no fabrico de peças plásticas (moldação e acabamento), placas eletrónicas (montagem e soldadura de componentes em PCI's) e montagem final de autorrádios, sistemas de navegação e receção, e produtos de telemática.

Produz anualmente mais de 6 milhões de unidades e exporta praticamente a totalidade da sua produção, atingindo um volume de negócios superior a 200 milhões de Euros. A indústria automóvel representa atualmente o seu volume total de negócios, sendo a maior parte da exportação dedicada ao mercado europeu. A “FIRMA” é uma fábrica com sistemas produtivos flexíveis, inovadores e de alta tecnologia, que traduz-se em produtos com elevadas performances em termos de qualidade, custo e eficiência. A empresa desenvolve a sua atividade com sucesso, e garante a conformidade com as mais elevadas

normas de qualidade. A obtenção da certificação ISO 9001 em 1994 representou um marco importante para a implementação da Gestão da Qualidade Total (TQM).

As certificações QS 9000 e VDA 6.1, obtidas em 1998, bem como as certificações ISO/TS 16949 e ISO 14001, em 2001, vieram reforçar o compromisso para atingir os mais elevados níveis de Qualidade para com os clientes. A nível ambiental foi ainda obtido, em 2004, o registo no EMAS.

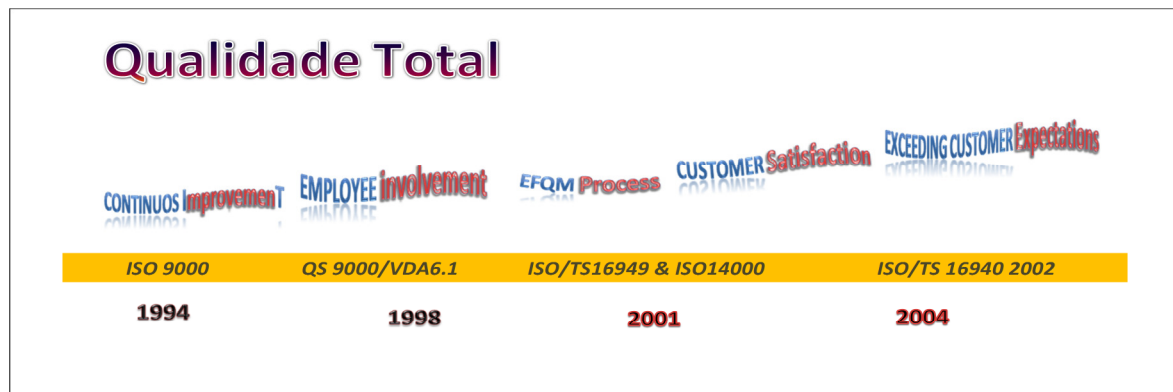


Figura 5 - Caminho para a Gestão da Qualidade Total [22]

No caminho do futuro, a “FIRMA” empenha-se em ultrapassar os limites da tecnologia, qualidade e eficiência em todos os produtos e projetos que realiza e, assim, obter Excelência em tudo o que faz e ser reconhecida pelos clientes como um dos seus melhores fornecedores.

3.2 Caracterização do produto

Tal como mencionado anteriormente, os principais produtos da empresa “FIRMA” são autorrádios, sistemas de navegação e receção, e produtos de telemática. Contudo, o objeto deste trabalho incidirá no produto “autorrádio”, pois os dados disponíveis nesta classe de produtos são os mais completos e organizados, e deste modo os resultados da investigação serão mais fiáveis e concisos.

Características técnicas do produto autorrádio

Além das funções básicas e bem conhecidas do normal consumidor, os autorrádios atuais estão equipados com muitas outras funcionalidades que tornam o produto mais sofisticado, permitindo ao seu utilizador mais conforto e segurança. É o exemplo de possuir um

conjunto de dois sintonizadores, para conseguir a melhor recepção de sinal, leitor de DVD, ecrã táctil TFT LCD, leitor SD /MMC e Equalizador Pop, Rock, Classic, Flat - Outra função interessante é possuir o ajuste do volume à velocidade do veículo, e também permitir fazer ligações a dispositivos externos de áudio, como por exemplo leitores de MP3.

Inserido no veículo em rede, permite ao autorrádio combinar funções com os outros sistemas do veículo e mostrar por exemplo a informação dos sensores de estacionamento ou as alterações efetuadas no ar condicionado.

Ao nível estético, consegue atingir um *design* moderno que combina na perfeição com o formato do painel do veículo. Seguidamente são apresentadas algumas fotos dos produtos em causa numa simulação da sua aplicação final.



Figura 6 - Exemplos de autorrádios modernos

(Fonte: Retirado da internet)

Características mecânicas do produto autorrádio

Na figura 7 está representada uma visão geral do produto final.



Figura 7 - Esquema de um autorrádio [22]

Na figura 8 estão representadas todas as partes constituintes do rádio em forma expandida. Os componentes são adquiridos a fornecedores externos, sendo que alguns são processados internamente enquanto outros simplesmente só são aplicados (montados).

O aparelho em causa é constituído por vários componentes. Peças como a placa de circuito impresso (PCI), caixilho, tampas e o mecanismo CD/CDC (*CD Deck / CD Changer*) são componentes fornecidos externamente. O PCI é submetido internamente a um processo de inserção e soldadura de componentes, enquanto que o ao mecanismo CD/CDC é-lhe aplicado a um suporte metálico. A *blenda* plástica é a única peça que é produzida internamente.

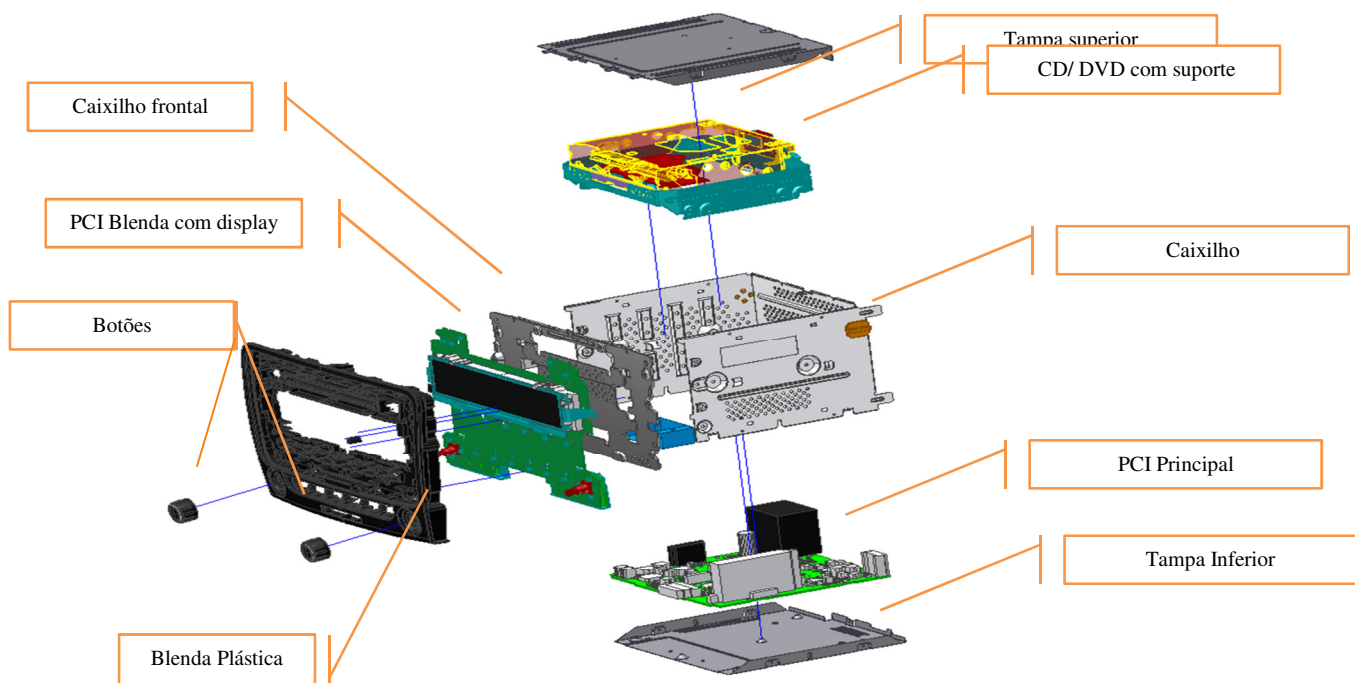


Figura 8 - Explosão de um autorrádio [22]

Como se pode verificar no diagrama da figura 9, um autorrádio é constituído por 6 peças bases em que se agrupam (montadas entre si) na montagem final:

1. Placa de Circuito Impresso (PCI) com componentes inseridos e soldados (A placa é adquirida a um fornecedor externo, sendo depois inseridos componentes soldados)
2. Caixilho (adquirida externamente)
3. Tampas (adquirida externamente)
4. Suporte do CD (adquirida externamente)
5. Mecanismo CD/CDC (adquirida externamente)
6. *Blenda* (Injetada e pintada)

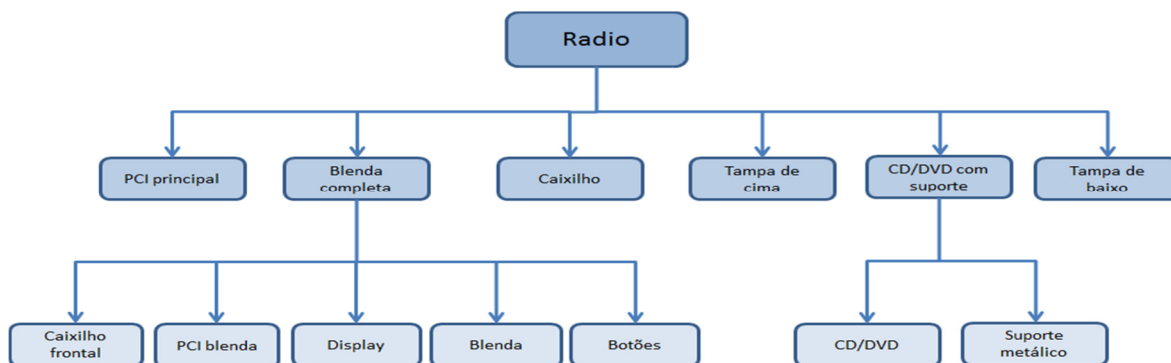


Figura 9 - Árvore de componentes de um autorrádio

3.3 Caracterização do processo produtivo

O processo produtivo incorpora a característica de uma estrutura híbrida, fluxo produtivo misto, correspondendo a uma combinação de uma estrutura orientada ao processo e de uma estrutura orientada ao produto.

O produto final usa componentes produzidos numa estrutura de processual (*job shop*), em que os produtos partilham operações ou máquinas comuns (ex.: montagem e soldadura de componentes em PCI's), organizando os recursos com base na tarefa.

Contudo, é montado numa estrutura de produto (*flow shop*). De forma a adaptá-lo às exigências específicas da encomenda, as operações/máquinas associadas ao fluxo de cada produto são utilizadas exclusivamente por esse produto numa sequência linear.

A empresa aprovisiona, fabrica, monta e entrega, aplicando uma tipologia de produção por lote. As máquinas são agrupadas por processos, denominadas células de fabrico, estas estão desenhadas para volumes médios de produtos com diversificação média, flexibilidade intermédia, adequado à procura variável e estável por parte dos clientes.

Layout (estrutura física) da produção

O *layout* de uma empresa deve refletir a filosofia e a cultura da organização. No caso desta empresa, a localização dos diferentes setores está distribuída por afinidade de função. Isto

é, todos os processos e os equipamentos do mesmo tipo são desenvolvidos na mesma área e também as operações ou as montagens semelhantes são agrupadas no mesmo espaço ou na área ao lado, conforme ilustrado na Figura 10.

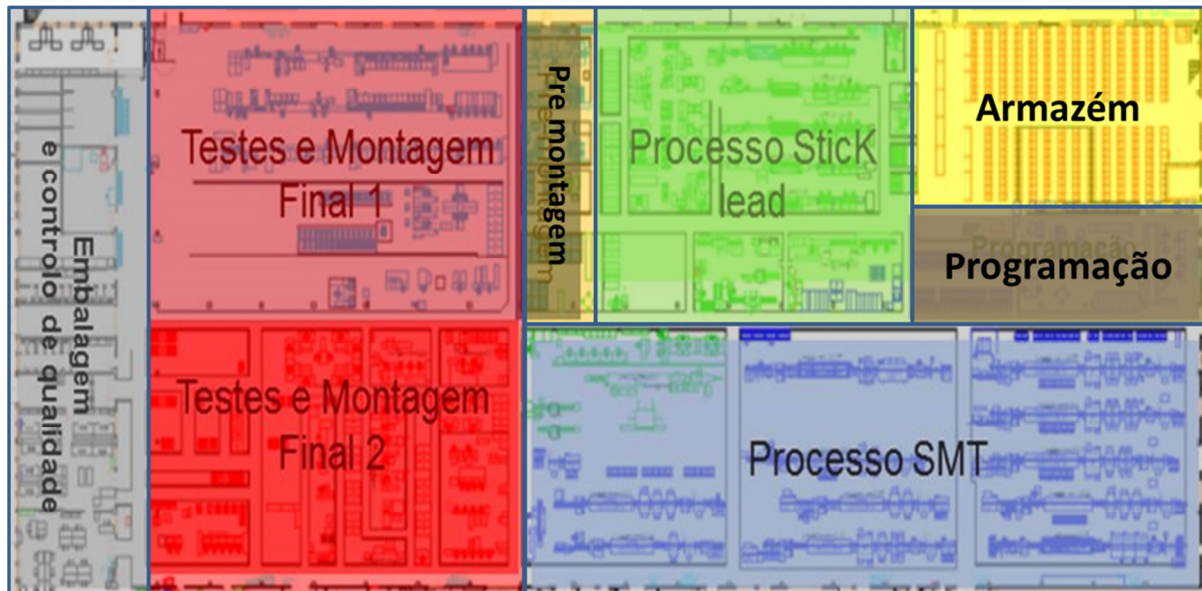


Figura 10 - Layout da produção[22]

3.4 Descrição do processo produtivo e principais modos de falha

A atividade produtiva do fabrico de autorrádios consiste somente na montagem de peças, controlo de qualidade e expedição. Como mencionado anteriormente, a esmagadora maioria dos componentes são adquiridos a fornecedores externos.

O processo de montagem propriamente dito, do produto autorrádio, começa na inserção automática seguida pela inserção manual de componentes, conforme ilustrado na Figura 11. Este fluxo é válido para as duas placas de circuito impresso (PCI) montadas neste modelo: PCI MB e PCI IF. A PCI MB é responsável pelo processamento do sinal de vídeo e áudio, enquanto que a PCI IF faz a interface com o usuário (teclas e display). O trabalho em estudo vai-se focar apenas nas fases sub-processos da *blenda* e mecanismo, montagem final, teste, inspeção e embalagem.

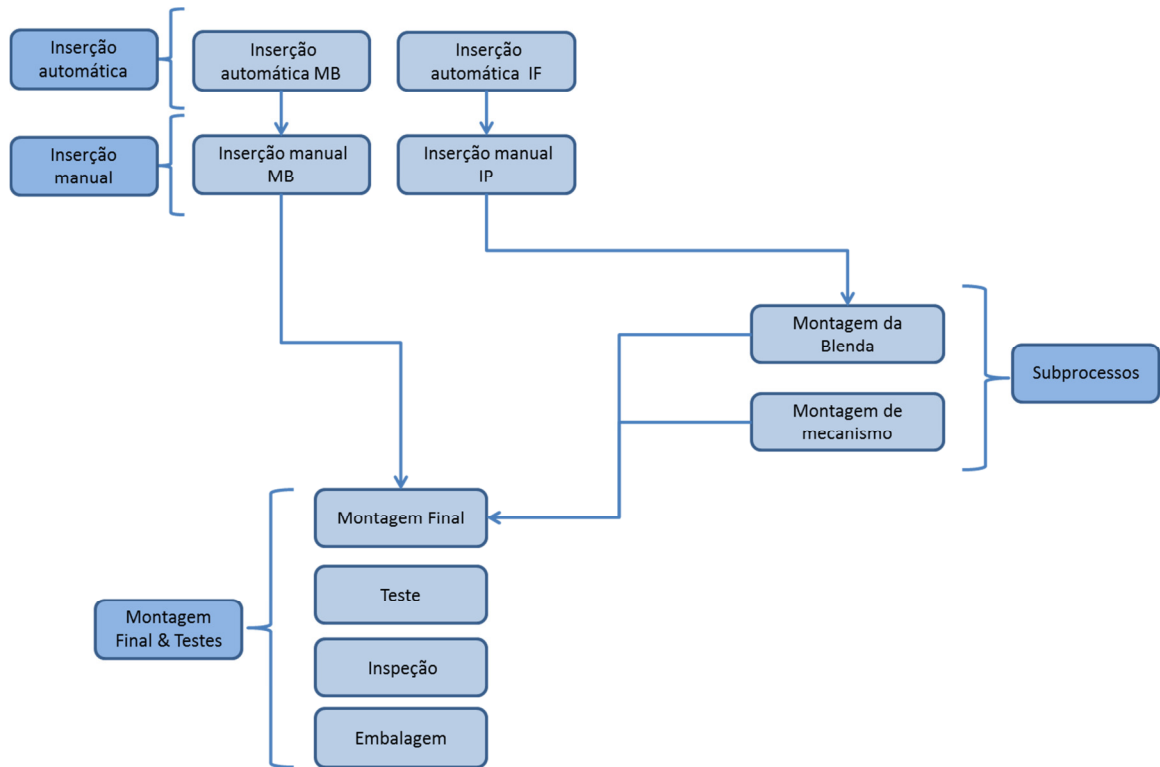


Figura 11 - Operações de montagem de um autorrádio

3.4.1 Fase1:Laser marking

Contudo, antes da inserção de componentes há ainda uma fase prévia de identificação das placas de circuito impresso (*laser marking*). Todas as placas antes de serem processadas no processo, são marcadas com códigos linear e 2D, em que é atribuído um número de série único e é adicionada toda informação sobre o tipo de produto. Estes códigos serão usados durante todo o processo de fabrico para descarregar programas de software de acordo com o produto e lançamentos para efeitos logísticos. Esta identificação permite garantir a rastreabilidade durante todo o processo de manufatura e após venda.

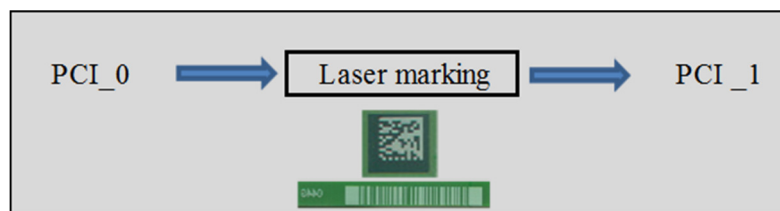


Figura 12 - Diagrama do processo de laser marking

3.4.2 Fase2: Processo de SMT

O processo de montagem SMT (*Surface Mount Technology*) é também conhecido como SMD (*Surface Mount Device*). Nesta tecnologia, os componentes eletrônicos são montados sob a superfície de uma PCB. Uma linha de montagem SMT é constituída essencialmente por três fases. Durante a primeira fase é colocada a pasta de solda ou adesivo no circuito onde vão ser colocados os componentes SMD. Na fase seguinte, conhecida como *pick and place*, os componentes são colocados nas suas posições corretas antes de seguir para a última fase da linha de montagem. Durante a fase final do processo de montagem, as placas são colocadas em fornos de refluxo que produzem calor suficiente para que a solda atinja o estado líquido e una os substratos de forma uniforme. Após um breve período de arrefecimento, os circuitos estão prontos para serem utilizados.

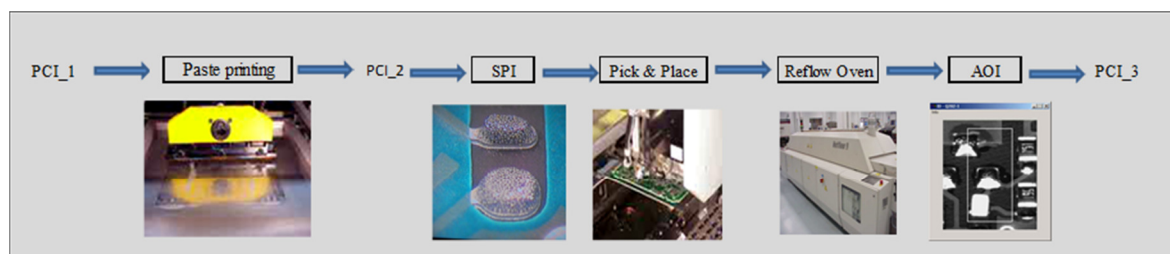


Figura 13 - Diagrama do processo de inserção automática e soldadura *reflow*

Processo de deposição de pasta de solda (*Paste Printing*)

O processo de colocação de pasta de solda consiste na utilização de uma tela perfurada sob a qual se coloca uma placa de circuito impresso (PCI). A pasta de solda é aplicada na parte superior da tela, através dum aplicador, e irá depositar-se, através da furação, na placa de circuito impresso. Depois deste processo, é feito um controlo automático de inspeção visual 3D à solda depositada, (SPI). Em caso de alguma não conformidade ser detetada é acionado um alerta de paragem da linha.

Inserção de componentes do tipo SMD (*Pick & Place*)

As máquinas de inserção automática colocam componentes tipo SMD (*Surface Mounting Device*) nas placas de circuito impresso as quais se encontram já com aplicação de pasta de solda.

Estufa de endurecimento de pasta de solda (Oven)

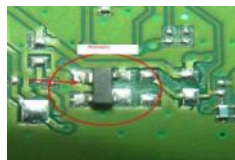
Após a colocação dos componentes a pasta de solda passam por um processo de endurecimento, utilizando-se para o efeito uma estufa que funciona por fluxo de ar quente. A pasta de solda é liquefeita, permitindo a soldadura dos componentes. Esta técnica é designada por soldadura *reflow*. Depois deste processo, é feito um controlo automático de inspeção visual (AOI). Se as placas tiverem alguma não conformidade são direcionadas para a reparação.

Os defeitos numa placa de circuito impresso montada podem ser divididos em duas categorias básicas:

- Defeitos na inserção - Os tipos de defeitos que podem ocorrer durante a inserção dos pads), componente danificado. Na tabela abaixo estão ilustrados alguns exemplos são:
 - falta de componente;
 - componente invertido;
 - componente rodado,
 - componente incorreto;
 - componente desalinhado;
 - *tombstone* (componente SMT fica suspenso só num lado).



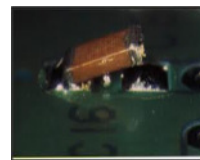
Falta de componente



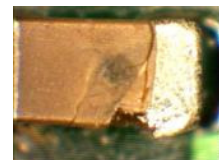
Invertido



Desalinhado



Tombstone



Danificado

Figura 14 - Alguns erros típicos na inserção de componentes

- Defeitos nas terminações - são defeitos provocados durante o processo de soldadura. A causa destes defeitos podem estar relacionados com vários fatores, como por exemplo: aplicação de pasta de solda, parâmetros do perfil de temperatura, *layout* dos componentes na placa. Os tipos de defeitos que podem ocorrer entre os terminais do componente e a placa são:
 - curto (ligação entre dois ou mais pontos que não deveriam estar conectados);
 - excesso de solda;
 - ausência ou insuficiência de solda;
 - soldadura deficiente;
 - bolas de solda.

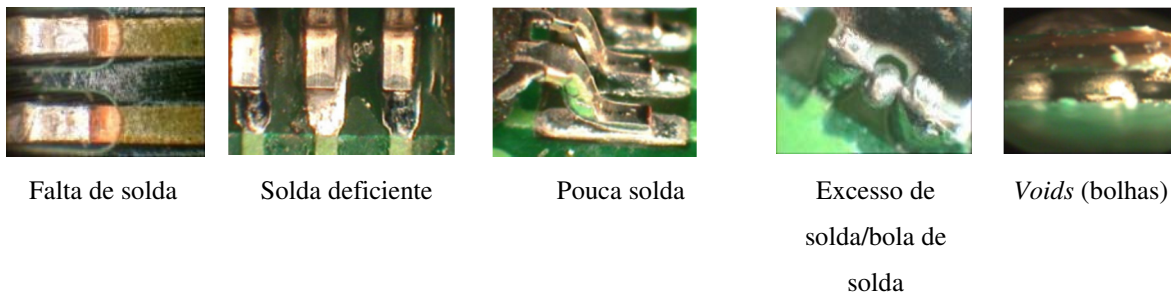


Figura 15 - Defeitos nas terminações

Qualquer um destes tipos de defeitos afeta o desempenho do produto. Defeitos, tais como falta de componente, curto de solda, manifesta-se de uma forma imediata no funcionamento da placa, enquanto outros (insuficiência de solda, excesso de solda) poderão permitir uma funcionalidade normal durante a fase de testes, porém mais tarde, quando a placa for transportada ou usada, estes defeitos tornam-se ativos e produto deixa de funcionar. São os denominados defeitos intermitentes.

3.4.3 Fase 3: Processo PTH

Já na tecnologia que antecedeu a SMT, conhecida como PTH (*Pin Through Hole*), os pinos ou terminais dos componentes eletrônicos são inseridos manualmente e soldados através de furos na placa de circuito impresso.

Neste tipo de tecnologia (PTH) são utilizados meios humanos para realizar a montagem. Por sua vez, a solda dos componentes é realizada através de uma máquina de onda, na qual a solda líquida percorre a superfície inferior do circuito impresso.

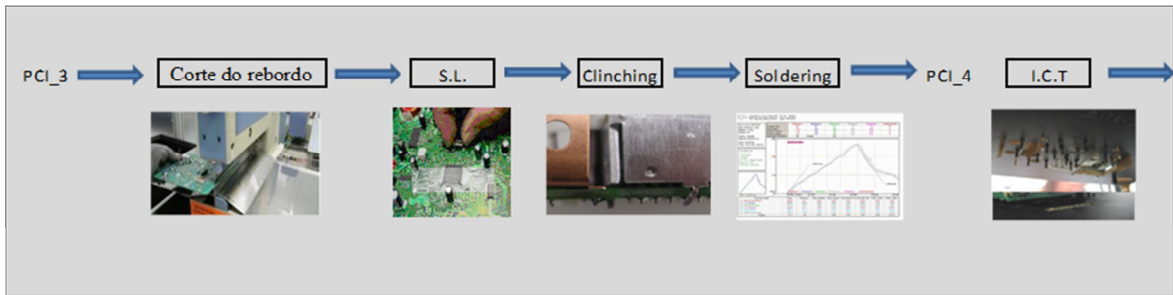


Figura 16 - Diagrama do processo inserção manual e soldadura overflow

As placas antes de iniciarem este processo são sujeitas ao processo de corte do rebordo (contorno) da placa, em que este poderá ser efetuado de forma automática ou manual.

As placas (PCI) são colocados num suporte específico, designado por palete, e onde são alimentados ao processo de montagem manual e soldadura através dum sistema de transporte. Componentes que não podem ser inseridos por máquinas, são colocados manualmente, é um processo que consiste a montagem de componentes de maior dimensão ou em que as suas características dimensionais, não permitem a sua colocação de forma automática.

Soldadura por onda (processo *Overflow*)

Existem essencialmente dois tipos de equipamentos de soldadura. Um baseia-se na técnica de soldadura por onda dupla, constituída por uma onda de jato e outra simples. A outra tecnologia é designada por soldadura seletiva, que consiste soldadura ponto por ponto. A aplicação destas tecnologia depende to tipo de componente a soldar.

Indiferentemente da técnica usada de soldadura, antes de ser realizado o processo de soldadura, os PCI's são pulverizados com fluxo e submetidos a um pré aquecimento. São então apanhados por uma mão robot e conduzidos sobre uma onda de solda. As placas soldadas são automaticamente transferidas para fora da máquina. Para evitar a oxidação do banho de solda é utilizado um gás inerte, o azoto, no interior da máquina. Depois desta fase do processo, é feito uma inspeção visual. Se as placas tiverem alguma não conformidade são direcionadas para a reparação.

Os defeitos numa placa de circuito impresso montada podem ser divididos em duas categorias básicas:

- Defeitos na inserção manual/ manuseamento - Os tipos de defeitos que podem ocorrer numa operação de inserção são:
 - falta de componente;
 - componente invertido;
 - componente incorreto;
 - componente mal montado;
 - componente danificado.



Pino não inserido

Mal clinchado

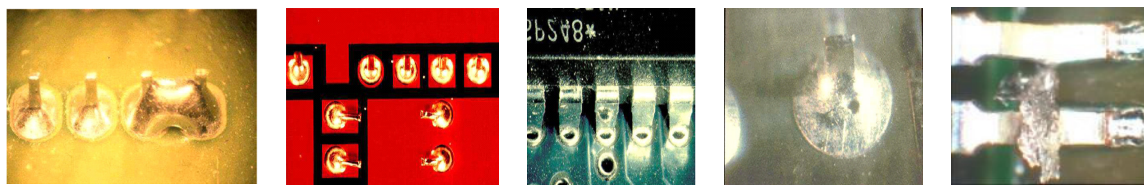
Componente
inclinado

Componentes
arrancados

Componente
levantado

Figura 17 - Defeitos na inserção manual/ manuseamento

- Defeitos da soldadura - são defeitos provocados durante o processo de soldadura, sendo que a causa destes defeitos podem estar relacionados com vários fatores, como por exemplo: parâmetros da máquina de solda de onda, *layout* dos componentes na placa.



Curtos de solda

Bolinhas de solda

Falta de solda

Blow hole

Restos de solda

Figura 18 - Defeitos da soldadura

3.4.4 Fase 4: Sub-processo da Blenda

Nesta fase todas as partes constituintes da *blenda* são montadas manualmente e sequencialmente como está ilustrado na Figura 19, depois da montagem, segue-se a fase do

aparafusamento automático (células de robots), de modo que todas as partes fiquem fixas entre si. No final obtemos a peça “blenda completa”, que irá ser aplicada no produto final durante a montagem final.

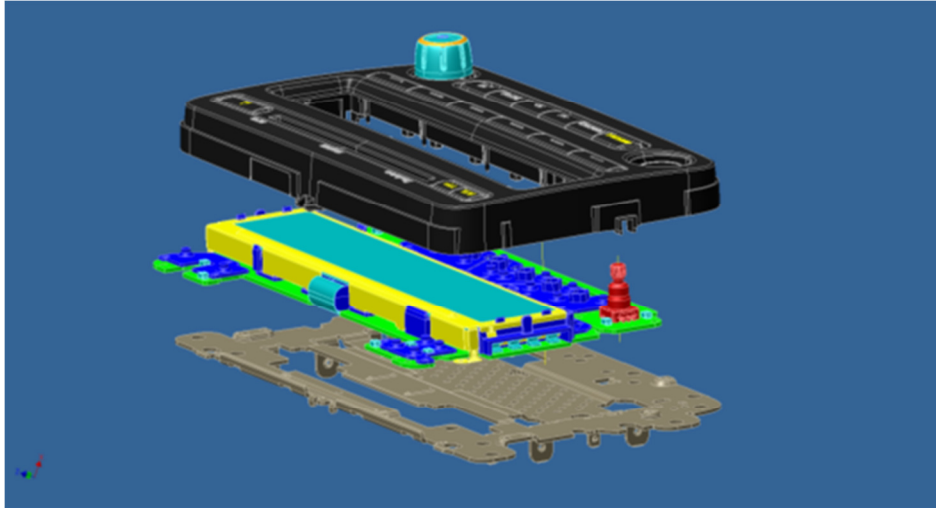


Figura 19 - Componentes da blenda

Os defeitos neste processo podem ser divididos em duas categorias básicas:

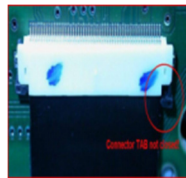
- defeitos durante a montagem manual;
- defeitos durante o aparafusamento automático.



Falta de parafuso



Componentes
Danificados



Conector mal
fechado



Fitas danificadas



Danos /riscos

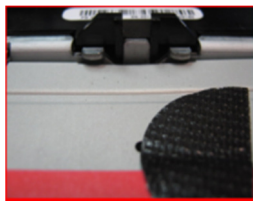
Figura 20 - Defeitos na montagem da blenda

3.4.5 Fase 5: Montagem final e Testes funcionais

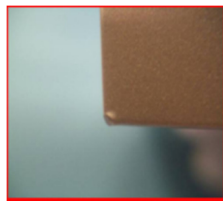
Nesta fase todas as partes constituintes do rádio são montadas manualmente ficando com o seu formato final. Após a montagem, seguem-se as operações automáticas de afinação e teste. Consiste na programação, ajuste de parâmetros e teste às características do aparelho. Estes testes são feitos de forma automática, através de um programa de software. Este

controlo tem como objetivo garantir que o produto se encontra dentro dos requisitos do cliente. O produto é posteriormente submetido a um controlo subjetivo, também conhecido como controlo de cliente. Este teste é semiautomático, ou seja, a operadora intervém quando é necessário efetuar funções no aparelho, simulando o utilizador final, em que o desempenho final do aparelho é avaliado por software.

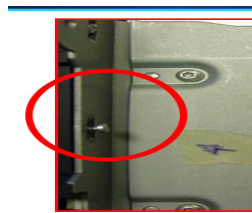
Os defeitos neste processo são muito similares ao processo de montagem da blenda, assim podem ser divididos em duas categorias básicas: defeitos durante a montagem manual e manuseamento.



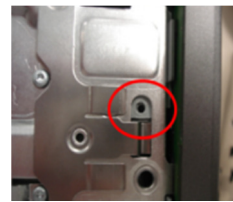
Peças mal montadas



Cosmético
(riscos e danos)



Parafusos mal
apertados



Falta de parafusos



Parafusos soltos

Figura 21 - Defeitos na montagem final

Programação, etiquetagem e gravação

Neste passo, a programação consiste em colocar o rádio com os parâmetros de fábrica antes de ser enviado para o cliente, após esta fase não é permitido ligar o aparelho dentro da fábrica. Ainda são colocadas etiquetas e é gravado do número série no caixilho, que são impressas automaticamente após a leitura de etiquetas intermédias, donde está identificado todo a história do aparelho, modelo e etc.

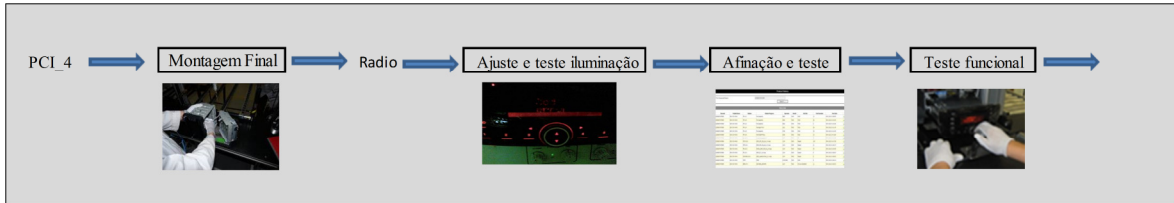


Figura 22 - Diagrama do processo montagem final e afinação e teste

Controlo mecânico final e embalagem

Este controlo mecânico, foca unicamente a possíveis problemas relativos ao aspeto exterior, tais como, danos e peças incorretas ou falta delas. Por fim, faz-se a leitura automática de todas as etiquetas de identificação do produto de código de barras (linear e 2D), verificando a qualidade das etiquetas e ainda o armazenamento na base de dados. Por fim, os aparelhos são embalados e enviados para a expedição.

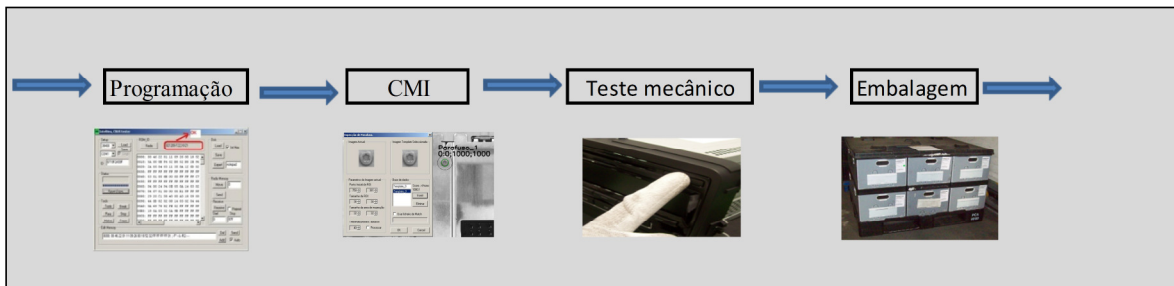


Figura 23 - Diagrama do processo programação, teste embalagem

3.5 Descrição do Processo FMEA e das Responsabilidades

Na empresa, existem basicamente dois tipos de PFMEA's: o "BASE_ PFMEAs ", que se encontra numa base de dados central e o "ESPECIFICO _ PFMEA", que se interliga ao primeiro, de modo a completar o PFMEA de um produto específico.

Quando é lançado um novo projeto no mercado, os processos/produtos que lhe estão associados são geralmente variações de processos/produtos já existentes. Assim, os "BASE_PFMEAs" não são mais do que uma compilação de todos modos de falhas identificados pela empresa, tendo em conta os processos/produtos padrão. O objetivo deste tipo de base de dados é simplesmente evitar a duplicação do trabalho durante o PFMEA, evitando assim quaisquer desperdícios de tempo. Tem, portanto, um caráter mais generalista, embora se tenha constatado que alguns modos de falha específicos do processo não constavam dessa base de dados. De igual forma, alguns modos de falha na BASE_ PFMEAs apresentam-se de uma forma muito genérica, sendo necessária uma maior especificidade dos mesmos.

Pelos motivos indicados, é elaborado um processo FMEA específico para identificar os modos de falha específicos que não constam do BASE_PFMEA, bem como para detalhar outros que na referida base de dados se apresentem demasiado genéricos.

O "ESPECIFICO _ PFMEA", elaborado em formato Excel, tem o seu template de acordo com o standard AIAG, que contém os subprocessos definidos no respetivo Process Flow Chart, incluindo a receção da matéria-prima e a expedição do produto final. Para cada subprocesso é fornecida uma ligação ao BASE_ PFMEA correspondente (sempre que este exista). No mesmo documento, estão definidos os campos para inclusão das referências aos *Design FMEA* e *Control Plan*.

Quality Plan: QP-BRG-0012 16-Sep-2008		DFMEA E-SCIO 02.04.0 S M-SCIO		Line No.	Process Function / Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	SEV	Char	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O C C	Current Process Controls: Prevention (P) Detection (D)	D E T	R P N	Recommended Action (s) Prevention (P) Detection (D)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results				
Act	St	Rev	Rev	Rev	Function	Failure Mod	Effect	SEV	Char	Cause	Controls	Action	Risk	Comp Date	Action Taken	Next REV	Next OCC	Next DET	Next DATA		
FA	ALL				Serve (Drive)	malfunction of FMEA															
FA	ALL					Malfunction on PCB	Product fail	5		Screwdriver error & brk	P: Parameter in aluminium		4	90							
FA	ALL				Place information label	Label to Vision FMEA															
FA	ALL	20			FA: OP2 - Trimplate to Chassis																
FA	ALL				Assembly of SOARSIG48 entrance connector to chassis	entrance connector not assembled	DAB / SOARS connector can not be inserted	5		Operator forgets to insert connector	P: Operator training D: Objective test		3	60							
FA	ALL					entrance connector not fully inserted	entry noise or missing entrance connection	5		Insufficient locking of connector	P: Operator training D: Objective test (checking door not match the connector part)		4	100	Assign and create connector test plan including	EL	Leifurður	CVD FH			
FA	ALL														P: Work instruction and operator training	Service Cards	15-Nov-08	Required action implemented	5	4	0
FA	ALL				Assembly of SOARSIG48 entrance connector to SOARSIG48 unit	entrance connector not assembled	DAB / SOARS connector can not be inserted	5		Operator forgets to insert connector	P: Operator training D: Objective test		3	60							
FA	ALL					entrance connector not fully inserted	entry noise or missing entrance connection	5		Insufficient locking of connector	P: Operator training (solid-fixing) D: Objective test (D: Subjective test)		3	75							
FA	ALL				Printed trimplate to connector	Label to Vision FMEA															
FA	ALL				Assembly trimplate to chassis		Unit not according					P: Control Plan Implementation									

Figura 24 - Exemplo do documento de FMEA da empresa

O ESPECIFICO_PFMEA aplica-se antes e depois do arranque da produção de um novo produto ou de uma alteração no produto ou processo.

O FMEA é realizado apenas para características do produto/etapas do processo que sejam diferentes do processo padrão. A responsabilidade do planeamento e implementação do FMEA é da competência da engenharia do processo. O responsável pelo FMEA seleciona os elementos das diferentes áreas da empresa com conhecimentos sobre a metodologia do FMEA como grupo de trabalho do FMEA.

Este grupo reúne-se em algumas sessões para realizar um *brainstorming* sobre os potenciais problemas do produto em análise, os efeitos e causas potenciais. Este estudo é baseado na experiência dos elementos do grupo e nas inconformidades de produtos produzidos no passado, detetados tanto pela rejeição interna como no cliente.

Esta análise é especialmente incisiva nos itens existentes numa lista contendo as áreas do produto mais suscetíveis a falhas, elaborada pelo grupo do desenvolvimento. Após este passo, o grupo reúne-se para atribuir valores às diversas causas, de acordo com as tabelas mencionadas no manual do FMEA - QS9000. Depois de se proceder ao registo de todos os valores, é efetuado o cálculo dos valores de NPR (Número de Prioridade de Risco), os quais são utilizados para a elaboração de uma Análise de Pareto. Com a Análise de Pareto,

atribuem-se as ações corretivas (A.C.) para as diversas causas, cujo valor de NPR é superior a 100 ou, caso as conformidades não atinjam este valor, para as 3 maiores causas potenciais. Destas reuniões é elaborada uma lista de características específicas do processo. Individualmente ou em grupo, é realizado um acompanhamento das A.C. e do seu estado atual. Depois da implementação das A.C., o grupo reúne-se novamente para atribuição de novos valores e consequente cálculo do NPR.

Durante as séries experimentais é avaliada a capacidade dos intervenientes do grupo de trabalho, para prevenção de problemas durante estas séries. É também aqui que é avaliado se alguma causa potencial foi sobrevalorizada, ou se foi esquecido algum item. Por esta razão, as séries experimentais são acompanhadas pelos intervenientes do grupo de trabalho do FMEA. Após as séries experimentais, é avaliada a necessidade de rever novamente o FMEA de processo. Sempre que se verificarem alterações ao processo e/ou produto, é analisada a necessidade de uma nova revisão do FMEA para as áreas afetadas.

Após a sua elaboração, o FMEA é usado como documento de trabalho do Plano de Controlo, no qual são identificadas todas as causas potenciais e o método é usado para as manter sob controlo.

4 Apresentação do caso de estudo e do problema

4.1 Situação atual

A preocupação com a qualidade, redução de custos e produtividade são temas sempre presentes nesta empresa. Neste contexto, a empresa “FIRMA” tem vindo apresentar excelentes resultados e, um dos que mais se tem vindo a destacar, é o do nível de qualidade no cliente. De facto, tem-se vindo a registar uma tendência da diminuição das reclamações e, conseqüentemente, um decréscimo do nível de erros em PPM (Partes Por Milhão), tendo mesmo sido estabelecidos mínimos históricos no ano 2013.

Assim, no final do ano de 2011 foi obtido uma redução significativa das reclamações relativamente a 2009 , o que correspondeu a um decréscimo de 50% das reclamações, e no ano 2012 conseguiu-se manter a mesma tendência, com uma redução extraordinária de 68% relativamente ao ano de 2009. Igualmente, a mesma tendência foi verificada em 2013, com uma redução de 79% relativamente ao ano 2009.

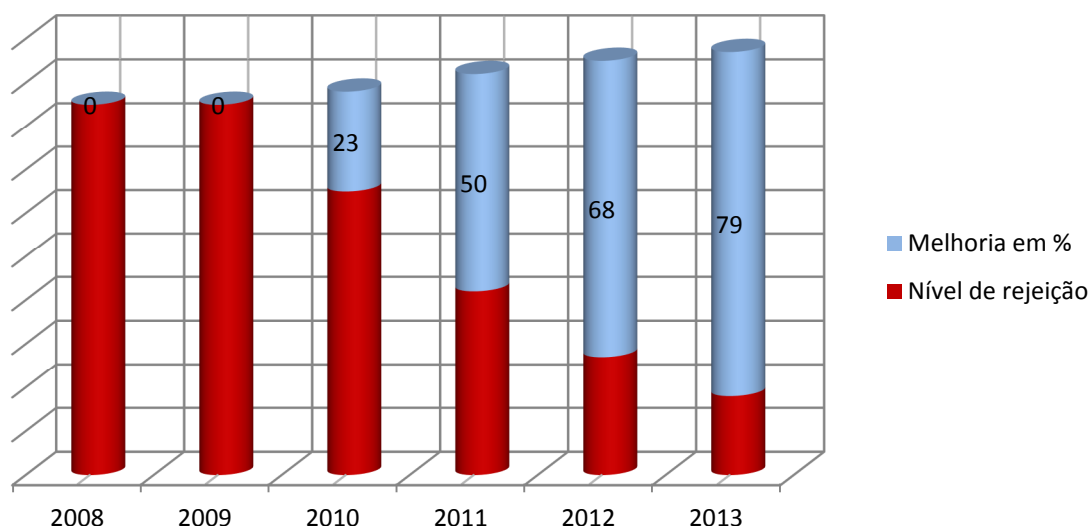


Figura 25 - Níveis de rejeição no cliente

Quando falamos de qualidade e reclamações, é quase impossível não associarmos a custos. Assim, de seguida apresenta-se uma tabela referente aos custos associados às reclamações de cliente, estando só incluídos os custos de material. Assim, não estão incluídos os custos relacionados com penalizações impostas pelo cliente, retrabalhos, controlo extraordinário, custo do envio das amostras defeituosas, análise e implementação da solução para resolução do problema.

Tabela 4 - Custos das reclamações

Ano	Custos em material (€)
2011	76.350€
2012	53.950 €
2013	44.700 €

Pelos dados apresentados, tem-se vindo a registar uma diminuição contínua dos custos desde 2011 até 2013, no entanto, ainda existem custos de má qualidade que devem ser eliminados ou pelo menos minimizados .

4.2 Demonstração dos dados da qualidade no cliente

Apesar dos grandes progressos registados nos indicadores de qualidade entre 2011 a 2013, foi constatado que grande parte dos defeitos registados no cliente, as causas das falhas estavam relacionados com problemas de processo ou internos.

Assim no ano 2012, analisando na perspetiva do total das anomalias registadas, verificou-se que as anomalias com causas internas aparecem em maior percentagem do que os problemas de outras categorias, tais como, categorias “Externas” e “Indeterminadas” (43,17%, 39,13% e 17,70%, respetivamente).

Tabela 5 - Categorias por grupos e subgrupos 2012

Categoria Geral	Categoria discriminada	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
Internas	Erro de operação	139	139	43,17%	43,17%
	Soldadura				
	Conteúdo de Memoria				
	Logísticos				
	Etiquetas				
	Resíduos				
	Reparação				
Externas	Material	126	265	39,13%	82,30%
	Conceito				
Indeterminadas	Indefinido	57	322	17,70%	100%
	Não confirmado				
	Material não confirmado				

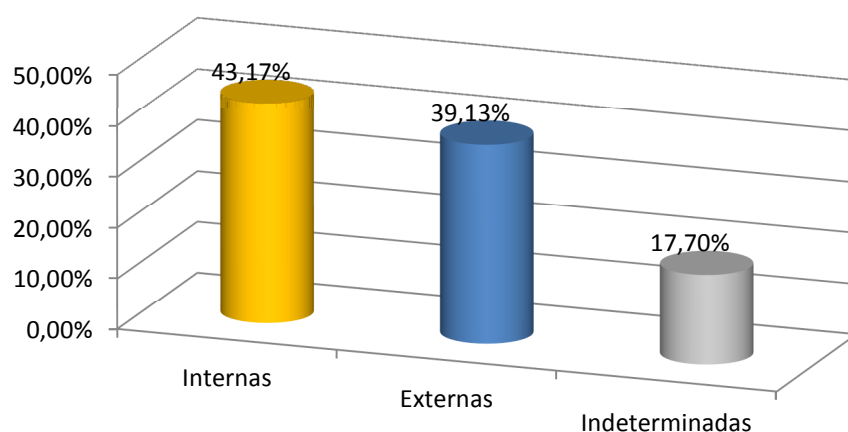


Figura 26 - Proporção das causas-raiz 2012

A confirmar-se a incidência registada no ano de 2013, em as anomalias por causas internas são as anomalias com maior ocorrência com um valor de 40,64%, seguido pelas anomalias por causas externas ao processo 37,90%, e por último as anomalias por causas indeterminadas com um valores de 21,46%.

Tabela 6 - Categorias por grupos e subgrupos 2013

Categoria Geral	Categoria discriminada	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
Internas	Erro de operação	89	89	40,64%	40,64%
	Soldadura				
	Conteúdo de Memória				
	Logísticos				
	Etiquetas				
	Resíduos				
Reparação					
Externas	Material	83	172	37,90%	78,54%
	Conceito				
Indeterminadas	Indefinido	47	219	21,46%	100,00%
	Não confirmado				
	Material não confirmado				

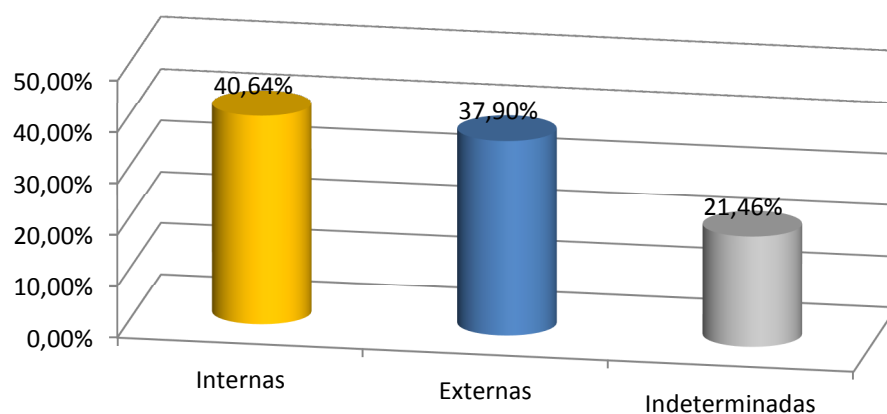


Figura 27 - Proporção das causas-raiz 2013

A partir da análise do Diagrama de Pareto é possível classificar as causas dos defeitos em três classes de relevância:

- Classe A – grande relevância;
- Classe B – média relevância;
- Classe C – pequena relevância.

A classe A identifica-se que 25% das causas (motivos de reclamação), que são compostos pela causa discriminada pelo o “Material”, “Erro de operação” e pela “ Soldadura”, são responsáveis por 61,19% dos efeitos, ou seja reclamações. Assim, a implementação de ações corretivas no processo de relativamente a duas causas ligadas a causas internas, ou seja, “Erro de operação” e “Soldadura”, possibilitariam um decréscimo bastante significativo das reclamações e, naturalmente, um aumento da satisfação do cliente.

Tabela 7 - Quantificação das reclamações por tipo em 2013

	Categoria discriminada	% Acumulada (motivos de reclamação)	Freq. Absoluta	Freq. Absoluta Acumulada	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada por classe	Freq. Relativa Acumulada
A	Material	8,3%	67	67	30,59%	61,19%	30,59%
	Erro de operação	16,6%	40	107	18,26%		48,86%
	Soldadura	25%	27	134	12,33%		61,19%
B	Falhas não confirmadas	33,3%	20	154	9,13%	36,43%	70,32%
	Falhas não identificadas	41,6%	19	173	8,68%		79,00%
	Conceito	50%	16	189	7,31%		86,30%
	Reparação	58,3%	9	198	4,11%		90,41%
	Resíduos	66,6%	8	206	3,65%		94,06%
	Material não confirmado	75%	8	214	3,65%		97,72%
C	Etiquetas	83,3%	2	216	0,91%	2,28%	98,63%
	Logística	91,6%	2	218	0,91%		99,54%
	Contéudo de memória	100%	1	219	0,46%		100,00%

Relativamente à classe B, 50% das causas originam aproximadamente 36,43% de problemas e a classe C, 25% dos motivos de reclamação originam pouco mais de 2,28% das reclamações.

O gráfico que se apresenta na Figura 28 revela o peso que os três motivos de reclamação da classe A possuem, comparativamente aos restantes. E, identificado a cor laranja, todos os problemas ligados a causas internas que representa um valor significativo das causas das reclamações.

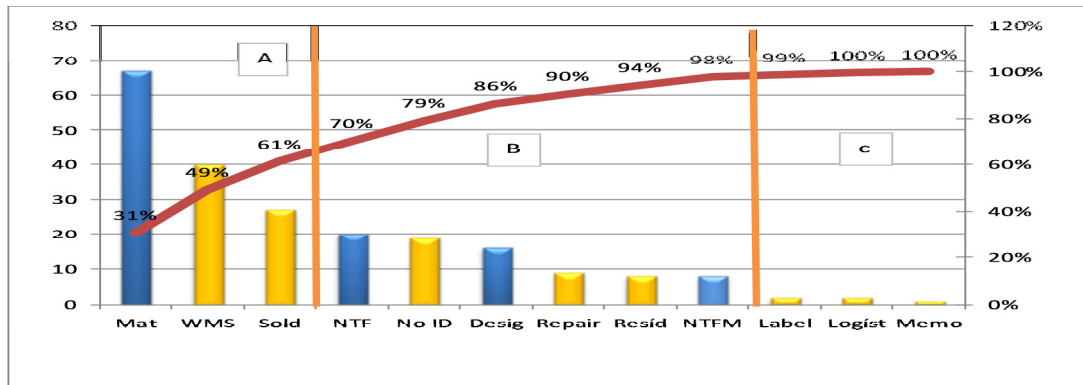


Figura 28 - Análise do Diagrama de Pareto 2013

Observando os valores das proporções de cada categoria, verificou-se que estes eram bastante idênticos nos dois anos consecutivos. Também foi possível verificar que dentro da categoria “causas internas”, ligadas consequentemente ao processo, representam um peso significativo nas reclamações.

Tabela 8 - Quantificação das reclamações por tipo em 2012

	Categoria discriminada	% Acumulada (motivos de reclamação)	Freq. Absoluta	Freq. Absoluta Acumulada	Freq. Relativa	Freq. Relativa Acumulada por classe	Freq. Relativa Acumulada
A	Material	8,3%	93	93	28,88%	64,91%	28,88%
	Erro de operação	16,6%	83	176	25,78%		54,66%
	Conceito	25%	33	209	10,25%		64,91%
B	Outros	33,3%	30	239	9,32%	33,85%	74,22%
	Soldadura	41,6%	28	267	8,70%		82,92%
	Não confirmados	50%	25	292	7,76%		90,68%
	Resíduos	58,3%	16	308	4,97%		95,65%
	Conteúdo de memória	66,6%	6	314	1,86%		97,52%
	Reparação	75%	4	318	1,24%		98,76%
C	Material NTF	83,3%	2	320	0,62%	1,24%	99,38%
	Etiquetas	91,6%	1	321	0,31%		99,69%
	Logística	100%	1	322	0,31%		100,00%

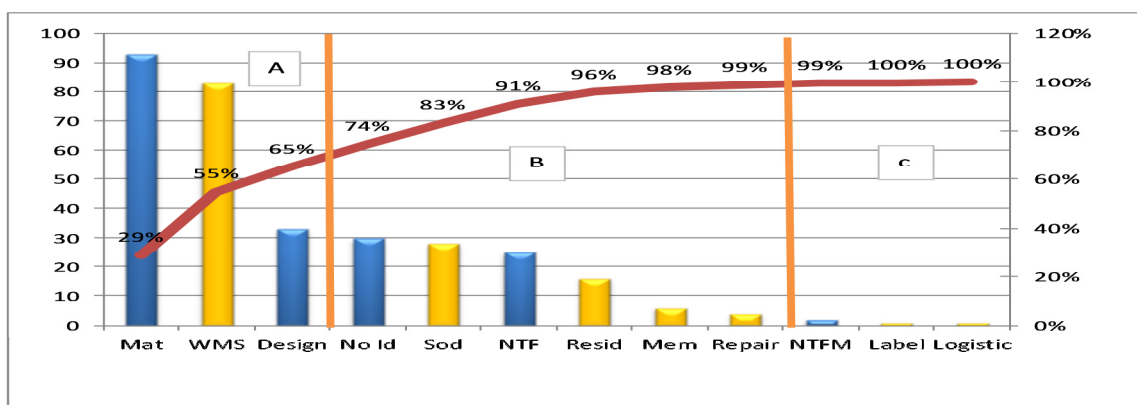


Figura 29 - Análise do Diagrama de Pareto 2012

4.3 Descrição do problema

O método FMEA permite identificar modos de falha, suas causas e efeitos. Assim, é possível estabelecer ações preventivas no processo ao invés de ações corretivas, que normalmente geram retrabalhos, custos extras de mão de obra e materiais, além dos transtornos aos clientes. Conforme já mencionado no capítulo 2, quanto mais eficaz esta ferramenta for aplicada, mais benefícios trarão a uma organização. De acordo com estudo divulgado entre os anos 2012 e 2013, uma das principais causas para as reclamações verificadas no cliente, esteve sempre alocada a problemas internos, ou seja, por uma elaboração menos boa do processo produtivo, e ou, a incapacidade do processo não detectar os modos de falha. E, pelos dados demonstrados, é expectável que esta tendência se venha manter. Perante este grande desafio, apesar da qualidade no cliente ter vindo a melhorar ano após ano, é evidenciado o mesmo padrão, ou seja, existe uma incidência para os problemas de processo. Assim, a perspectiva é, portanto, apostar na identificação dos modos de falha potenciais e melhoria continua do processo produtivo.

É neste contexto que este projeto se baseia e, algumas questões poderão ser levantadas, tais como:

- Conceção de um modelo para medir a eficácia de um PFMEA.
- Identificar e parametrizar as variáveis, para medição da eficácia do PFMEA.
- Identificar dos fatores críticos que influenciam a utilização da ferramenta.

O processo de PFMEA desta empresa, contempla possivelmente alguns erros que afetam a eficácia desta ferramenta. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo analisar e avaliar a eficácia do PFMEA e identificando as principais dificuldades que possam ocorrer na utilização do FMEA da Empresa. Estas dificuldades associadas implicam na ocorrência de irregularidades na utilização do FMEA que resultam numa queda da eficácia da sua aplicação, comprometendo assim os objetivos da sua utilização e seus benefícios.

5 Caso de estudo e a Metodologia

5.1 Introdução

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, com o intuito de obter o referencial teórico necessário ao estudo. A pesquisa foi realizada em livros, artigos e também em sítios web relacionados com o tema, e a metodologia selecionada encontra-se descrita num artigo da revista Six-sigma Forum Magazine, com o tema “Create a Simple Framework to validate FMEA performance [23]. Esta escolha teve como base a aplicabilidade da abordagem proposta ao caso de estudo.

5.2 Descrição do artigo selecionado

Pollock [23] começa por fazer referência a algumas ideias bases, que se passa a descrever:

1. A opinião unânime entre os especialistas de qualidade e os praticantes de Six Sigma sobre a utilidade da ferramenta FMEA e suas vantagens. Existe concordância que o FMEA é aplicável tanto na indústria de manufatura como na avaliação e redução de riscos de projetos.

2. Ressalta a necessidade de as organizações precisarem de saber se o FMEA é aplicado com eficácia, e a criação de um processo para obter dados sobre o desempenho do FMEA.
3. O desempenho da eficácia do FMEA pode ser medido pelo que acontece após o produto estar no mercado ou o processo estar instalado.
4. As métricas típicas passam por incluírem dados de garantia, satisfação do cliente ou retrabalhos.

Numa segunda instância, apresenta e descreve um caso de estudo numa empresa dedicada ao desenvolvimento e manufatura de produtos de eletrónica de consumo.

Os clientes e a gerência desta empresa acreditam que a aplicação com sucesso do processo APQP, resultariam num produto final lançado no mercado no tempo correto, com mais qualidade e a um menor custo. Em fase a estes desafios, identificou-se a importância de medir a eficácia de todo o processo, e nada melhor, que medir a eficácia da aplicação dos métodos de análise de falhas potenciais (FMEA), ferramenta de excelência para promover a qualidade.

A aplicação do FMEA para realizar a avaliação de riscos, visa quantificar o que o cliente irá obter no caso das entradas do processo falhem. A equipa deve tomar medidas para minimizar os riscos e promover atividades de melhoria. No contexto de aplicação das 5 fases do método DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*), é importante a utilização das ferramentas que mais se apropriam em cada fase do método. O FMEA pode ser usado na fase de definição, como entrada, a voz do cliente, mas é mais comum ser usado na fase de medição, depois ser atualizado nas fases de análise e melhoria, e é um elemento vital na fase de controlo.

Neste contexto, foi definido um fluxograma do processo de validação. Neste fluxograma são definidos várias etapas, com cronograma de revisão para avaliar a performance do FMEA, conforme é mostrado na Figura 30.

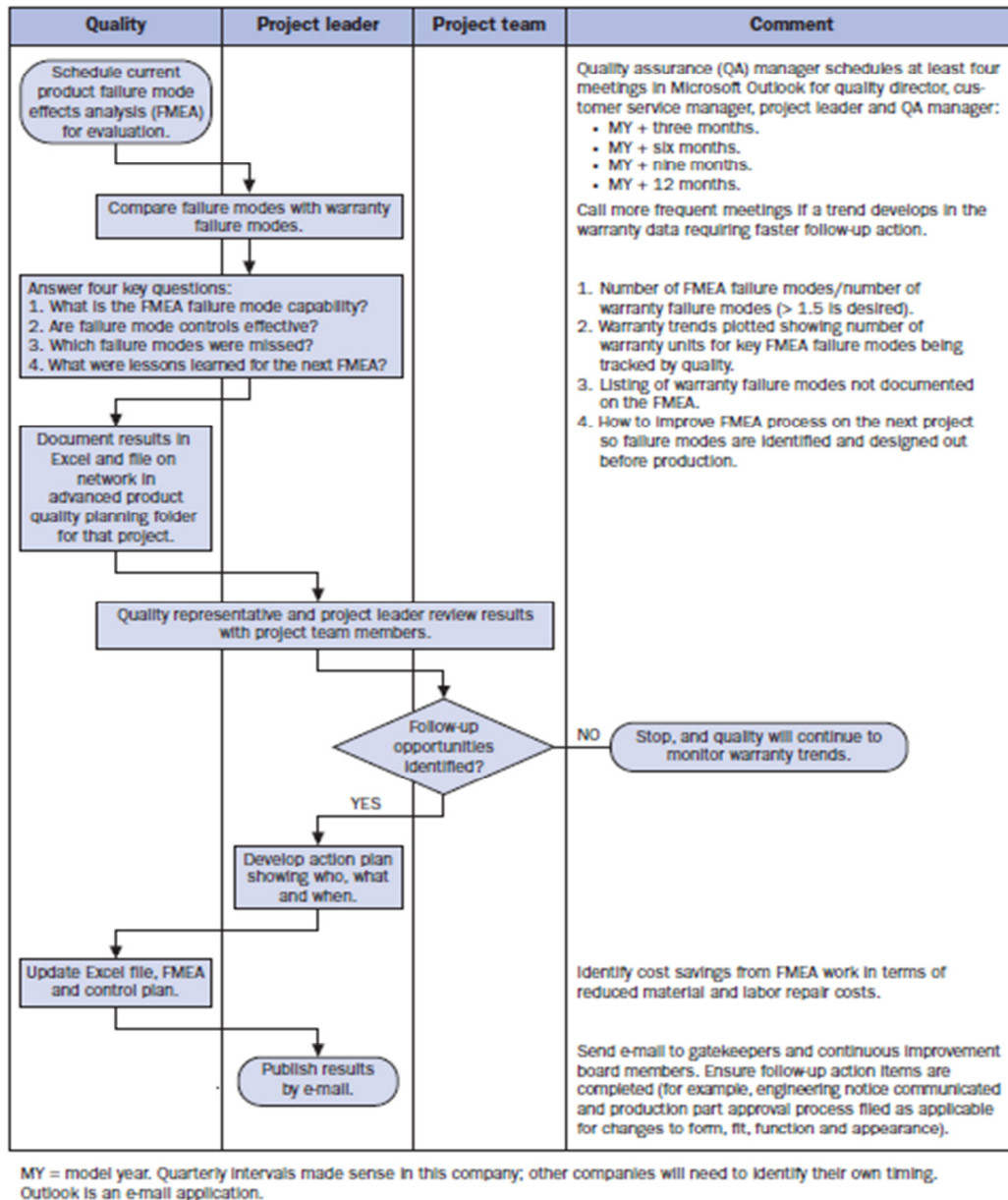


Figura 30 - Fluxograma do processo de avaliação do FMEA [23]

Métricas aplicadas

Na fase de medição, foram identificadas três métricas diferentes para validar o desempenho do FMEA, que se passa a descrever:

1. Capacabilidade do Modo de falha é o rácio entre o número de modos de falha identificadas no FMEA dividida pela número de modos de falha encontradas no período de garantia. O objetivo é obter pelo menos 2,00. O objetivo é identificar os modos de falha durante o projeto em vez de mais tarde no cliente.

2. Avaliação da eficácia dos controlos implementados, pela medição do número de falhas encontradas na garantia e seus custos associados.
3. Identificação de quantos modos de falha não foram identificados durante o processo de FMEA.

Na empresa onde o processo foi desenvolvido, os relatórios sobre o desempenho do FMEA foram considerados um item da agenda das reuniões de gestão. O processo de validação FMEA é considerado uma ferramenta valiosa que obtém resultados na melhoria da qualidade e na redução de custos. O tempo e esforço envolvidos na medição do desempenho do FMEA é apresentado como uma mais valia para as empresas e seus clientes.

5.3 Metodologia adotada no caso de estudo

As metodologias de investigação utilizadas no caso de estudo baseiam-se na do artigo de Pollock, em que é feito um estudo de uma situação real na empresa “FIRMA”, e o da pesquisa de campo, em que são analisados os resultados obtidos com dados reais. De uma forma resumida, consiste na comparação e análise entre os riscos identificados nas primeiras edições do FMEA de um projeto até à fase do lançamento do produto no mercado, com as falhas constatadas no cliente durante um determinado período pré-definido. Assim, é avaliado o impacto dos modos de falha verificados no lado do cliente e sua relação com o resultado do FMEA. Desta forma, consegue-se, com dados reais, verificar se o FMEA foi executado com mais ou menos eficácia.

5.3.1 Caracterização da Amostra

Para a realização deste estudo foram escolhidos dois produtos diferentes, no entanto, do mesmo tipo, como já mencionado anteriormente. Os produtos são autorrádios e têm complexidade semelhante. Contudo, os dois projetos foram escolhidos tendo em conta níveis de rejeição diferentes no cliente, assim temos dois produtos em estudo, com as seguintes características:

- **Produto X** : Considerado o **produto vermelho**, nível de rejeição atingido no cliente, durante os dois primeiros anos, fora do valor limite estipulado.
- **Produto Y**: Considerado o **produto verde**, nível de rejeição atingido no cliente, durante os dois primeiros anos, dentro do valor estipulado.

5.3.2 Modelo proposto

Como já anteriormente referido, o método de investigação refere-se a uma pesquisa de análise documental, dados do FMEA do processo e os dados de rejeição no cliente. Em que são avaliadas as informações referente até à última versão do FMEA, antes de o produto ser lançado no mercado e comparados com os dados de rejeição no cliente.

Com base na avaliação da documentação existente, são quantificados todos os riscos, referente aos modos de falha, efeitos das falhas e suas causas no lado do cliente que depois são classificadas de acordo com a sua relação com o FMEA.

Neste contexto, foi definido um fluxograma do processo de avaliação baseado da metodologia estudada. Neste fluxograma são definidos várias etapas, de acordo com o modelo esquematizado na Figura 30, sugerindo uma organização em oito etapas:

1. Escolha do(s) produto(S)/ projeto(S) para avaliação.
2. Seleção da versão e do tipo de FMEA a ser analisada, neste caso foi selecionado o FMEA do processo e a última versão antes do produto ser lançado no mercado.
3. Seleção da fase dos dados de rejeição a analisar, análise do histórico das reclamações dos clientes (cliente externo) ou análise de problemas detetados na produção (cliente interno) e a comparação com os dados do PFMEA. Neste caso, optou-se a análise das reclamações de cliente externo (rejeição na linha do cliente aquando da aplicação do produto).
4. Definição do período de análise, neste caso, referente aos dois primeiros anos após o arranque, equivalente ao período de garantia.
5. Listar todos os modos de falha, causas e seus efeitos detetados no cliente, e ainda a ocorrência destas falhas.
6. Análise das falhas no cliente com os dados de FMEA.
 - a. Identificar os modos de falha, causas e efeitos que foram identificados e os que não foram identificados no FMEA.
 - b. Incluir o valor de RPN calculado no FMEA, nos casos que foram identificados.
 - c. Atribuir a categoria da falha.
 - d. Identificar o processo que originou a falha.
7. Aplicação das métricas:
 - a. A1, A2 e A3: Capabilidade dos três parâmetros (modo de falha, causas e seus efeitos) .

- b. B1 , B2 e B3: quantificação e valor percentual dos três parâmetros da falha que apareceram no cliente que não tinham sido identificados e os que tinham sido identificados no FMEA.
 - c. C1,C2,C3,C4 e C5: Valor do impacto positivo e negativo dos três parâmetros, e o nível total impacto positivo (eficácia) e negativo (ineficácia) do FMEA.
 - d. Modo de falha & eficiência das ações.
 - e. Valor RPN versus Modo de falha/Causas no cliente
 - f. Categoria dos Modos de falha
8. Análise e discussão dos resultados.
9. Criação de um plano de ação de melhoria, com responsáveis e datas de implementação.

Neste caso de estudo, foram definidos alguns critérios de inclusão e de exclusão. Assim, são avaliados unicamente os PFMEA's específicos, excluindo-se os PFMEA's gerais. Em relação aos processos de manufatura avaliados, só estão a ser objeto de estudo, os processos da pré-montagem dos mecanismo de *CD/DVD* e da *Trimplate*, processos de *Sticklead/ICT*, montagem final e testes. Estão excluídos no estudo, os sub-processos de SMD, programação *offline*, e ainda, controle de entrada e expedição.

Ainda, neste estudo, está excluída a fase oito do processo de avaliação, ou seja, criação de um plano de ação de melhoria, com responsáveis e datas de implementação. Sugerindo que esta fase, seja feita na empresa a posteriori.

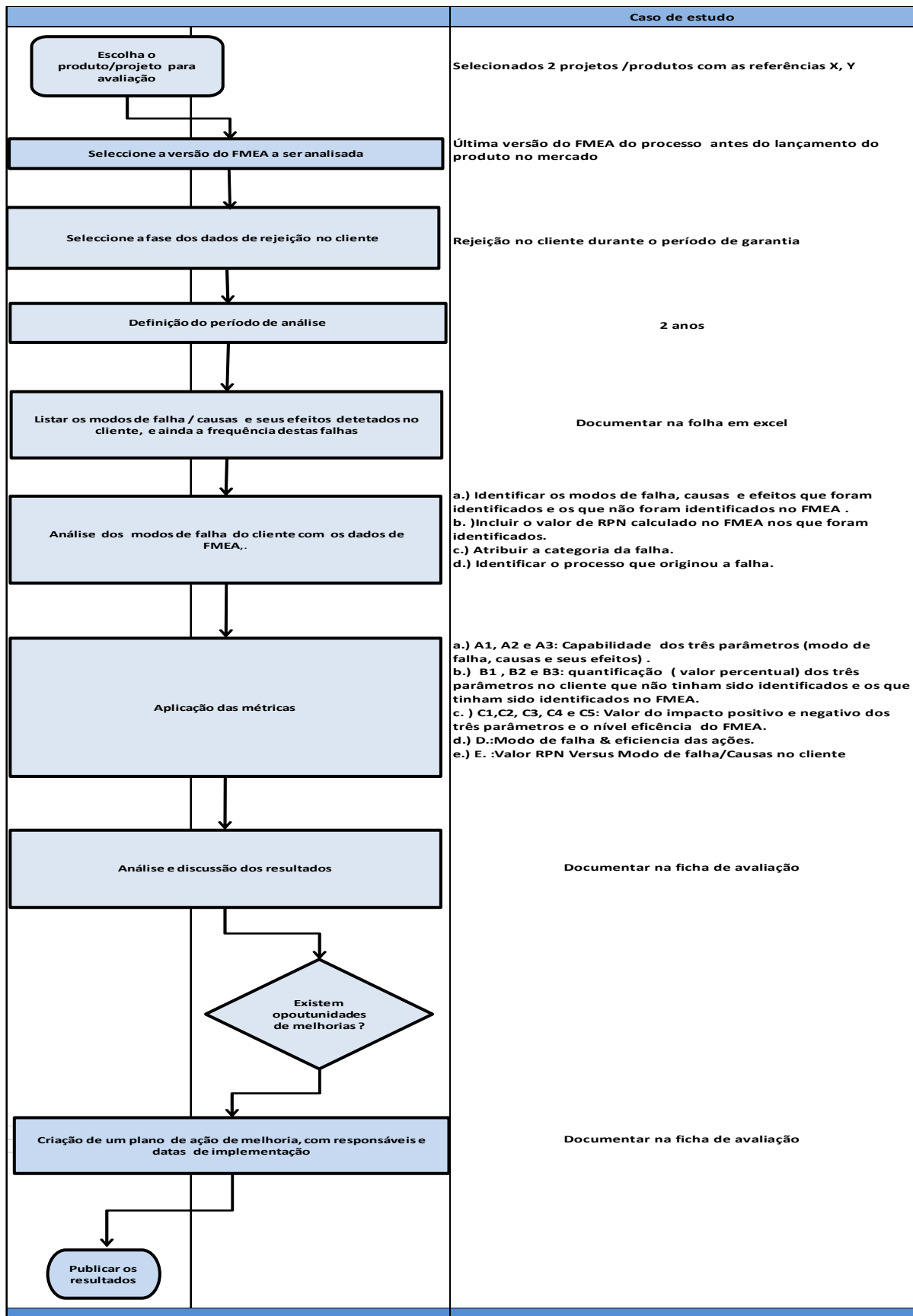


Figura 31 - Fluxograma do processo de validação do FMEA proposta

5.3.3 Métricas aplicadas

A seleção das variáveis para medir a eficácia do processo FMEA foram estabelecidas tendo sempre como base os três parâmetros do processo FMEA, ou seja, o modo de falha, a causa da falha e o efeito da falha, pois estes três parâmetros são a informação mais relevante num FMEA. Assim, definiu-se relações entre os valores de entrada, o “antes” do evento, que traduzem os modos de falha, causas e seus efeitos identificados durante o FMEA e os valores de saída, o “depois” do evento, que traduzem os modos de falha, causas e seus efeitos verificados no cliente.

De modo a ser possível proceder à fase de avaliação, a organização e a compilação dos dados é fundamental. Para este efeito, o conjunto de dados utilizados para realização do estudo foi composto pelos seguintes itens:

- Dados dos Modos de Falha
 - a) Modos de falha no FMEA (MF1)
 - b) Modos de falha no cliente (MF2)
 - c) Modos de falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (MF3)
 - d) Modos de falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF4)
 - e) Modos de falha não foram identificados no FMEA mas apareceram no cliente (MF5)
 - f) Total de modos de falha identificados no FMEA e no cliente (MF6)
- Dados das Causas da Falha
 - a) Causas da falha FMEA (CF1)
 - b) Causas da falha no cliente (CF2)
 - c) Causas da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (CF3)
 - d) Causa da falha foram identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF4)
 - e) Causas da falha não foram identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF5)
 - f) Total das causas da falha identificados no FMEA e no cliente (CF6)
- Dados dos Efeitos das Falhas
 - a) Efeitos da falha FMEA (EF1)
 - b) Efeitos da falha no cliente (EF2)
 - c) Efeitos da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (EF3)
 - d) Efeitos da falha foram identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF4)

- e) Efeitos da falha não foram identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF5)
- f) Total de Efeitos da falha identificados no FMEA e no cliente (EF6)

Como mencionado anteriormente, as várias métricas foram definidas tendo sempre como base a identificação ou não dos modos de falha, das causas e dos efeitos durante o FMEA. Para esse efeito, a definição e descrição dessas variáveis é composta pelos itens seguintes.

Modos de falhas

- Capacidade dos modos de falha é o rácio entre o número de modos de falha identificadas no FMEA dividida pelo número de modos de falha encontrados no período de garantia (CMF). O objetivo é obter pelo menos 2,00.
- MF7 é o valor percentual dos modos de falha no cliente e que tinham sido identificados no FMEA, no total dos Modos de falha encontrados no cliente, sendo o rácio entre os modos de falha identificados no FMEA e que apareceram no cliente dividida sobre total dos modos de falha no cliente (MF4/MF2).
- MF8 é o valor percentual dos modos de falha no cliente e que não tinham sido identificados no FMEA, no total dos modos de falha encontrados no cliente, sendo calculado pelo rácio dos modos de falha não foram identificados no FMEA mas apareceram no cliente dividida sobre total dos modos de falha no cliente MF5/MF2.
- MF9 é o índice de impacto negativo dos modos de falhas identificados no FMEA e que apareceram no cliente; sendo o rácio entre os modos de falha identificados no FMEA e que apareceram no cliente dividida sobre total de modos de falha identificados no FMEA e no cliente MF4/MF6.
- MF10 é o índice de impacto negativo dos modos de falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente; sendo calculado pelo rácio dos modos de falha não foram identificados no FMEA mas apareceram no cliente dividida sobre total de modos de falha identificados no FMEA e no cliente MF5/MF6.
- MF11 é o índice total de impacto negativo, sendo a soma dos dois índices MF9 e MF10.
- MF12 é o índice impacto positivo dos modos de falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente, sendo calculado (MF3/MF6).

Causa das falhas

- Capacidade das causas da falha é o rácio entre o número de causas identificadas no FMEA dividida pela número de causas encontradas no período de garantia (CCF). O objetivo é obter pelo menos 2,00.
- CF7 é o valor percentual das causas de falha no cliente e que tinham sido identificados no FMEA, no total das causas da falha encontrados no cliente, sendo calculado pelo rácio das causas da falha foram identificados no FMEA e que apareceram no cliente dividida sobre causas da falha no cliente $CF4/CF2$.
- CF8 é o valor percentual das causas da falha no cliente e que não tinham sido identificados no FMEA, no total das causas da falha encontradas no cliente, sendo calculado pelo rácio das causas da falha não foram identificados no FMEA e apareceram no cliente dividida sobre as causas da falha no cliente $CF5/CF2$.
- CF9 é o índice de impacto negativo das causas da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente; sendo calculado pelo rácio das causas da falha foram identificados no FMEA e que apareceram no cliente dividida sobre total das causas da falha identificados no FMEA e no cliente $CF4/CF6$.
- CF10 é o índice de impacto negativo das causas da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente; sendo calculdo pelo rácio das causas da falha não foram identificados no FMEA e apareceram no cliente dividida sobre total das causas da falha identificados no FMEA e no cliente $CF5/CF6$.
- CF11 é o índice total de impacto negativo, sendo a soma dos dois índices CF9 e CF10.
- CF12 é o índice impacto positivo das causas da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente, sendo calculado($CF3/CF6$).

Efeito das falhas

- Capacidade dos efeitos da falha é o rácio entre o número de efeito identificadas no FMEA dividida pela número de efeitos encontradas no período de garantia. O objetivo é obter pelo menos 2,00 (CEF).
- EF7 é o valor percentual dos Efeitos da falha no cliente e que tinham sido identificados no FMEA , no total dos efeitos da falha encontrados no cliente, sendo calculado pelo o rácio dos efeitos da falha foram identificados no FMEA e que apareceram no cliente dividido sobre Efeitos da falha no cliente($EF4/EF2$).

- EF8 é o valor percentual dos efeitos da falha no cliente e que não tinham sido identificados no FMEA , no total dos efeitos da falha encontrados no cliente FMEA, sendo o seu valor o rácio dos efeitos da falha não foram identificados no FMEA e apareceram no cliente dividida sobre Efeitos da falha no cliente (EF5/EF2).
- EF9 é o índice de impacto negativo dos efeitos da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente; sendo calculado pelo rácio dos efeitos da falha foram identificados no FMEA e que apareceram no cliente dividido sobre o total de Efeitos da falha identificados no FMEA e no cliente(EF4/EF6)
- EF10 é o índice de impacto negativo dos efeitos da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente; sendo calculdo pelo rácio dos efeitos da falha não foram identificados no FMEA e apareceram no cliente dividida sobre sobre o total de Efeitos da falha identificados no FMEA e no cliente (EF5/EF6).
- EF11 é o índice total de impacto negativo, sendo a soma dos dois índices EF9 e EF10.
- EF12 é o índice impacto positivo dos efeitos da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente, sendo calculado(EF3/EF6).

Além das métricas específicas por tipo de falha, ainda foram adicionadas outras, em que algumas são de carácter mais generalistas que vão contribuir para complementar a análise e consequentemente a definição de ações de melhoria:

- Cálculo da eficácia geral por produto, em que consiste, no produto dos três parâmetros com impacto positivo, ou seja, $MF12*CF12*EF12$.
- Cálculo da ineficácia geral por produto, em que consiste, no produto dos três parâmetros com impacto negativo , ou seja, $MF11*CF11*EF11$.
- Avaliação da eficácia dos controlos implementados, pela medição do número de falhas encontradas.
- Valor RPN versus modo de falha/causa no cliente e percentagem de modos de falha detetados no cliente por RPN.
- Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados.
- Análise de Pareto do impacto por processos da rejeição no cliente, de modo a identificar uma possível tendência nalgum processo em particular.
- Análise de Pareto do impacto por categorias das falhas no cliente.

Em relação à análise impacto por parâmetros identificados e não identificados, foram subdivididas em seis categorias, passíveis de serem analisadas, e as quais a posteriori levarão à definição de um plano de ação para melhor a execução do FMEA:

- Quantidade de modo de falhas no cliente não identificados durante o PFMEA (MF5) e o seu valor percentual
- Quantidade de modo de falhas no cliente identificados durante o PFMEA (MF4) e o seu valor percentual.
- Quantidade de efeitos da falha no cliente não identificados durante o PFMEA (EF5) e o seu valor em percentual.
- Quantidade de efeitos da falha no cliente identificados durante o PFMEA (EF4) e o seu valor percentual.
- Quantidade de causas das falha no cliente não identificados durante o PFMEA (CF5) e o seu valor percentual.
- Quantidade de causas de falha no cliente identificados durante o PFMEA (CF4) e o seu valor percentual.

Também, se considerou que uma falha no cliente em que não tinha sido identificada no FMEA estaria associada à capacidade do método de análise durante a execução do PFMEA, e uma falha no cliente que já tinha sido identificada durante o FMEA, estaria associada à eficiência das ações implementadas.

De modo, a analisar o impacto de cada categoria, na tabela 9 é apresentada a divisão dos valores, segmentada por intervalos de vinte cinco pontos percentuais cada e a sua correspondência do nível de impacto.

Tabela 9 - Fatores de ponderação das anomalias detetadas

Intervalo de valores	Nível de impacto (fator multiplicativo)
Valores entre 0 a 25% (inclusive)	1 (baixo)
Valores 26% a 50% (inclusive)	2 (médio baixo)
Valores 51% a 75% (inclusive)	3 (médio alto)
Valores 76% a 100% (inclusive)	4 (alto)

O estudo referente a esta análise de Pareto do impacto por categorias da rejeição no cliente, encontra-se documentada no próximo capítulo juntamente com a análise dos outros itens.

Foi elaborada uma ficha de avaliação para cada caso de estudo (anexo A1 e A2) com a compilação da informação recolhida e preenchida com as informações obtidas pelos métodos acima citados, e ainda, a lista das falhas encontradas no cliente com as respetivas classificações e relação com o FMEA (anexos B1 e B2). Os campos marcados a laranja, são dados obtidos da investigação documental, e os campos marcados a cinzento correpondem aos resultados da aplicação das métricas.

6 Apresentação e análise de resultados

6.1 Introdução

O fim a que se destina este capítulo é a apresentação e análise dos resultados do estudo realizado, de acordo com os objetivos formulados no capítulo 1. E para facilitar a interpretação e análise de dados, optou-se a apresentação dos dados em tabelas e gráficos, procurando-se, com isso, a melhor visibilidade dos resultados.

6.2 Resultados do estudo

Para atingir estes objetivos procedeu-se, conforme descrito no capítulo anterior, ao tratamento e análise dos dados obtidos a partir da aplicação das diferentes métricas selecionadas.

Os resultados que se obtiveram serão, então, apresentados nas subsecções que a seguir se apresentam:

6.2.1 - Avaliação do parâmetro “Modos de falha”.

6.2.2 - Avaliação do parâmetro “Efeitos da falha”.

6.2.3 - Avaliação do parâmetro “Causas da falha”.

6.2.4 - Nível total dos fatores de impacto positivo (eficácia) e negativo (ineficácia) do FMEA.

6.2.5 - Análise de Pareto do impacto dos parâmetros identificados e não identificados no cliente.

6.2.6 - Identificação das falhas aos sub-processos.

6.2.7 - Ocorrências das falhas e eficiência das ações.

6.2.8 - Percentagem das falhas detetadas no cliente por RPN.

6.2.9 - Análise de Pareto por categoria das falhas no cliente.

6.2.1 Avaliação do parâmetro “Modos de Falha”

São apresentados na tabela 10 os dados recolhidos referentes aos Modos de falha encontrados no cliente e identificados no FMEA, e a aplicação das métricas expostas no capítulo 5.

Tabela 10 - Síntese de alguns dos resultados obtidos do parâmetro Modo de falha

Produto	Dados recolhidos						Métricas de avaliação						
	Modos de falhas FMEA (MF1)	Modo de falhas no cliente (MF2)	Modos de falha identificados no FMEA mas não apareceram no cliente (MF3)	Modos de falha que apareceram no cliente e foram identificados no PFMEA (MF4)	Modos de falha que apareceram no cliente e não foram identificados no PFMEA (MF5)	Total Modos de falhas (MF6)	Capabilidade (CMF)	Valor percentual dos Modos de falha no cliente e identificados no FMEA (MF7)	Valor percentual dos Modos de falha no cliente no total dos Modos de falha no cliente e que não tinham sido identificados no FMEA (MF8)	Índice de impacto negativo dos modos de falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF9)	Índice de impacto negativo dos Modos de falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF10)	Soma dos impactos negativos (MF11)	Índice impacto positivo dos modos de falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (MF12)
Produto (X) Vermelho	149	35	138	11	24	173	4,26	31%	69%	0,06	0,14	0,20	0,80
Produto (Y) Verde	155	24	146	9	15	170	6,46	38%	63%	0,05	0,09	0,14	0,86
Valores médios	152,00	29,50	142,00	10,00	19,50	171,50	5,36	36%	66%	0,06	0,11	0,17	0,83

Ao analisar os resultados das métricas de avaliação, foi possível constatar o seguinte:

- O valor de capacidade para os dois produtos estão muito acima do valor 2, ou seja, muito acima do valor estipulado como razoável.

- No entanto, entre as duas amostras analisadas, o valor mais baixo, corresponde à amostra do produto X (vermelho), com um valor de 4,26.

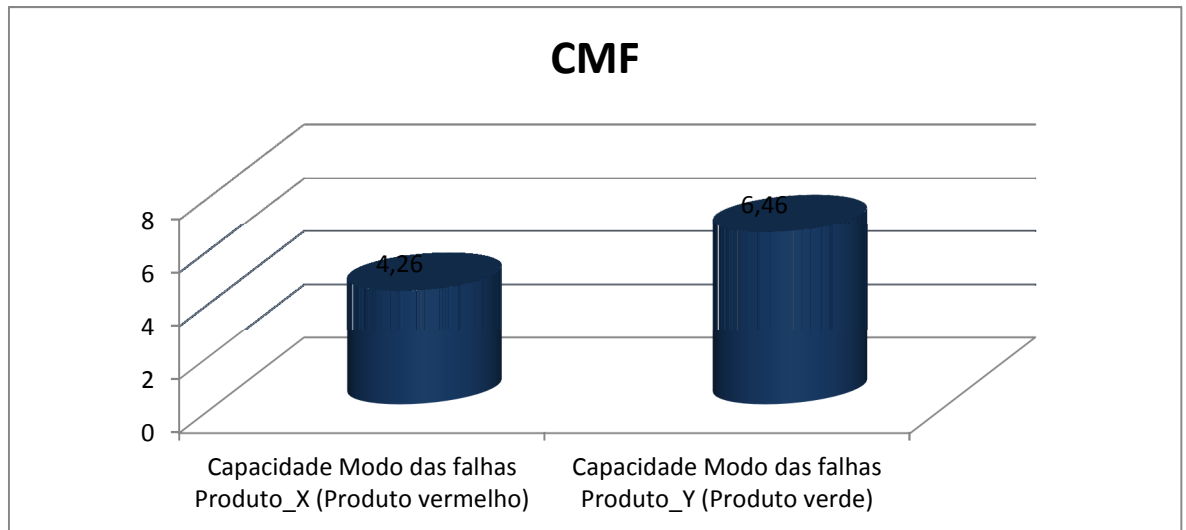


Figura 32 - Valor da capacidade dos Modos de falha

- Em média, 66% dos modos de falha encontrados no cliente não tinham sido identificados no FMEA.
- Em média, 36% dos modos de falha encontrados no cliente tinham sido identificados no FMEA.
- Nos dois casos, o nível de impacto negativo referente aos modos de falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF5) é sempre superior ao impacto negativo dos modos de falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF4).
- Em relação ao impacto positivo, no caso do produto X (vermelho) é ligeiramente inferior ao caso do produto Y (verde), sendo o seu valor médio de 0,83.
- Nos dois casos, a soma dos dois fatores de impacto negativo é sempre inferior ao fator de impacto positivo, sendo o seu valor médio de 0,17.

Para se compreender melhor a proporção de cada fator, elaborou-se o gráfico que a seguir se apresenta. Da análise, da Figura 33, verifica-se que o fator de impacto positivo, ou seja, modos de falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (MF3) é sempre superior aos fatores de impactos negativos, ou seja, apareceram no cliente independentemente se foram ou não identificados durante o FMEA (MF4 e MF5)

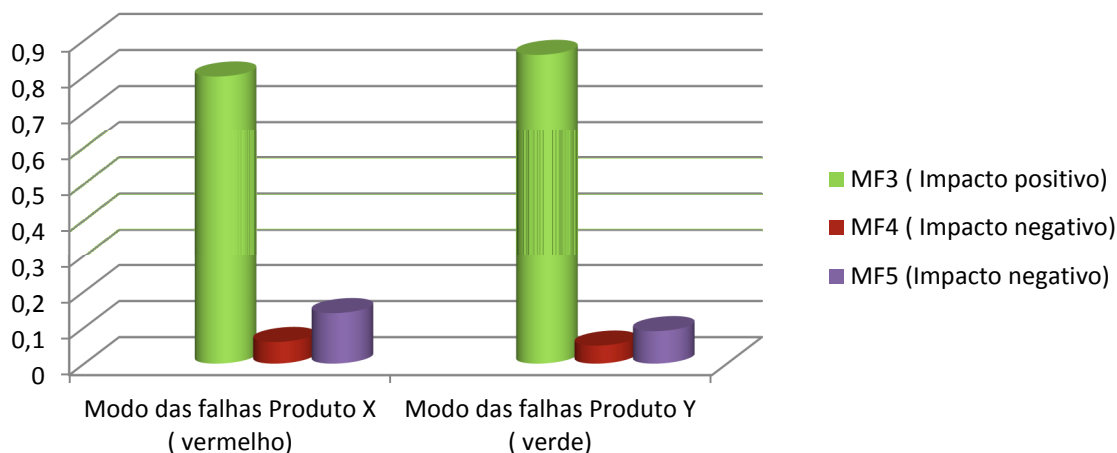


Figura 33 - Representação gráfica dos fatores dos modos da falha

6.2.2 Avaliação do parâmetro “Efeitos da falha”

São apresentados na tabela 11 os dados recolhidos referentes aos Efeitos de falha encontrados no cliente e os identificados no FMEA, e a aplicação das métricas expostas no capítulo 5.

Tabela 11 - Síntese de alguns dos resultados obtidos do parâmetro Efeitos da Falha

Produto	Dados recolhidos						Métricas de avaliação						
	Efeitos da falha FMEA (EF1)	Efeitos da falha no cliente (EF2)	Efeitos da falha identificados no FMEA mas não apareceram no cliente (EF3)	Efeitos da falha que apareceram no cliente e foram identificados no PFMEA (EF4)	Efeitos da falha que apareceram no cliente e não foram identificados no PFMEA (EF5)	Total Efeitos da falha (EF6)	Capabilidade (CEF)	Valor percentual dos efeitos da falha no cliente no total dos efeitos da falha no cliente e que tinham sido identificados no FMEA (EF7)	Valor percentual dos efeitos da falhas no cliente no total dos Efeitos da falha no cliente e que não tinham sido identificados no FMEA (EF8)	Índice de impacto negativo dos efeitos da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF9)	Índice de impacto negativo dos efeitos da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF10)	Soma dos impactos negativos (EF11)	Índice impacto positivo dos efeitos da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (EF12)
Produto X (Vermelho)	25	29	15	10	19	44	0,86	34%	66%	0,23	0,43	0,66	0,34
Produto Y (Verde)	44	15	39	5	10	54	2,93	33%	67%	0,09	0,19	0,28	0,72
Valores médios	35	22	27	8	15	49	1,90	34%	66%	0,16	0,31	0,47	0,53

Ao analisar, na tabela 11, os resultados das métricas de avaliação, foi possível constatar o seguinte:

- O valor de capacidade para os dois produtos estão abaixo do valor 2, ou seja, está abaixo do valor estipulado como razoável.
- Entre as amostras analisadas, o valor mais baixo, corresponde à amostra do produto X (vermelho), em que o produto Y (verde) apresenta um valor acima de 2, com o valor de 2,93.

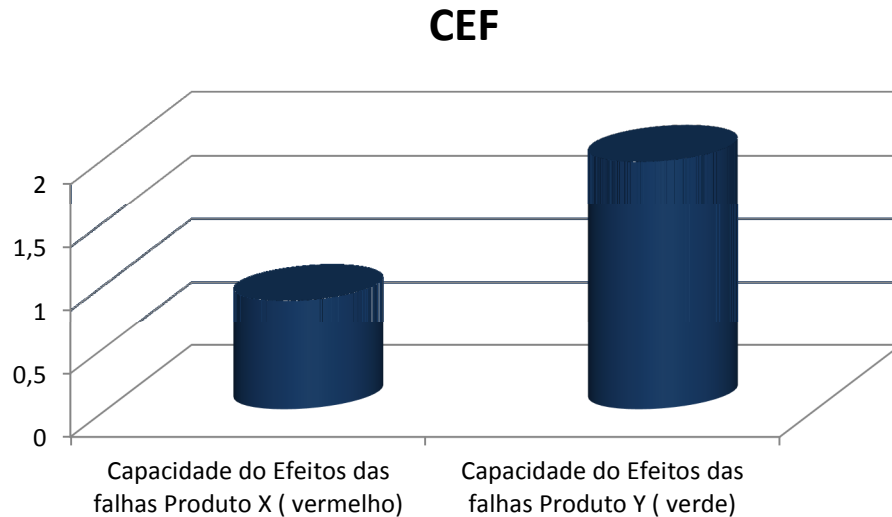


Figura 34 - Valor da capacidade dos efeitos da falha

- Em média, 66% dos efeitos da falha encontrados no cliente não tinham sido identificados no FMEA.
- Em média, 34% dos efeitos de falha encontrados no cliente tinham sido identificados no FMEA.
- Nos dois casos, o nível de impacto negativo referente aos efeitos de falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF5) é sempre superior ao impacto negativo dos modos de falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF4).
- Em relação ao impacto positivo, no caso do produto X (vermelho) é muito inferior ao caso do produto Y (verde), sendo respectivamente os valores de 0,34 e 0,72.
- No produto Y (verde), a soma dos fatores de impacto negativo é inferior ao fator de impacto positivo, o que não se verifica com o produto X (vermelho), sendo os seus valores de 0,66 e 0,28 respectivamente.

Igualmente, para se compreender melhor a proporção de cada fator, elaborou-se o gráfico que se seguir se apresenta. Sendo bem visível, que o fator de impacto positivo, ou seja,

efeito da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (EF3) é superior aos fatores de impactos negativos, ou seja, apareceram no cliente independentemente se foram ou não identificados durante no FMEA (EF4 e EF5), esta situação só se verifica no produto Y (verde), sendo no produto X (vermelho) o inverso.

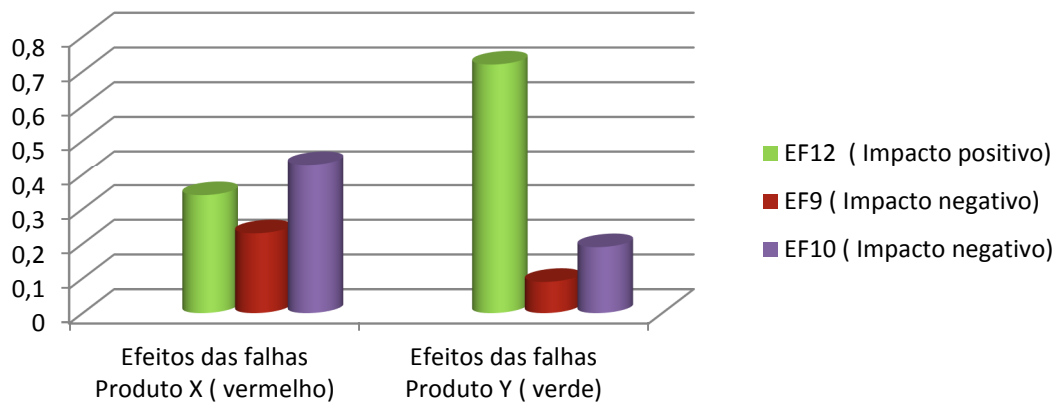


Figura 35 - Representação gráfica dos fatores dos efeitos da falha

6.2.3 Avaliação do parâmetro “Causas da falha”

São apresentados na tabela 12 os dados recolhidos referentes às causas da falha encontrados no cliente e os identificados no FMEA, e a aplicação das métricas expostas no capítulo 5 .

Tabela 12 - Síntese de alguns dos resultados obtidos do parâmetro causa da falha

Produto	Dados recolhidos						Métricas de avaliação						
	Causas da falha FMEA (CF1)	Causas da falha no cliente (CF2)	Causas da falha identificados no FMEA mas não apareceram no cliente (CF3)	Causas da falha que apareceram no cliente e foram identificados no PFMEA (CF4)	Causas da falha que apareceram no cliente e não foram identificados no PFMEA (CF5)	Total causas da falha (CF6)	Capabilidade (CCF)	Valor percentual das causas da falha no cliente no total das causas da falha no cliente e que tinham sido identificados no FMEA (CF7)	Valor percentual das causas da falha no cliente no total das causas da falha no cliente e que não tinham sido identificados no FMEA (CF8)	Índice de impacto negativo das causas da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF9)	Índice de impacto negativo das causas da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF10)	Soma dos impactos negativos (CF11)	Índice impacto positivo das causas da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (CF12)
Produto X (Vermelho)	166	35	163	3	32	198	4,74	9%	91%	0,02	0,16	0,18	0,82
Produto Y (Verde)	172	24	165	7	17	189	7,17	29%	71%	0,04	0,09	0,13	0,87
Valores médios	169	30	164	5	25	194	5,95	19%	81%	0,03	0,13	0,15	0,85

Ao analisar na tabela 12, os resultados das métricas de avaliação, foi possível constatar o seguinte:

- O valor de capacidade para os dois produtos estão muito acima do valor 2, ou seja, muito acima do valor estipulado como razoável.
- Entre as amostras analisadas, o valor mais baixo, corresponde à amostra do produto X (vermelho), com um valor 4,74 em que a do produto Y (verde) é muito mais alto com um valor de 7,17.

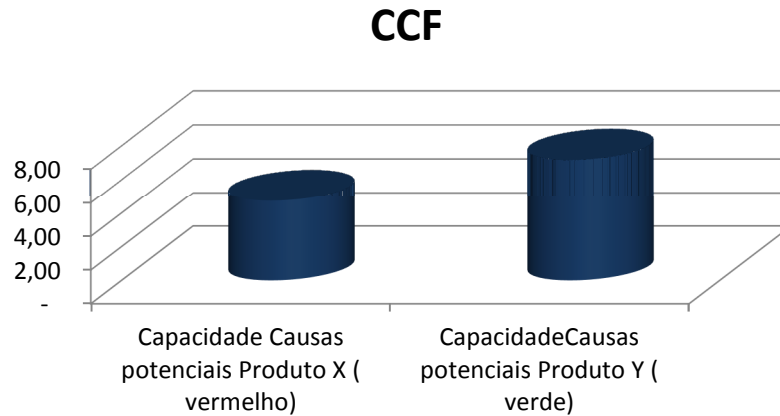


Figura 36 - Valor da capacidade das causas da falha

- Em média 81% das causas da falha encontrados no cliente não tinham sido identificados no FMEA, sendo este valor muito elevado principalmente nos produtos X (vermelho) e Y (verde), com um valor de 91%.
- Em média 19% das causas da falha encontrados no cliente tinham sido identificados no FMEA, destaca-se valores muito baixo principalmente nos produtos X (vermelho) e Y (verde), com um valor de 9%.
- Nos dois casos, o nível de impacto negativo das causas da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF5) é sempre superior ao impacto negativo das causas da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF4).
- Nos dois casos, a soma dos dois fatores de impacto negativo é sempre inferior ao fator de impacto positivo, sendo o seu valor médio de 0,15 .
- Nos dois casos, a soma dos dos fatores de impacto negativo é sempre inferior ao fator de impacto positivo.

No gráfico que se segue, é bem visível, que o fator de impacto positivo, ou seja, causas da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (CF3) é sempre superior (CF3) aos fatores de impactos negativos, ou seja, apareceram no cliente independentemente se foram ou não identificados durante o FMEA (CF4 e CF5)

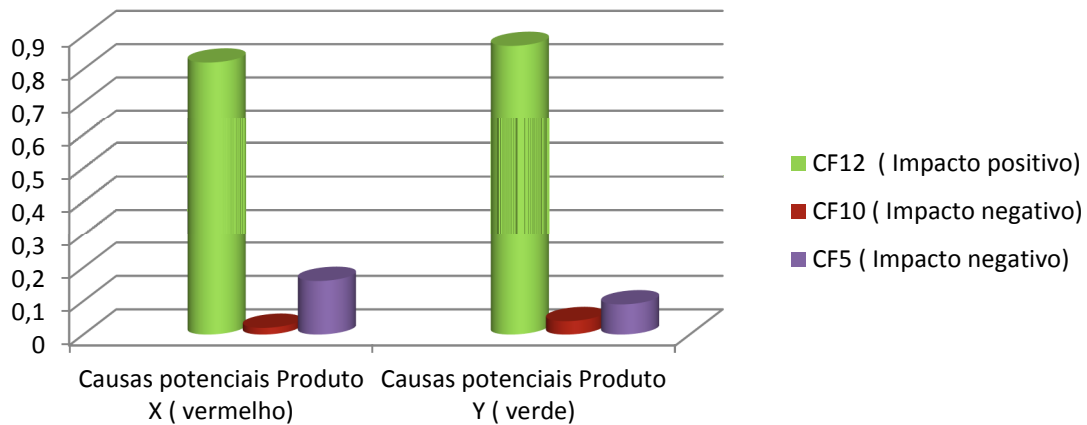


Figura 37 - Representação gráfica dos fatores das causas da falha

6.2.4 Nível total dos fatores de impacto positivo e negativo no FMEA

Nesta fase, o objetivo consiste na quantificação do níveis dos impactos positivos e negativos no FMEA. Ou seja, o que correu bem, em que consiste nas falhas que foram identificadas e não apareceram no cliente, e o que correu mal, em que consiste nas falhas identificadas no FMEA e apareceram no cliente, mais as falhas que não foram identificadas no FMEA e apareceram no cliente.

Assim, neste modelo a variável dependente é o Nível total de impacto positivo consideram-se dependente de 3 variáveis: MF12 (=Modos de falha com impacto positivo), EF12 (=Efeitos da falha com impacto positivo) e CF12 (=Causas da falha com impacto positivo).

$$\text{Nível de impacto positivo} = f(\text{MF12}, \text{EF12}, \text{CF12})$$

Aplicando a seguinte fórmula :

$$\text{Nível total de impacto negativo} = \text{MF11} * \text{EF11} * \text{CF11}$$

Para o caso do impacto negativo, temos a variável dependente que é o Nível total de impacto negativo consideram-se dependente de 3 variáveis: MF11 (=Modos de falha com impacto negativo), EF11 (=Efeitos da falha com impacto negativo) e CF11 (=Causas da falha com impacto negativo).

$$\text{Nível de impacto negativo} = f(\text{MF11}, \text{EF11}, \text{CF11})$$

Aplicando a seguinte fórmula :

$$\text{Nível total de impacto negativo} = \text{MF11} * \text{EF11} * \text{CF11}$$

Os resultados dos níveis de influência por cada fator de impacto positivo e negativo estão listados nas tabelas 13 e 14, conforme a aplicação das fórmulas representadas.

Tabela 13 - Nível total de impacto positivo FMEA

Produto	MF12	EF12	CF12	Nível total de impacto positivo FMEA (eficácia)	Rácio dos impactos entre produtos	Categoria de produto
Produto X	0,80	0,34	0,82	0,22	2,4	Produto vermelho
Produto Y	0,86	0,72	0,87	0,54		Produto verde

Tabela 14 - Nível total de impacto negativo FMEA

Produto	MF11	EF11	CF11	Nível total de impacto negativo FMEA (ineficácia)	Rácio dos impactos entre produtos	Categoria de produto
Produto X	0,20	0,66	0,18	0,024	4,8	Produto vermelho
Produto Y	0,14	0,28	0,13	0,005		Produto verde

O nível de impacto positivo no caso do produto Y (verde) é significativamente mais alto do que no produto X (vermelho), atingindo um rácio de 2,4 pontos. Em contra partida, o impacto negativo no produto Y (verde) é inferior ao produto X (vermelho), com um rácio de 4,8 pontos. Assim, o produto X (vermelho) destaca-se pela negativa, pois possui o valor mais baixo no que respeita ao fator de impacto positivo e possui um impacto negativo mais alto em relação ao produto Y (verde).

Outra análise, foi avaliar os rácios entre os impactos positivos e negativos, e comparar os produtos entre si. Assim, foi obtido no caso do produto Y (verde) um rácio de 108 pontos e no caso do produto X (vermelho) um rácio 9,16.

Podemos confirmar que estes dados estão de acordo com os dados reais, o que nos leva a considerar que estes indicadores conseguem fornecer o nível de eficácia do FMEA, em que a variação destes indicadores vai certamente influenciar na performance do produto durante a sua utilização.

Tabela 15 - Relação entre níveis de impacto

Produto	Nível total de impacto positivo	Nível total de impacto negativo	Relação entre impactos	Categoria de produto
Produto X	0,22	0,024	9,16	Produto vermelho
Produto Y	0,54	0,005	108	Produto verde

6.2.5 Análise de Pareto do impacto dos parâmetros identificados e não identificados no cliente.

Como descrito no capítulo anterior, seis categorias foram definidas e passíveis de serem analisadas:

- Quantidade de Modo de falhas no cliente não identificados durante o PFMEA (MF5) e o seu valor percentual.
- Quantidade de Modo de falhas no cliente identificados durante o PFMEA (MF4) e o seu valor percentual.
- Quantidade de efeitos da falha no cliente não identificados durante o PFMEA (EF5) e o seu valor em percentual.
- Quantidade de efeitos da falha no cliente identificados durante o PFMEA (EF4) e o seu valor percentual.
- Quantidade de causas das falha no cliente não identificados durante o PFMEA (CF5) e o seu valor percentual.
- Quantidade de causas de falha no cliente identificados durante o PFMEA (CF4) e o seu valor percentual.

Também como mencionado no capítulo anterior, se considerou que uma falha no cliente em que não tinha sido identificada no FMEA estaria associada à capacidade de método de análise durante a execução do PFMEA, e uma falha no cliente que já tinha sido identificada durante o FMEA, estaria associada à eficácia das ações implementadas ou à má avaliação dos valores de RPN.

6.2.5.1 Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados do produto X (vermelho)

Aplicando a análise de Pareto, verificamos, no que diz respeito aos fatores “ falhas não foram identificadas no FMEA”, respetivamente com os valores 91%, 83% e 69%. prevalecem sempre em relação aos fatores “falhas identificadas no FMEA”, estes apresentam valores 34%, 31% e 9%. Podemos acrescentar , que no grupo das três

categorias “falhas não identificada”, verifica-se que o fator “ causa não identificada” é o fator com mais importância e incidência, sendo, o que mais contribuiu para as falhas verificadas no cliente.

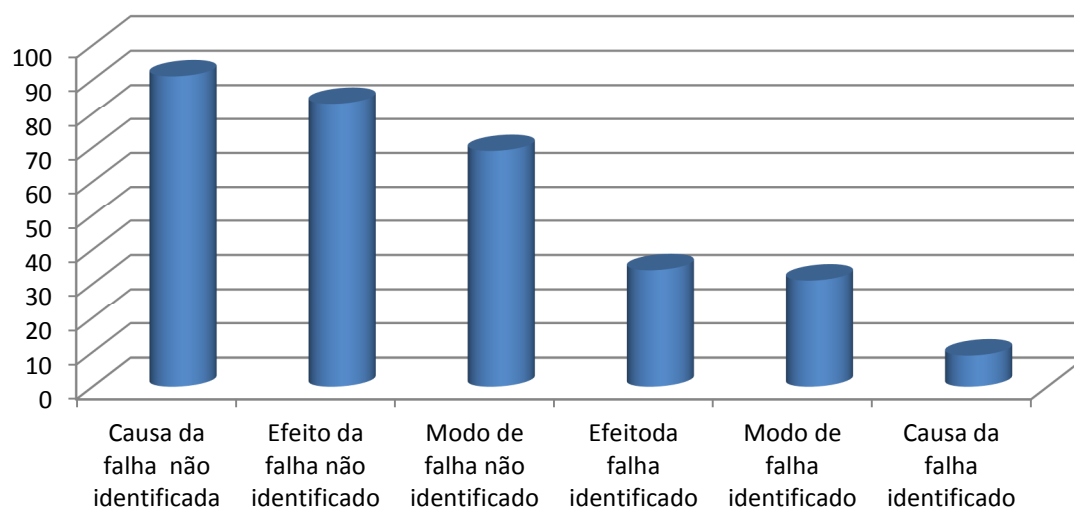


Figura 38 - Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados do produto X (vermelho)

De modo, a analisar o impacto de cada categoria, são apresentados na tabela 16, a classificação do atributo, “análise ou “ações”, e o seu índice de impacto, tal como foi exposto no capítulo anterior.

Tabela 16 - Índice de impacto por atributo do produto X (vermelho)

Descrição do Parâmetro / Produto X (Vermelho)	%	Atributo	Índice de impacto
Causa da falha não identificado	91	Análise	4
Efeito da falha não identificado	83	Análise	4
Modo de falha não identificado	69	Análise	3
Efeito da falha identificado	34	Ações	2
Modo de falha identificado	31	Ações	2
Causa da falha identificada	9	Ações	1

Somando os pontos separadamente conforme a sua classificação de atribuição, “análise” ou “ações”, obtemos os valores conforme apresentado na tabela 17.

Tabela 17 - Índice de impacto total por atributo do produto X (vermelho)

Tipo de atributo do produto X (Vermelho)	Índice de impacto	Valor em %
Atributo de Análise	11	69%
Atributo de Ações	5	31%

Concluimos, que no caso do produto X (vermelho), as falhas encontradas no cliente não está associado à eficiência das ações definidas durante o FMEA, tendo um índice de impacto de 5 pontos (31%), mas sim, na capacidade de identificar o máximo de falhas possíveis, com um índice de impacto de 11 pontos (69%).

6.2.5.2 Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados do produto Y

Aplicando a análise de Pareto, verificamos, no que diz respeito aos fatores “falhas não foram identificadas no FMEA”, respetivamente com os valores 71%, 67% e 54%. prevalecem sempre em relação aos fatores “falhas identificadas no FMEA”, estes apresentam valores 38%, 33% e 29%. Podemos acrescentar, no grupo das três categorias “falhas não identificada”, verifica-se que o fator “causa não identificada” é o fator com mais importância e incidência, sendo, o que mais contribuiu para as falhas verificadas no cliente.

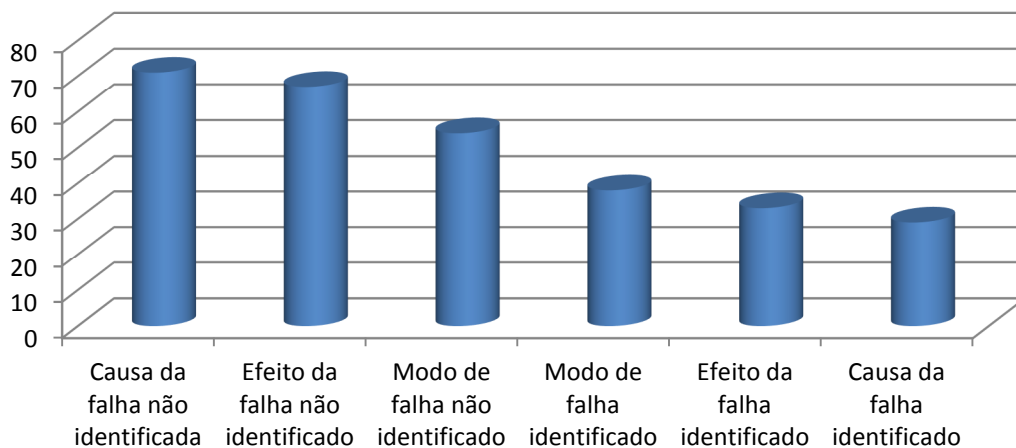


Figura 39 - Análise impacto por parâmetros identificados e não identificados do produto Y (verde)

Para o produto Y (verde), são apresentados na tabela 18, a classificação do atributo, “análise ou “ações”, e o seu índice de impacto.

Tabela 18 - Índice de impacto por atributo do produto Y (verde)

Descrição do Parâmetro / Produto Y (Verde)	%	Atribuição	Índice de impacto
Causa da falha não identificada	71	Análise	3
Efeito da falha não identificada	67	Análise	3
Modo de falha não identificado	54	Análise	3
Modo de falha identificado	38	Ações	2
Efeito da falha identificado	33	Ações	2
Causa da falha identificado	29	Ações	2

Somando os pontos separadamente conforme a sua classificação de atribuição, "análise" ou "ações", obtemos os valores conforme apresentado na tabela 19.

Tabela 19 - Índice de impacto total por atributo do produto Y (verde)

Tipo de atributo do produto Y (Verde)	Índice de impacto	Valor em %
Atributo de Analise Produto Y	9	60%
Atributo de Ações Produto Y	6	40%

Concluimos, que no caso do produto Y (verde), as falhas encontradas no cliente não está associado à eficiência das ações definidas durante o FMEA, tendo um índice de impacto de 6 pontos (40%), mas sim, na capacidade de identificar o máximo de falhas possíveis, com um índice de impacto de 9 pontos (60%).

Constatou-se que nos dois produtos prevalece sempre o fator "análise" relativamente ao fator "ações", o que corresponde em média 60% dos casos em que falhou a identificação da falha durante o FMEA, contra a uma média de 40% dos casos em que falhou a eficácia das ações definidas e implementadas.

6.2.6 Identificação das falhas aos sub-processos

Nesta seção, é analisada a proveniência das falhas verificadas no cliente no que respeita à sua posição no processo, ou seja, qual foi o sub-processo que originou a falha, tal como exemplo, a falha foi provocada no sub-processo de montagem do *trimplate* _CD que a posteriori veio a manifestar-se no cliente tendo passando aos controles e ações implementados. Assim, vai-se incluir neste estudo a distribuição das falhas por sub-processos e a sua análise de Pareto

No produto X (vermelho), constata-se que uma grande parte das falhas estavam associadas a “falhas não identificadas no sub-processo Montagem Final”, com um valor percentual de 40% (14 casos), e também a “falhas não identificados no sub-processo ICT_SL”, com um valor percentual de 37% (13 casos).

Tabela 20 - Causas das falhas por sub-processos do produto X (vermelho)

Nº de causas da falha <u>identificados</u> FA	1	3%
Nº de causa da falha <u>não identificados</u> FA	14	40%
Nº de causas da falha <u>identificados</u> trim_CD_ assy	0	0%
Nº de causas da falha <u>não identificados</u> trim_CD_ assy	3	9%
Nº de causas da falha <u>identificados</u> ICT_SL	2	6%
Nº de causas da falha <u>não identificados</u> ICT_SL	13	37%
Nº de causas da falha <u>identificados</u> Teste/ Programa/etiqueta	0	0%
Nº de causas da falha <u>não identificados</u> Teste/ Programa/etiqueta	2	6%

No caso do produto Y (verde), o que se destaca é que uma grande parte das falhas estarem associadas a “falhas identificadas no sub-processo Montagem do Trimpalte-CD”, com um valor percentual de 33% (8 casos).

Tabela 21 - Causas das falhas por sub-processos do produto y (verde)

Nº de modos falha <u>identificados</u> FA	0	0%
Nº de modos falha <u>não identificados</u> FA	3	13%
Nº de modos de falha <u>identificados</u> trim_CD_ assy	8	33%
Nº de modos de falha <u>não identificados</u> trim_CD_ assy	4	17%
Nº de modos de falha <u>identificados</u> ICT_SL	1	4%
Nº de modos de falha <u>não identificados</u> ICT_SL	4	17%
Nº de modos de falha <u>identificados</u> Teste/ Programa/etiqueta	0	0%
Nº de modos de falha <u>não identificados</u> Teste/ Programa/etiqueta	4	17%

Com esta análise, pode-se comprovar que não existe nenhum processo crítico, pois não é demonstrado nenhuma incidência num processo específico com as duas amostras analisadas. Igualmente, vai-se considerar que com esta informação servirá de suporte para futuras investigações sobre as causas das falhas.

6.2.7 Ocorrências das falhas e eficiência das ações

Nesta seção, são apresentados os dados, no que se refere à eficiência da ações implementadas. Ou seja, o nível de ocorrência por modos de falha após a implementação das ações definidas durante o FMEA, ou já previamente definidas, em que neste caso , não foi necessário redefinir novas ações.

No produto X (vermelho), em onze modos de falha, verificamos que em 82% (nove casos) dos modos de falha tinham um ocorrência inferior a 5 casos, e em 18% (dois casos) dos modos de falha tinham uma ocorrência superior a 5 casos.

Tabela 22 - Ocorrências dos modos de falha identificados no produto X (vermelho)

Nº de modos de falha identificados no PFMEA	11	
Nº de modos de falha no cliente mais de 5 defeitos	2	18%
Nº de modos de falha no cliente com menos de 5 casos	9	82%

No produto Y (verde), em nove modos de falha, verificamos que em todos os modos de falha, ou seja nos nove casos, tinham uma ocorrência inferior a 5 casos.

Tabela 23 - Ocorrências dos modos de falha identificados no produto Y (verde)

Nº de modos de falha identificados no PFMEA	9	
Nº de modos de falha no cliente mais de 5 defeitos	0	0%
Nº de modos de falha no cliente com menos de 5 casos	9	100%

Com esta análise, pode-se comprovar que o nível de eficiência das ações, para uma grande parte dos modos de falha identificados no FMEA, conseguiram ter um impacto relativamente positivo, ou seja, as ações definidas conseguiram atuar positivamente ou na ocorrência, e/ou, na detecção destas falha, tal como é demonstrado nas duas amostras analisadas. Assim, no caso do produto Y (verde), nos modos de falha no cliente não se verificaram ocorrências superiores a 5 casos, e no caso do produto X (vermelho), constatou-se que em 18 % dos modos de falha tiveram ocorrências acima dos 5 defeitos.

Igualmente, vai-se considerar, que com esta informação, servirá de suporte para futuras investigações sobre as causas das falhas.

6.2.8 Percentagem das falhas detetadas no cliente por RPN.

Qualquer falha identificada no FMEA, que a posteriori essa mesma falha manifesta-se no cliente, deve ser foco de atenção, e deve ser feita uma análise com detalhe . Pois, nestes casos, existiram certamente erros durante a execução do FMEA, que devem ser identificados e corrigidos.

Neste trabalho, não é objeto de estudo a análise das causas desses erros. No entanto, vamos incluir neste estudo, a caracterização das falhas encontradas no cliente quanto ao seu nível de RPN, durante a sua identificação no FMEA. Com esta informação, será um dado básico importante para futuras investigações sobre as causas destes desvios.

Assim, começamos com a informação genérica da quantidade de falhas identificadas durante as primeiras edições do FMEA relativamente ao seu RPN. Assim, com os dados recolhidos, são apresentados na tabela 24, dos três produtos, a distribuição das falhas identificados por RPN.

Tabela 24 - Falhas identificadas no FMEA por RPN

	PFMEA X (vermelho)	PFMEA Y (verde)
0-39	6 (5%)	26 (16%)
40-99	68 (45%)	99 (60%)
100+	75 (50%)	40 (24%)
TOTAL	149	165

Começando por analisar individualmente, da tabela verificamos que, no produto X, em 149 falhas, 75 casos (50%) foram identificadas com um RPN de valor superior a 100, seguido do 68 casos (45%) com RPN entre 40 a 99, e 6 casos (5%) para um valor de RPN entre 0-39.

No produto Y (verde), em 165 falhas, 40 casos (24%) foram identificadas com um RPN de valor superior a 100, seguido do 99 casos (60%) com RPN entre 40 a 99, e 26 casos (16%) para um valor de RPN entre 0-39.

Diante dos dados apresentados, no caso do produto X (vermelho), uma grande parte das falhas apresentavam valores de RPN acima dos 100 pontos. No caso dos produto Y (verde), as falhas concentraram-se entre os valores intermédios entre 40 a 99. Constata-se que existe um perfil diferente entre estes produtos, apesar de serem produtos semelhantes. No produto X (vermelho), indica-nos que uma grande parte as falhas identificadas tinham um índice de criticidade elevado, e no caso do produto Y (verde), as falhas identificadas estavam numa zona de criticidade mediana, em que as ações existentes seriam suficientes.

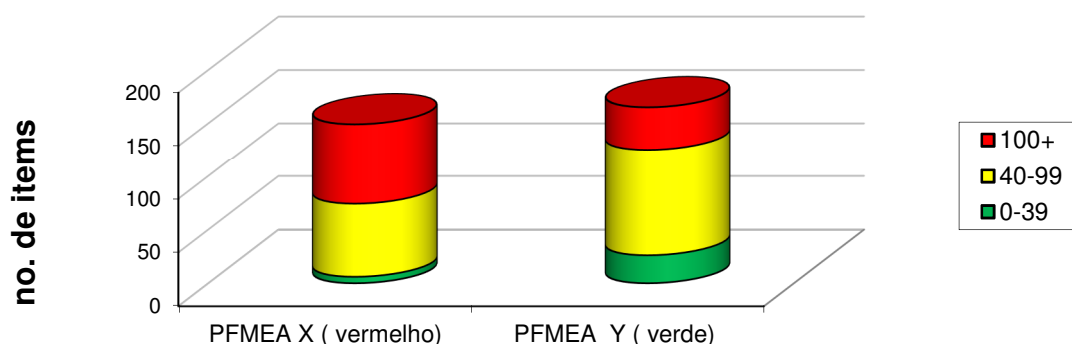


Figura 40 - Falhas identificadas no FMEA e o seu RPN

Na tabela 25 são apresentados das falhas verificadas no cliente que tinham sido identificadas no FMEA. No produto X (vermelho), em 11 falhas, 9 casos (82%) foram identificadas com um RPN de valor superior a 100, seguido com 2 casos (18%) com RPN entre 40 a 99, e o casos (0%) par um valor de RPN entre 0-39.

No produto Y (verde), em 9 falhas, 4 casos (44%) foram identificadas com um RPN de valor superior a 100, seguido do 4 casos (44%) com RPN entre 40 a 99, e 1 casos (11%) para um valor de RPN entre 0-39.

Tabela 25 - Percentagem das falhas detetadas no cliente por RPN

RPN	PFMEA X (vermelho)	PFMEA Y (verde)
0-39	0 (0%)	1 (11%)
40-99	2 (18%)	4 (44%)
100+	9 (82%)	4 (44%)
TOTAL	11	9

Diante dos dados apresentados, podemos confirmar que nos dois produtos, existe uma predominância para as falhas que tinham sido identificadas durante o FMEA e apareceram no cliente, terem uma criticidade de risco alto ou média. Verificando-se que no caso do produto X (vermelho), a criticidade predominante é a alta. No caso do produto Y (verde), as falhas ficaram distribuídas entre os dois níveis alto e médio. No entanto, só no produto Y (verde), surgiram no cliente algumas falhas, 11% (1 caso), que tinha sido classificada com um RPN baixo.

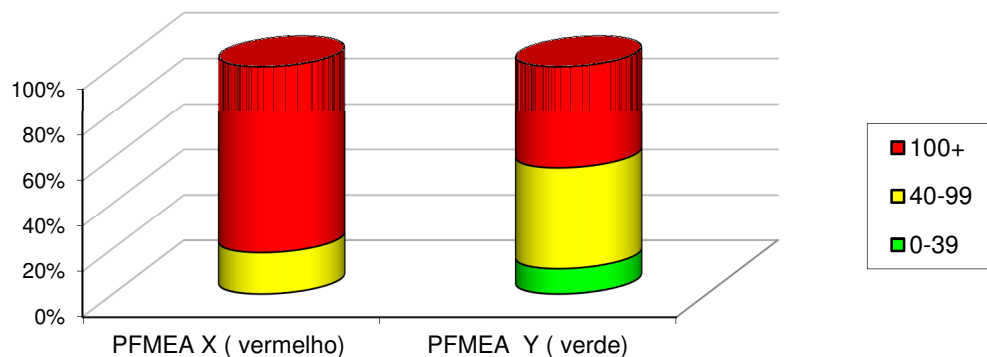


Figura 41 - Falhas identificadas no FMEA e detetadas no cliente e o seu valor de RPN

6.2.9 Análise de Pareto por categoria das falhas no cliente

Nesta seção, são demonstradas as categorias das falhas verificadas no cliente. Qualquer falha está sempre ligada a uma causa específica, que pode ser associada a uma determinada categoria, ou seja, podemos catalogar as falhas, como exemplo, uma falha foi devido a uma instrução de trabalho não cumprida ou o procedimento não é o mais adequado, e muitos outros.

A análise das causas das falhas não é objeto de estudo neste trabalho. No entanto, vamos incluir neste estudo para efeitos informativos, a catalogação das falhas e a análise de Pareto dessas categorias. Com esta informação, servirá de suporte para futuras investigações sobre as causas das falhas.

Assim, considerou-se a lista das categorias de base existentes:

- Manuseamento/armazenamento
- Equipamento inadequado/não ergonómico
- Capabilidade do processo
- Procedimentos/ Instrução inadequados
- Processo fora do controlo
- Procedimento/Instrução não foi cumprida
- Formação inadequada ou inexistente
- Falha no processo de contenção
- Ausência de processo de monitorização

No produto X (vermelho), no caso das falhas não identificadas, constatou-se que em 88% das falhas (21 casos), temos 50% (12 casos) que foram identificadas com a categoria de *manuseamento/armazenamento*, seguido de 25% (3 casos) com a categoria *equipamento inadequado*, e 13% (3 casos) para a categoria *Processo fora dos limites*.

Tabela 26 - Categorias das falhas não identificadas no FMEA do produto X (vermelho)

Falhas não identificadas no FMEA				
Categoria	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
Manuseamento/armazenamento	12	12	50%	50%
Equipamento inadequado	6	18	25%	75%
Processo fora dos limites	3	21	13%	88%
Procedimento/ instrução inadequado	2	23	8%	96%
Capabilidade do processo	1	24	4%	100%

No caso das falhas identificadas, constatou-se em 81% (9 falhas), 4 casos (27%) foram identificadas com a categoria de *Manuseamento/armazenamento*, seguido do 3 casos (27%) com a categoria *Instrução não foi cumprida*, e 3 casos (27%) para uma categoria *Equipamento inadequado*.

Tabela 27 - Categorias das falhas identificadas no FMEA do produto X (vermelho)

Falhas identificadas no FMEA				
Categoria	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
Manuseamento/armazenamento	3	4	27%	27%
Instrução não cumprida	3	6	27%	54%
Equipamento inadequado	3	9	27%	81%
Procedimento/ instrução inadequado	1	10	9%	100%
Capabilidade do processo	1	11	9%	100%

No produto Y (verde), no caso das falhas não identificadas, constatou-se que em 80% das falhas (12 casos), temos 33% (5 casos) que foram identificadas com a categoria de *procedimento/instrução inadequado*, seguido de 27% (4 casos) com a categoria *Capabilidade do processo*, e 20% (3 casos) para a categoria *Processo fora de controlo*.

Tabela 28 - Categoria das falhas não identificadas no FMEA do produto Y (verde)

Falhas não identificadas no FMEA				
Categoria	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
Procedimento/ instrução inadequado	5	5	33%	33%
Capabilidade do processo	4	9	27%	60%
Processo fora de controlo	3	12	20%	80%
Manuseamento/armazenamento	2	14	13%	93%
Equipamento inadequado	1	15	7%	100%

No caso das falhas identificadas, constatou-se em 78% (7 falhas), temos 3 casos (34%) foram identificadas com a categoria de *Equipamento inadequado*, seguido do 2 casos (22%) com a categoria *capabilidade do processo*, e 2 casos (22%) para uma categoria *Procedimento/instrução não cumprida*.

Tabela 29 - Categoria das falhas identificadas no FMEA do produto Y (verde)

Falhas identificadas no FMEA				
Categoria	Frequência Absoluta	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
Equipamento inadequado	3	3	34%	34%
Capabilidade do processo	2	5	22%	56%
Procedimento/ instrução não cumprida	2	7	22%	78%
Processo fora de controlo	2	9	22%	100%

7 Conclusões e futura investigação

7.1 Introdução

Neste capítulo pretendem-se sintetizar e destacar as conclusões mais relevantes desta dissertação. Em primeiro lugar, faz-se uma avaliação do cumprimento dos objetivos e dos resultados esperados, de acordo com o projeto inicial. Seguidamente, são expostas as principais limitações e dificuldades do tema em estudo. Por último, são sugeridas algumas propostas de melhoria e de trabalhos futuros a realizar.

Este trabalho iniciou com a proposta como objetivo principal a avaliação da eficácia da ferramenta do FMEA tendo como base a identificação dos modos de falhas e suas relações. No entanto, para chegar a este objetivo, ele foi desdobrado em três objetivos específicos. As conclusões serão apresentadas de acordo com os objetivos, começando com os objetivos específicos.

Conforme apresentado no Capítulo 1, o primeiro objetivo específico tratou-se de identificar o estado da arte do FMEA, em que foi conseguido por meio de uma revisão de literatura, que permitiu um amplo conhecimento sobre o FMEA, desde da sua importância como método até às suas mais básicas limitações e ineficácias. Além disso, complementando a

este objetivo específico, juntou-se a pesquisa de estudos efetuados sobre as dificuldades e limitações na utilização desta ferramenta, e encontrar formas de medir a eficácia do FMEA.

O segundo objetivo específico passou por conceber um modelo, identificar e parametrizar as variáveis, para medição da eficácia do PFMEA. Este modelo foi baseado na metodologia apresentada por Pollock [23], pelo que a validação do modelo não era objetivo deste trabalho.

O terceiro objetivo passou pela apresentação do modelo proposto e sua aplicação em casos de estudo, em que no capítulo 6, foram apresentados dois casos de estudo. Reunindo todos os dados obtidos nos dois casos de estudo e analisando a informação a eles inerentes, foi apresentado uma análise e uma comparação quantitativa, enfatizando suas semelhanças e diferenças. Com isso, conseguiu-se efetuar uma avaliação por produto e uma avaliação mais geral da eficácia do PFMEA da empresa. Assim, cumprindo com estes objetivos específicos, foi possível identificar os fatores mais críticos que influenciam a utilização da ferramenta em termos da eficácia na identificação dos modos de falha durante a aplicação do FMEA, ou seja o objetivo principal deste trabalho.

Com a aplicação do modelo aos casos de estudo, conseguiu-se compilar as seguintes conclusões.

Índice de capacidade por parâmetro

Este índice representa a quantidade de modos de falha identificados durante o FMEA versus a quantidade de falhas encontradas no cliente, ou seja quanto mais falhas diferenciadas forem identificadas durante o FMEA, maior será este valor, o que representa naturalmente menor a probabilidade de haver falhas no lado do cliente.

No caso de estudo 1, o produto X, classificado como vermelho, os índices de capacidade dos três parâmetros são sempre inferiores ao caso de estudo 2, ou seja do produto Y classificado como verde. O que demonstra estarem em concordância com os dados reais. No entanto, todos os índices de capacidade estão muito acima do valor dois, valor este como estipulado suficiente para se obter uma boa performance no FMEA, excetuando o do parâmetro efeito da falha no caso 1. O que significa que tanto para o produto X (vermelho) como para o produto Y (verde), a performance do FMEA relativamente aos parâmetros

isolados, modos de falha e causas da falha e efeitos da falha, é considerada positivos, exceto no parâmetro *efeitos da falha, no caso de estudo 1* que foi inferior ao valor 2.

Índice de impacto positivo e negativo por parâmetro e o seu valor global

Os valores dos impactos positivos são sempre superiores aos impactos negativos, com a exceção do parâmetro efeito da falha no caso 1, como já mencionado anteriormente. O que representa que a performance global do FMEA é considerada positiva nos dois casos.

No entanto, no caso 1, produto X (vermelho), o nível total de impacto positivo foi de 0,22, valor muito inferior ao do caso de estudo 2, produto X (verde), em que este atingiu um valor de 0,54, mais do dobro. Ainda no caso 1, o nível total de impacto negativo foi 0,024, valor mais alto do que no caso de estudo 2, este com um valor de 0,005, quase cinco vezes mais baixo. Confirma-se que a influência do impacto global negativo é superior no caso do produto vermelho e a influência de impacto global positivo é superior no caso do produto Y (verde) em relação ao caso do produto X (vermelho). Mais uma vez, vai ao encontro dos dados reais.

Falhas que foram identificadas e não foram identificadas no FMEA

Nos dois casos de estudo, as falhas encontradas no cliente possuem a mesma estirpe, ou seja, as falhas não tinham sido identificadas no *FMEA*, e a sua incidência em relação ao total de falhas encontradas no cliente, é aproximadamente 60%, nos dois casos de estudo, contra a um valor de 40% em que as *falhas tinham sido identificadas no FMEA e apareceram no cliente*. Dentro das falhas encontradas no cliente, a que mais se destaca são as *causas da falha não identificadas* e seguida do *efeitos da falha não identificados*.

Outro dado relevante, é que as *falhas que tinham sido identificadas durante o FMEA e apareceram no cliente*, tinham uma criticidade de risco alto ou média. Verificando-se que no caso do produto X (vermelho), a criticidade predominante é a alta, e no caso do produto Y (verde), as falhas ficaram distribuídas entre os dois níveis de criticidade alto e médio. Ou seja, o produto X (vermelho) seria classificado como um produto mais crítico, ou seja, um produto com mais probabilidade de ter níveis de rejeição mais elevados pelo cliente.

Categoria das falhas

Em relação às categorias das falhas, no caso 1, produto vermelho, as categorias indicam mais problemas na área do manuseamento/armazenamento e na categoria do *equipamento inadequado*, ou seja, falhas mais ao nível operacional. Já no caso 2, produto verde, as falhas enquadram-se nas categorias *Procedimento/instrução inadequado e na categoria da capacidade do processo, em que estas falhas estão mais relacionadas ao nível de sistema e estrutural*. Com estas informações, poderão certamente ajudar a analisar melhor as causas das falhas e a identificar as fraquezas do processo de modo a ser capaz de definir as melhores ações e evitando assim, reclamações no lado do cliente e custos associados.

De uma forma geral, a eficácia da ferramenta nesta empresa tem um valor positivo, no entanto pode-se sempre identificar as maiores fraquezas da aplicação da ferramenta por produto ou em termos genéricos da aplicação da ferramenta. Assim, neste casos de estudo podemos mencionar que se deve melhorar a análise das causas e definir melhor os efeitos da falha e validar as ações após de serem implementadas. Apesar da performance global da empresa ser classificada como positiva, não quer dizer que não exista possibilidades para identificar erros e fazer melhorias.

O facto *das falhas não identificadas* estarem em maioria, quer dizer que há oportunidades de melhoria na área do método de análise para identificar falhas potenciais, dando mais ênfase à análise das causas da falha e seus efeitos, como foi comprovado na análise de Pareto.

Relativamente, as *falhas identificadas no FMEA* e apareceram no cliente, outro impacto negativo, existe a necessidade de melhorias, que passaria por apostar em ferramentas para validar e garantir que as ações definidas que estão por detrás de cada falha são eficazes, de modo a evitar que elas aparecem no cliente.

7.2 Limitações do trabalho

A pesquisa de artigos e estudos que explorassem o assunto abordado neste trabalho não deu resultados extensos, devido aos poucos estudos publicados nesta área.

A dificuldade de análise e tratamento dos dados recolhidos das duas bases de dados, a base de dados da rejeição no cliente e a base de dados do FMEA. Principalmente, devido à dificuldade de emparelhar, agrupar e classificar os modos de falha entre as duas bases de

dados, pois a descrição das falhas como não está categorizada, acabou por constituir uma das tarefas mais trabalhosas de todo o processo.

A investigação baseou-se apenas a dois casos de estudo, amostra que se pode considerar pequena, o que, naturalmente, pode influenciar nos resultados finais.

Os casos de estudo envolveram unicamente uma empresa que é certificada segundo a norma ISO/TS16949, que certamente é uma grande vantagem, pois garantiu-se a experiência e o conhecimento ao nível das temáticas da Qualidade. Mas, por outro lado, não se teve a experiência de aplicação a organizações não certificadas, de modo a comparar dados e resultados e aprofundar e valorizar as conclusões.

7.3 Recomendações para futuras pesquisas

De acordo com as limitações do estudo já referidas, são de sugerir investigações posteriores sobre o mesmo tema, numa tentativa de ultrapassar essas limitações. Assim, de forma a complementar este trabalho, seguem-se algumas sugestões como:

- Alargar a amostra dos casos de estudo, de modo a incluir diferentes tipos de produtos desde dos mais simples aos mais complexos, e ainda, produtos com vários diferentes níveis de qualidade no cliente.
- Estender este mesmo estudo, para avaliar o DFMEA e avaliar a interação existente entre o DFMEA, PFMEA, falhas internas, e falhas externas no cliente.
- Expandir como objeto de estudo a organizações não certificadas de forma fazer um estudo de comparação entre duas organizações de níveis diferentes, assim enriquecer as conclusões.
- Incluir neste tipo de estudos, os custos associados a cada falha identificada e não identificada.
- Promover a normalização/harmonização das diferentes bases de dados de falhas.

Referências Bibliográficas

- [1] GARCIA, M.D., Uso integradodas técnicas de HACPP,CEP e FMEA, trabalho de conclusãodo curso de mestrado em Engenharia de produção, Porto Alegre, 2000.
<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/Marlise%20Dellamore%20Garcia.PDF>
- [2] PORTER, Michael E., Advantage Creating and Sustaining superior performance , with new introduction, 1985.
- [3] TOLEDO, J. C. de; AMARAL, D. C. Apostila (texto básico) sobre FMEA. GEPEQ – grupo de estudos e pesquisa em qualidade - DEP–UFSCar.:
www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf.
- [4] MOREIRA, A.Monografia apresentada na Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Química, do Departamento de Química da Universidade de Aveiro, dezembro2012
- [5] FORD FMEA Handbook 2004
- [6] MIL-STD1629A 24 NOVEMBER 1980 -MILITARY STANDARD PROCEDURES FOR PERFORMING A FAILURE MODE, EFFECTS AND CRITICALIiV ANALYSIS

- [7] Stamatis, D. H., “Failure mode and effect analysis FMEA from theory to execution”, ASQC, Quality Press, Milwaukee, 1995
- [8] PENTTI, H. e ATTE, H. Failure Mode and Effects Analysis of Software-Based Automation Systems. Editora: STUK, Finland, 2002.
<http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/softwarefmea.pdf>
- [9] MOURA, C. Análise de Modos e Efeitos de Falha Potencial (FMEA), Manual de Referência. SAE J-1739, 2000.
<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/Unidades%20Curriculares/Inova%C3%A7%C3%A3o/Textos%20apoio/FMEA.pdf>
- [10] NASA, National Aeronautics and Space Administration – Apollo Program, Procedure for Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA) (1966).. Disponível na internet: http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/19700076494_1970076494.pdf
- [11] Rozenfeld.H, QS9000 Disponível na internet
<http://engenharia.alol.com.br/joomla/content/view/187/64/>
- [12] International Standard Office, ISO 16949:2002, “Quality Management Systems”, 2ª Edição; março 2002
- [13] CAPALDO, Daniel; GUERRERO, Vander; ROZENFELD, Henrique; FMEA (Failure Model and Effect Analysis) (2006). Disponível na internet:
<http://www.ogerente.com.br/qual/dt/qualidade-dt-FMEA.htm>
- [14] CEI - IEC 60812, “Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effect analysis FMEA”, Geneva, 2006
- [15] CHRYSLER CORPORATION; FORD MOTOR COMPANY; GENERAL MOTORS CORPORATION. Potential failure mode and effect analysis, FMEA, 1993
- [16] DAILEY, K. W. The FMEA Pocket Handbook. DW Publishing Co.: 2004.
- [17] SAE International. Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA) and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA). Automotive Quality And Process Improvement Committee. 2002.
http://www.sae.org/technical/standards/J1739_200208

- [18] MACESKER, B., KUHANECK, S., MULLIGAN, M. et al. Principles of Risk-based Decision Making. 2. ed.: ABS Consulting. Tennessee, EUA. 2001
- [19] GONÇALVES.A.,” Um estudo de Implementação de FMEA sob ótica de gerenciamento de projeto”, dissertação de mestrado, com o requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica, Brasil, 2006
- [20] PFMEA Common Mistakes, Disponível na internet
<http://www.fmeainfocentre.com/handbooks.htm>
- [21] 10 Ways to Get More Value From Your FMEA, Disponível na internet
[http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/fmea_10_ways\[1\].pdf](http://www.fmeainfocentre.com/handbooks/fmea_10_ways[1].pdf)
- [22] Adaptado de documentos internos da empresa “ FIRMA”
- [23] Create a Simple Framework To Validate FMEA Performance
<http://www.fmeainfocentre.com/guides/gb-validate-fmea-performance.pdf>

Anexos

Anexo A1 – Ficha de avaliação dos produtos

Período de avaliação	12 meses		Projecto:	Produto Y																														
Fase de avaliação	<table border="1"> <tr><td>FTQ</td><td></td></tr> <tr><td>0 km</td><td>X</td></tr> <tr><td>MV3 meses</td><td></td></tr> <tr><td>MV6 meses</td><td></td></tr> <tr><td>MV9 meses</td><td></td></tr> <tr><td>MV12 meses</td><td></td></tr> <tr><td>MV24 meses</td><td></td></tr> </table>	FTQ		0 km	X	MV3 meses		MV6 meses		MV9 meses		MV12 meses		MV24 meses		<table border="1"> <tr><td>42</td><td>442493</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </table>	42	442493																
FTQ																																		
0 km	X																																	
MV3 meses																																		
MV6 meses																																		
MV9 meses																																		
MV12 meses																																		
MV24 meses																																		
42	442493																																	
A1. Dados dos MODOS DE FALHA no FMEA e no cliente																																		
Capabilidade dos Modos de falha			Capabilidade (CMF)																															
Número de modos de falha no PFMEA (MF1)	155	Número de modos de falha no FMEA e no cliente (MF4)	9	Capabilidade (CMF)	6,46																													
Número de modos de falha no cliente (MF2)	24	Número de modos de falha no cliente e não no FMEA (MF5)	15																															
Número de modos de falha no FMEA e não no cliente (MF3)	146	Número de modos de falha no cliente eo no FMEA (MF6)	170																															
A2. FMEA EFEITO CAPABILIDADE																																		
Capabilidade dos Efeitos da falha			Capabilidade (CEF)																															
Número de efeitos de falha no PFMEA (EF1)	44	Número de efeitos de falha no FMEA e no cliente (EF4)	5	Capabilidade (CEF)	2,93																													
Número de efeitos de falha no cliente (EF2)	15	Número de efeitos de falha no cliente e não no FMEA (EF5)	10																															
Número de efeitos de falha no FMEA e não no cliente (EF3)	39	Número de efeitos de falha no cliente e no FMEA (EF6)	54																															
A3. FMEA CAUSA CAPABILIDADE																																		
Capabilidade das causas da falha			Capabilidade (CCF)																															
Número de causas de falha no PFMEA (CF1)	172	Número de causas de falha no FMEA e no cliente (CF4)	7	Capabilidade (CCF)	7,17																													
Número de causas de falha no cliente (CF2)	24	Número de causas de falha no cliente e não no FMEA (CF5)	17																															
Número de causas de falha no FMEA e não no cliente (CF3)	165	Número de causas de falha no cliente e no FMEA (CF6)	189																															
B1. Identificação dos MODO DE FALHA no PFMEA																																		
Número de modos de falha no FMEA e no cliente (MF4)	9	B2. Identificação da EFEITO DA FALHA no PFMEA																																
Número de modos de falha no cliente e não no FMEA (MF5)	15	Nº de efeitos de falha no cliente e identificados no PFMEA (EF4)	5																															
% de modos de falha no cliente e identificados no PFMEA (MF7)	38%	Nº de efeitos de falhas no cliente e não identificados no PFMEA (EF5)	10																															
% de modos de falha no cliente e não identificados no PFMEA (MF8)	62%	% de efeitos de falha no cliente e identificados no PFMEA (EF6)	33%																															
% de modos de falha no cliente e não identificados no PFMEA (MF8)	63%	% de efeitos de falhas no cliente e não identificados no PFMEA (EF8)	67%																															
B3. Identificação da CAUSA no PFMEA																																		
Nº de causas das falhas no cliente e identificados no PFMEA (CF4)	7	Nº de modos falha identificados FA	0	0%																														
Nº de causas das falhas no cliente e não identificados no PFMEA (CF5)	17	Nº de modos falha não identificados FA	3	13%																														
% de causas das falhas no cliente e identificados no PFMEA (CF6)	29%	Nº de modos de falha identificados trim_CD_assy	8	33%																														
% de causas das falhas no cliente e não identificados no PFMEA (CF8)	71%	Nº de modos de falha não identificados trim_CD_assy	4	17%																														
		Nº de modos de falha identificados CT_SL	1	4%																														
		Nº de modos de falha não identificados CT_SL	4	17%																														
		Nº de modos de falha identificados Test/ Program/label	0	0%																														
		Nº de modos de falha não identificados Test/ Program/label	4	17%																														
C1. Índice de impacto negativo dos três parâmetros																																		
Índice de impacto negativo dos modos de falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF9)	0,05	Índice de impacto negativo dos Modos de falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF10)	0,09																															
Índice de impacto negativo dos efeitos da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF9)	0,09	Índice de impacto negativo dos efeitos da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF10)	0,19																															
Índice de impacto negativo das causas da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF9)	0,04	Índice de impacto negativo das causas da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF10)	0,09																															
C2. Índice de impacto negativo total																																		
Índice de impacto negativo total dos modos de falha (MF11)	0,14	C3. Nível total de impacto negativo (ineficiência) FMEA																																
Índice de impacto negativo total dos Efeitos da falha (EF11)	0,28	Nível total de impacto negativo (ineficiência) FMEA																																
Índice de impacto negativo total das Causas da falha (CF11)	0,13	0,003																																
C4. Índice de impacto positivo																																		
C5. Nível total de impacto positivo (eficiência) FMEA																																		
Índice impacto positivo dos modos de falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (MF11)	0,86	Nível total de impacto positivo (eficiência) FMEA																																
Índice impacto positivo dos efeitos da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (EF11)	0,72	0,54																																
Índice impacto positivo das causas da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (CF11)	0,87																																	
D. Modo de falha & eficiência das ações																																		
Nº de modos de falha identificados no PFMEA	9																																	
Nº de modos de falha no cliente mais de 5 defeitos e com RPN ≥ 100	0	0%																																
Nº de modos de falha no cliente com menos de 5 caso se com RPN ≥ 100	9	100%																																
E. Valor RPN Versus Modo de falha/causas no cliente																																		
Nº de modos de falha com RPN ≥ 100	81	Nº de modos de falha no cliente com RPN ≥ 100	4																															
% de modo de falha no PFMEA com RPN ≥ 100	47%	% de modo de falha no cliente com RPN ≥ 100	44%																															
Nº de modos de falha com 99 <RPN< 40	76	Nº de modos de falha no cliente com 99 <RPN< 40	4																															
% de modo de falha no PFMEA com 99 <RPN< 40	44%	% de modo de falha no cliente com 99 <RPN< 40	44%																															
Nº de modos de falha com RPN<39	9	Nº de modos de falha no cliente com RPN<39	1																															
% de modo de falha no cliente com RPN<100	5%	% de modo de falha no cliente com RPN<39	11%																															
F. Categoria dos Modos de falha																																		
Categoria dos modos de falha não identificados no FMEA	<table border="1"> <tr><td>Procedimento/instrução inadequado</td><td>5</td></tr> <tr><td>Capabilidade do processo</td><td>4</td></tr> <tr><td>Processo fora de controlo</td><td>3</td></tr> <tr><td>Manuseamento/armazenamento</td><td>2</td></tr> <tr><td>Equipamento inadequado</td><td>1</td></tr> </table>	Procedimento/instrução inadequado	5	Capabilidade do processo	4	Processo fora de controlo	3	Manuseamento/armazenamento	2	Equipamento inadequado	1	Categoria dos modos de falha identificados no FMEA	<table border="1"> <tr><td>Equipamento inadequado</td><td>3</td></tr> <tr><td>Capabilidade do processo</td><td>2</td></tr> <tr><td>Processo fora de controlo</td><td>2</td></tr> <tr><td>Procedimento/instrução não cumprida</td><td>2</td></tr> </table>	Equipamento inadequado	3	Capabilidade do processo	2	Processo fora de controlo	2	Procedimento/instrução não cumprida	2													
Procedimento/instrução inadequado	5																																	
Capabilidade do processo	4																																	
Processo fora de controlo	3																																	
Manuseamento/armazenamento	2																																	
Equipamento inadequado	1																																	
Equipamento inadequado	3																																	
Capabilidade do processo	2																																	
Processo fora de controlo	2																																	
Procedimento/instrução não cumprida	2																																	

Anexo A2–Ficha de avaliação do produto (vermelho)

Período de avaliação	12 meses		Projecto:	Produto X																					
Fase de avaliação	FTQ	X		76	379060																				
	0 km																								
	M+3 meses																								
	M+6 meses																								
	M+9 meses																								
M+12 meses																									
M+24 meses																									
A.1. Dados dos MODOS DE FALHA no FMEA e no cliente																									
Capabilidade dos Modos de falha																									
Número de modos de falha no PFMEA (MF1)	149	Número de modos de falha no FMEA e no cliente (MF4)	11	Capabilidade (CMF)	4,26																				
Número de modos de falha no cliente (MF2)	35	Número de modos de falha no cliente e não no FMEA (MF5)	24																						
Número de modos de falha no FMEA e não no cliente (MF3)	138	Número de modos de falha no cliente e no FMEA (MF6)	173																						
A.2. FMEA EFETO CAPABILIDADE																									
Capabilidade dos Efeitos da falha																									
Número de efeitos de falha no PFMEA (EF1)	25	Número de efeitos de falha no FMEA e no cliente (EF4)	10	Capabilidade (CEF)	0,86																				
Número de efeitos de falha no cliente (EF2)	29	Número de efeitos de falha no cliente e não no FMEA (EF5)	19																						
Número de efeitos de falha no FMEA e não no cliente (EF3)	15	Número de efeitos de falha no cliente e no FMEA (EF6)	44																						
A.3. FMEA CAUSA CAPABILIDADE																									
Capabilidade das causas da falha																									
Número de causas de falha no PFMEA (CF1)	166	Número de causas da falha no FMEA e no cliente (CF4)	3	Capabilidade (CCF)	4,74																				
Número de causas de falha no cliente (CF2)	35	Número de causas de falha no cliente e não no FMEA (CF5)	32																						
Número de causas de falha no FMEA e não no cliente (CF3)	163	Número de causas de falha no cliente e no FMEA (CF6)	198																						
B.1. Identificação dos MODO DE FALHA no PFMEA			B.2. Identificação da EFETO DA FALHA no PFMEA																						
Número de modos de falha no FMEA e no cliente (MF4)	11	Nº de efeitos de falha no cliente e identificados no PFMEA (EF4)	3																						
Número de modos de falha no cliente e não no FMEA (MF5)	24	Nº de efeitos de falhas no cliente e não identificados no PFMEA (EF5)	19																						
% de modos de falha no cliente e identificados no PFMEA (MF7)	3%	% de efeitos de falha no cliente e identificados no PFMEA (EF6)	3%																						
% de modos de falha no cliente e não identificados no PFMEA (MF8)	69%	% de efeitos de falhas no cliente e não identificados no PFMEA (EF8)	66%																						
B.3. Identificação da CAUSA no PFMEA																									
Nº de causas das falhas no cliente e identificados no PFMEA (CF4)	3	Nº de causas da falha identificados FA	1	3%																					
Nº de causas das falhas no cliente e não identificados no PFMEA (CF5)	32	Nº de causas da falha não identificados FA	14	40%																					
		Nº de causas da falha identificados trim_CD_assy	0	0%																					
		Nº de causas da falha não identificados trim_CD_assy	3	9%																					
		Nº de causas da falha identificados ICT_SL	2	6%																					
		Nº de causas da falha não identificados ICT_SL	13	37%																					
% de causas das falhas no cliente e identificados no PFMEA (CF6)	9%	Nº de causas da falha identificados Test/ Program/label	0	0%																					
% de causas das falhas no cliente e não identificados no PFMEA (CF8)	91%	Nº de causas da falha não identificados Test/ Program/label	2	6%																					
C.1. Índice de impacto negativo dos três parâmetros																									
Índice de impacto negativo dos modos de falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF9)	0,06	Índice de impacto negativo dos Modos de falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (MF10)	0,14																						
Índice de impacto negativo dos efeitos da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF9)	0,07	Índice de impacto negativo dos efeitos da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (EF10)	0,43																						
Índice de impacto negativo das causas da falha identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF9)	0,02	Índice de impacto negativo das causas da falha não identificados no FMEA e apareceram no cliente (CF10)	0,16																						
C.2. Índice de impacto negativo total																									
Índice de impacto negativo total dos modos de falha (MF11)	0,20																								
Índice de impacto negativo total dos Efeitos da falha (EF11)	0,50	Nível total de impacto negativo FMEA	0,02																						
Índice de impacto negativo total das Causas (efeitos da falha) (CF11)	0,18																								
C.3. Índice de impacto positivo																									
Nível de eficiência FMEA																									
Índice impacto positivo dos modos de falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (MF12)	0,80																								
Índice impacto positivo dos efeitos da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (EF12)	0,34	Nível total de impacto positivo FMEA	0,22																						
Índice impacto positivo das causas da falha identificados no FMEA e não apareceram no cliente (EF12)	0,82																								
D. Modo de falha & eficiência das ações																									
Nº de modos de falha identificados no PFMEA	11																								
Nº de modos de falha no cliente mais de 5 defeitos	2	18%																							
Nº de modos de falha no cliente com menos de 5 casos	9	82%																							
E. Valor RPN Versus Modo de falha/causas no cliente																									
Nº de modos de falha com RPN ≥ 100	81	Nº de modos de falha no cliente com RPN ≥ 100	9																						
% de modo de falha no PFMEA com RPN ≥ 100	49%	% de modo de falha no cliente com RPN ≥ 100	82%																						
Nº de modos de falha com 99 >RPN≥ 40	76	Nº de modos de falha no cliente com 99 >RPN≥ 40	2																						
% de modo de falha no PFMEA com 99 >RPN≥ 40	46%	% de modo de falha no cliente com 99 >RPN≥ 40	18%																						
Nº de modos de falha com RPN<39	9	Nº de modos de falha no cliente com RPN<39	0																						
% de modos de falha no cliente com RPN<100	5%	% de modo de falha no cliente com RPN<39	0%																						
F. Categoria dos Modos de falha																									
Categoria dos modos de falha não identificados no FMEA	<table border="1"> <tr><td>Manuseamento/ armazenamento</td><td>12</td></tr> <tr><td>Equipamento inadequado</td><td>6</td></tr> <tr><td>Processo fora do especificado</td><td>3</td></tr> <tr><td>Procedimentos inadequados</td><td>2</td></tr> <tr><td>Design do processo</td><td>1</td></tr> </table>		Manuseamento/ armazenamento	12	Equipamento inadequado	6	Processo fora do especificado	3	Procedimentos inadequados	2	Design do processo	1	Categoria dos modos de falha identificados no FMEA	<table border="1"> <tr><td>Manuseamento/ armazenamento</td><td>3</td></tr> <tr><td>Instrução não foi cumprida</td><td>3</td></tr> <tr><td>Procedimentos inadequados</td><td>3</td></tr> <tr><td>Processo fora dos limites</td><td>1</td></tr> <tr><td>Equipamento inadequado</td><td>1</td></tr> </table>		Manuseamento/ armazenamento	3	Instrução não foi cumprida	3	Procedimentos inadequados	3	Processo fora dos limites	1	Equipamento inadequado	1
Manuseamento/ armazenamento	12																								
Equipamento inadequado	6																								
Processo fora do especificado	3																								
Procedimentos inadequados	2																								
Design do processo	1																								
Manuseamento/ armazenamento	3																								
Instrução não foi cumprida	3																								
Procedimentos inadequados	3																								
Processo fora dos limites	1																								
Equipamento inadequado	1																								

Anexo B1– Lista das falhas no cliente e no FMEA e suas relações do produto Y (verde)

Item	Customer data					PFMEA	Customer	PFMEA								
	Processo	Efeito da falha	Número de falhas	Identif	Modo de falha	Identif.	Causa	Categoria	RPN	OD	OC	Det	Ações	OC	Det	OD
1	Trim_Assy	Display illuminated but shows no characters	2	Y	IC PROM with wrong sequence of function test.	Y	ESD	Equipamento inadequado	384	6	8	8	D23 P56	2	8	
2	Trim_Assy	CD ROM Failure.	1	Y	The root-cause for this failure is an incorrectly assembled ZF cable	Y	ZF_CD_FA	Procedimento/ Instrução não cumprida	96	6	4	4	P58 P90			
3	FA	The display is illuminated but shows no characters.	1	N	One contact of the main ZF cable from Display was damaged	N	ZF_Display_damaged	Procedimento/ Instrução inadequado								
4	TEST	Wrong Partnumber in EEPROM	1	N	The radio has the ROM defaults in EEPROM ROM default of Customer Part Number	N	SW_TEST	Capabilidade do processo								
5	Trim_Assy	Rattling Keys	1	N	The rattling noise was provoked by the key 5 due to be was slightly loose.	N	Mechanism of failure occurrence is a guide pin deformed from trimplate	Manuseamento/armazenamento								
6	TEST	Wrong Serialnumber	3	N	The bad radio was reprogrammed for the second time with the data of other radio	N	SW_TEST	capabilidade do processo								
7	Trim_Assy	Display is illuminated but no characters are shown. No DTC entries.	7	Y	Display damaged by ESD.	Y	ESD	Equipamento inadequado	384	6	8	8	D77 P85	2	8	16
8	CD_Assy	Rattling Noise	1	Y	Missing two screws at support CDC mechanism.	N	screw CDC 89	capabilidade do processo	6	6	1	1	P101			
9	FA	Colour failure in display.	1	N	The Display foil was damaged during the assembly of trimplate into the chassis of the radio.	N	Foil display damaged	Procedimento/ Instrução inadequado								
10	TEST	Antenna Interruption	1	N	Loose screw from trimplate inside the radio.	N	Screw inside_TRIM	Procedimento/ Instrução inadequado								
11	ICT_SL	The radio does not respond to diagnosis	3	N	Internal Fuse 756 was open.	N	ICT 23	capabilidade do processo								
12	ICT_SL	VW End of line test shows antenna problem. Verified by CSE. Additionally a loose part can be	1	N	Solder ball at main board that it was created a short circuit between E120 (territe) and the ground.	N	WAVE solder	Processo fora de controle								

Item	Customer data					PFMEA	Customer	PFMEA								
	Processo	Feito da falha	Número de falhas	Identif	Modo de falha	Identif	Causa	Categoria	RPN	OD	OC	Det	Ações	OC	Det	OD
13	CD_Assy	Rattling Noise	1	Y	Found a not fully seated screw in the CD bracket Problem is due to an over bonding of the CD drive holder during screwing phase	N	Screwing 29	Equipamento inadequado	48	6	2	4	P103 D101 D109			
14	FA	Rattling Noise	1	N	The 4 top latches were bonded. Material is not robust enough and it can bond with some preses applied at top cover or during the assembly line.	N	Cover 12	Procedimento/Instrução inadequado								
15	Trim_Assy	Missing segments (horizontal part) on the display.	2	N	Straps were difficult to close	N	ZIF_display damaged tool	Equipamento inadequado								
16	TEST	Antenna short circuit	4	N	Antenna calibration problem, no correct calibration done.	N	SW_TEST_prog 33	Procedimento/Instrução inadequado								
17	ICT_SL	Single wire inside	2	N	Solder rest between two pins 15 (CAN L) and 16 (THEFT_SENSE) of connector base.	N	SL_Wave 12	Processo fora de controle								
18	ICT_SL	Volume no function	1	N	Solder rest between two pins of encoder.	N	SL_Wave 21	Processo fora de controle								
19	ICT_SL	Rattling Noises	2	Y	missing or circuit lower shielding was less than 50 μm thickness.	Y	ICT_clinch	Processo fora de controle	162	6	3	9	P303 P305 D96 P901 P401 D99	2	4	48
20	Trim_Assy	Deflect Display	2	Y	The display foil was properly inserted but the connectors were	Y	ZIF_Display 39	Procedimento/Instrução não cumprida	96	6	4	4	P45			
21	Trim_Assy	Buttons partly no function	1	Y	The cable that it is connecting to the service board was not fully inserted.	Y	connector_not connected	Processo fora de controle	96	6	4	4	P45			
22	Trim_Assy	Volume Knob wobbly	1	Y	Knob assy1	Y	assy_knob	capabilidade do processo	128	4	4	8	P67	2	4	8
23	Trim_Assy	Display defect	1	N	Chip capacitor defective	N	ESD	Manuseio/método/armazenamento								
24	Trim_Assy	Loose Screw	1	N	Loose screw inside the radio.	N	Screwing 44	capabilidade do processo								

Anexo B2– Lista das falhas no cliente e no FMEA e suas relações do produto X (vermelho)

Item	Customer data				PFMEA	Customer	PFMEA										
	Processo	Efeito da falha	Número de falhas	Identif	Modo de falha	Identif	Causa	Categoria	RPN	OD	OC	Det	Ações	OC	Det	OD	
1	Test	Duplicated number	1	N	A different radio than the one that was originally read by the testing system.	N	SW test; there is the remote possibility of the claimed radio has been removed.	Capabilidade do processo									
2	ICT/SL	Radio antenna short to ground	6	Y	Creating excess of solder.	N	Solder wave special cause, created a disturbance in the chip wave.	Processo fora dos limites	96	6	8	2	P05				
3	FA	Sometimes no sound	3	Y	Opened J18 connector (ZF) with flip lock.	N	Connector was incorrectly closed	Instrução não cumprida	378	6	7	9	P34				
4	FA	Navigation - CD-ROM drive not	1	Y	Several damaged components (on the CD mechanism PCB).	N	Assembly process to an incorrect handling.	manuseamento/ armazenamento	216	6	6	6	P55				
5	Tem Assy	Knob ON / OFF turns eccentric	1	N	Volume knob is not fully inserted in the encoder head.	N	Pressure parameters in the press tool	Processo fora dos limites									
6	ICT/SL	no display content	1	Y	Display connector incorrectly assembled.	N	Work Instruction was incorrect	Procedure/Work Instruction/Visual Aid was incorrect/inadequate	216	6	6	6	D23				
7	ICT/SL	FM radio-activated sound on / off	1	N	Wave solder short in tuner pins.	N	Wave Solder process limitations.	Processo fora dos limites									
8	Test	Part number is wrong	2	N	When processing the data from the MPI (manufacturing program file), an extra character was created.	N	Labeling programming station SW with a bug identified	Procedimento inadequado									
9	ICT/SL	Mechanical noise.	1	N	Space between bond edge and cover is small this results in noise when vibrated!	N	Amplifier board is cutted by frazer, which results in variation	Processo fora dos limites									
10	FA/ICT_SL	No communication with VAS	5	N	Broken solders under Jacirto BGA.	n	Handling XX	manuseamento/ armazenamento									
11	Tem Assy	Main knob is (screw) loose	1	N	Main encoder nut is missing. However, if the screwing operation fails and the operator do a "Reset" the trimplate will go to the next work place: leak point. Reset option was disabled.	N	Screwing operation fails and the operator do a "Reset".	Procedure/Work Instruction/Visual Aid was incorrect/inadequate									
12	ICT/SL	DAB digital radio connection defect	1	Y	DAB antenna connector incorrectly assembled.	Y	Assembly was not error proofed	Procedure/Work Instruction/Visual Aid was incorrect/inadequate	90	6	3	5	P88				
13	ICT/SL	Black screen local bus defective	1	N	Damaged E42 coil (bottom side close to Jacirto processor).	N	Handling YY	manuseamento/ armazenamento									
14	FA	Foreign body rattles in part	1	Y	Lost screw inside radio (vibrablock).	N	Manual cover to protect the product	Instrução não cumprida	150	6	5	5	P91				
15	ICT/SL	Unit no communication	13	N	Damaged resistor R77 in MOST circuit.	N	Wave soldering jigs have been modified.	Test equipment inadequate									
16	ICT/SL	Speaker front left interruption	1	N	Damaged component C22	N	Handling ZZ	manuseamento/ armazenamento									
17	FA	Microphone interruption left	1	N	Damaged the main PCB	N	Incorrect process test kit used for radio testing: kit from VOLVO / RENAULT have bigger fixation pins	Test equipment inadequate									

Item	Customer data					PFMEA	Customer	Categoria	PFMEA								
	Processo	Efeito da falha	Número de falhas	Identif	Motivo da falha				RPN	OD	OC	Det	Ações	OC	Det	OD	
18	ICT/SL	SD Card not readable,	1	N	Damaged resistor R16 in SD CARD PCB.	N	SD CARD process trays	manuseamento/ armazenamento									
19	FA	SD-CARD READER NO FUNCTION	1	Y	ZIF connector J1 that connects SD CARD to main board open. Stated in the FFC foot print, connector was never closed.	Y	Standard work not completed	Instrução não cumprida	384	6	8	8	P300				
20	ICT/SL	Display function	1	N	Damaged SMD coil E45	N	Handling XY	manuseamento/ armazenamento									
21	ICT/SL	Connection to impedance converter interrupted	2	N	Capacitor C 532 was ripped off (damaged) by mechanical impact due to incorrect handling, with extensive plan for improve PCB handling.	N	Handling	manuseamento/ armazenamento									
22	FA	Unit not key blocked	1	Y	ZIF connector with flip lock indicator is opened. Connector was correctly assembled, marked but "became" open.	N	Handling YZ	manuseamento/ armazenamento	236	6	6	6	P120				
23	FA	High and deep tone speaker interrupted	1	Y	The cover that conducts the screw needed to be adjusted.	N	screwing jig	Equipamento inadequado	150	6	5	5	P201				
24	Test Assy	SD-Card not recognized	1	N	Damaged component R16	N	Sub-assembly trimplates t in WP3 in FA	Test equipment inadequate									
25	FA/ICT_SL	No communication with WAS and no Most.	1	N	Resistor R500 in MOST circuit is in open status.	N	Handling	manuseamento/ armazenamento									
26	ICT/SL	Sometimes not to be switching on, intermittent failure	1	N	flashes moved 3 mm to the inside area -	N	Handling	manuseamento/ armazenamento									
27	FA	SD card not readable	6	Y	FFC that connects SD CARD was pushed out of the ZIF connector.	N	Handling	manuseamento/ armazenamento	384	6	8	8	P211				
28	ICT/SL	Interruption of optical data bus	1	N	Wipped C265 + C262 in MOST circuit.	N	JIG ZZ	manuseamento/ armazenamento									
29	ICT/SL	GPS_RECEIVER_NO SIGNAL	1	N	Resistor R8 damaged in the turner PCB	N	Handling	manuseamento/ armazenamento									
30	FA	STATSCH DISPLAY BLACK	4	N	component R200 in the resistive value.	N	Handling	manuseamento/ armazenamento									
31	FA/ICT_SL	activation for Navigation not ok	2	N	Damaged Q199.	N	Handling	manuseamento/ armazenamento									
32	FA	Fan doesn't work intermittent	1	N	Broken solder of the J9 connector pins. D	N	JIG YY	Test equipment inadequate									
33	ICT/SL	After switching on only 10 sec. after it no function.	4	Y	Pin 1 of the MDST shielding not inserted in PCB (ident).	Y	Asy XX	Procedure/Work Instruction/Visual Aid was incorrect/inadequate	240	6	10	4	P235				
34	FA	Fan doesn't work	1	N	the damage on the connection cables.	N	JIG_asy	Test equipment inadequate									
35	FA	Speaker rear left no sound	1	N	damaged CS chip resistor on the amplifier circuit (side pcb).	N	A metal flap was integrated in the jig (work post 5)	Test equipment inadequate									

Texto escrito conforme o Acordo Ortográfico