



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Sónia da Silva Araújo

**Melhoria dos processos de montagem de componentes eletrónicos aplicando *Lean Six Sigma* e TRIZ numa empresa de componentes para a indústria automóvel**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

Setembro de 2020

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição**

**CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## AGRADECIMENTOS

Nesta dissertação cabem muitas histórias. Cabem percalços, cabem sucessos, cabem momentos de frustração, mas também de concretização. Cabem horas de *brainstorming*, cabem horas de redefinir, horas de desafiar, momentos de desanuviar também. Nesta tese cabem pessoas. E eu, que vou tendo sorte, tenho vindo a colecionar umas quantas mãos de pessoas boas nesta vida.

Antes de mais, agradecer ao Miguel, que fez a história começar ao levar-me exatamente para o sítio onde viria a sentir-me em casa. Pela liberdade e confiança, obrigada. Ao Lopes, ao Roque e ao Esteves, três líderes distintos, que me deram um palco. E deixaram-me usufruir dele de todas as formas possíveis. À equipa do projeto das *foil*, os oito maravilhosos que estão por detrás das cortinas deste palco. Aos restantes com quem fui trabalhando em projetos paralelos, e que, de alguma forma, adicionaram. Que a vida nos volte a juntar noutro palco por aí e que usufruamos dele, como o fizemos com este.

À professora doutora Anabela Alves. Pelo profissionalismo, dedicação, entrega. Pelo sem fim de correções, pelo desafio, pelo exemplo, por não passar nesta vida de leve. Obrigada.

Aos pais! À irmã. Aos meus. Os que têm vindo a fazer acontecer. Que vêm limando as minhas arestas, que me fazem manter os pés na terra, lembrando, todos os dias, que desta vida levamos tanto quanto nos comprometemos a levar. Os que me ensinam a ter palavra e valores. Este trabalho é também vosso. Muito obrigada.

Ao que me acompanha em todas as fases e aventuras, Zé Rui. Amigo e amor. E que fase esta! Obrigada, obrigada, obrigada.

Aos amigos que partilharam esta fase comigo. Um brinde a nós!

Sou muito grata por fazerem parte disto. Nesta dissertação só cabem realmente coisas boas.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

A presente dissertação, enquadrada no curso de Mestrado Integrado de Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho, teve como propósito melhorar os processos de montagem da *foil*, componente eletrónico, aplicando *Lean Six Sigma* e TRIZ, numa empresa de componentes para a indústria automóvel. O projeto surgiu da necessidade de reduzir os defeitos de produtos, devido à montagem do componente *foil*.

A metodologia de investigação utilizada foi a *Action-Research*, cuja primeira etapa consiste no diagnóstico da situação atual. Para tal, recorreu-se a várias ferramentas, tais como, *Project Charter*, análise exploratória de dados, diagrama de *Ishikawa*, mapeamento de processo, *Gage R&R*, entre outras. Através das mesmas, foi possível caracterizar os tipos de defeitos associados às *foils*, e averiguar as causas raízes de cada uma delas. Foi, ainda, possível apurar que se tratava de um dos quinze problemas mais críticos da empresa, somando um prejuízo de 156 189UM em 2019.

Foram apresentadas seis propostas de melhorias, sendo que quatro delas passariam pela redefinição do conceito/design da montagem de *foils* alicerçada na metodologia TRIZ: substituição de *Flexible Flat Cables* (FFC), uso do conector com dois pontos de contacto, inspeção com robot, e montagem automática. As duas restantes seriam o curso de montagem de *foils* e a padronização da coleta de dados. A padronização da coleta de dados veio permitir uma poupança na ordem dos 99,3% de tempo gasto a reunir dados, maior coerência e consistência de dados. O curso de montagem de *foils* permitiu que cerca de 40% dos formandos se tornasse apto para desempenhar o posto, contribuindo para uma redução de defeitos e, conseqüentemente, de custos. O conector com dois pontos de contacto provou reduzir cerca de 0,2% de Defeitos Por Milhão de Oportunidade (DPMO), que representou uma poupança de 49 029,80UM, no tempo de vida útil do produto. A substituição da *foil* FFC evidenciou uma redução de defeitos de cerca de 50%. A montagem automática eliminaria a margem de erro humano no processo, geraria poupanças de cerca de 64 702,1UM no tempo de vida de um produto e reduziria em cerca de 83% os defeitos por milhão de oportunidade. A avaliação de resultados foi feita através dos valores obtidos em cada uma das provas de conceito e tem continuidade no tempo, através da melhoria contínua.

**Palavras-Chave:** Defeito, *Lean Six Sigma*, Qualidade, TRIZ

## **ABSTRACT**

The current dissertation, part of the Integrated Master on Industrial Engineering and Management course at University of Minho, aimed to Improve an electronic component, foil, assembly, in an automotive industry background, supported by Lean Six Sigma and TRIZ methodologies. This project was raised due to the high rejection rate of products because of its foils connection.

The investigation methodology used was the *Action-Research*, in which the first stage is the diagnoses of the current situation. To reach that, many tools were used, such as, Project Charter, exploratory data analysis, Ishikawa diagram, process mapping, Gage R&R, etc. With those, it was possible to distinguish the different type of defects related to foils, and to reach the root cause of each one of those. Furthermore, it was possible to ascertain that foils damaged was one of the top 15 Bosch critical defects, adding up a total of 156 189€ loss.

Six improvements were elaborated. From those, four of them would establish a redefinition of foils assembly concept/design: replacement of Flexible Flat Cables, use of two point contact connector, robot inspection and automatic assembly. The other two would be the creation of a foils assembly course and the standardization of data collection.

The standardization of data collection enabled a saving of 99,3% of the time invested on collecting data, and more consistency of data Reports. The foils course enabled about 40% of the trainees to perform foils assembly, reducing foils defects and its related costs. The two point contact connector showed a reduction of 0,2% os defects per million of opportunities (contamination defects). This percentage would represent a saving of 49 029,80€ in the product lifecycle time. The replacement of the FFC foil pointed out a reduction of 50%. The automatic assembly would eliminate the human margin of error, it would create a saving of 64 702,1€ in a product lifetime and it would reduce defects per million of opportunities by 83%. The evaluation of each one of the improvements were done based on the cost/benefit analysis results and will be continued along with time, through continual improvement.

## **KEYWORDS**

Defect, Lean Six Sigma, Quality, TRIZ

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de investigação.....	4
1.4 Estrutura de dissertação.....	6
2. Revisão Bibliográfica.....	8
2.1 <i>Lean Production</i> .....	8
2.1.1 Origens.....	8
2.1.2 Casa TPS.....	11
2.1.3 Requisitos para implementação do <i>Lean Production</i> .....	13
2.1.4 Conceito de desperdício e os tipos de desperdício.....	14
2.1.5 Princípios <i>Lean Thinking</i> .....	16
2.2 Gestão da Qualidade.....	17
2.2.1 Definição do processo.....	19
2.2.2 Modelo de gestão da qualidade – Trilogia de Juran.....	20
2.2.3 Custos da qualidade.....	21
2.2.4 Melhoria Contínua.....	24
2.3 <i>Lean Six Sigma</i> .....	27
2.3.1 <i>Six Sigma</i> .....	28
2.3.2 Integração <i>Lean</i> com <i>Six Sigma</i> .....	30
2.3.3 Indicadores de desempenho.....	32

2.3.4 Ferramentas que suportam o <i>Lean Six Sigma</i> .....	32
2.3.5 Impacto do <i>Lean Six Sigma</i> e os fatores de sucesso .....	33
2.4 Metodologia TRIZ.....	34
3. Apresentação da Empresa .....	37
3.1 Bosch no Mundo .....	37
3.2 História .....	37
3.3 Bosch em Portugal .....	39
3.4 Bosch Car Multimedia em Braga.....	39
3.4.1 Área técnica .....	40
3.4.2 Área comercial .....	40
3.5 Bosch <i>Production System</i> .....	41
4. Descrição e análise crítica da situação atual da Montagem de <i>Foil</i> .....	42
4.1 Apresentação do projeto e do componente em estudo.....	42
4.2 Análise crítica e identificação de problemas .....	46
4.2.1 Análise de defeitos e orientação do projeto.....	46
4.2.3 Defeito “ <i>Lifted Pads</i> ” .....	55
4.2.4 Defeito <i>Broken Pads</i> .....	65
4.2.5 Defeito <i>Foil</i> mal montada .....	74
4.3 Síntese de Problemas .....	85
5. Apresentação e implementação de propostas de melhoria .....	86
5.1 Padronização da coleta de dados.....	87
5.1.1 <i>Improve</i> .....	87
5.1.2 <i>Control</i> .....	91
5.2 Curso de Montagem de <i>Foil</i> .....	91
5.2.1 <i>Improve</i> .....	91
5.2.2 <i>Control</i> .....	98
5.3 Redefinição do conceito/design da montagem de <i>foils</i> através da metodologia TRIZ .....	98
5.3.1 Robustez das peças: Substituição das <i>foil</i> FFC .....	100
5.3.2 Robustez das peças: Conector com dois pontos de contacto.....	102



5.3.3 Precisão do Processo: Inspeção com robot .....	105
5.3.4 Precisão do Processo: Montagem Automática .....	109
6. Discussão e avaliação dos resultados .....	113
6.1 Redução do tempo e fiabilidade da coleta de dados .....	113
6.2 Redução de defeitos internos e externos .....	113
6.3 Redução de custos .....	114
6.3.1 Montagem Automática .....	115
6.3.2 Conector de dois pontos de contacto.....	116
7. Conclusões .....	117
7.1. Considerações finais.....	117
7.2 Trabalho futuro.....	119
Referências Bibliográficas .....	120
Apêndices .....	129
Apêndice I – Listagem de produtos, respetivas <i>foil</i> e conectores.....	130
Apêndice II – Condições dos testes de replicação de condições de campo.....	131
Apêndice III – Análise detalhada do <i>Attribute Agreement Analysis</i> .....	133
Apêndice IV – Formação para utilização das <i>foil</i> .....	145
Apêndice V – Cálculo estimado de reclamações na prova de conceito com montagem automática...	146
Anexos .....	147
Anexo I – Ferramentas que suportam o <i>Lean Six Sigma</i> .....	148
Anexo II – Fluxogramas dos processos de produção dos produtos afetados .....	149
Anexo III – Princípios inventivos e matriz de contradições da TRIZ .....	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fases da metodologia <i>Action-Research</i> .....	5
Figura 2 - Estrutura da dissertação - capítulo 4, 5 e 6.....	7
Figura 3 – Casa TPS.....	11
Figura 4 - Oito princípios da Gestão da Qualidade Total .....	18
Figura 5 - Modelo EFQM .....	19
Figura 6 - Processo e respetivas componentes .....	20
Figura 7 - Custo da má qualidade .....	22
Figura 8 - Modelo para o custo de qualidade ótimo .....	23
Figura 9- Departamento de Qualidade dividido por secções/ responsabilidades .....	40
Figura 10 - Componente usado na indústria automóvel - <i>foil</i> .....	42
Figura 11 – Tipo de <i>foil</i> : a) <i>Flat Flexible Cables</i> ; b) <i>Flexible Printed Cable</i> .....	43
Figura 12 - Tipos de <i>foil</i> não contempladas no projeto: a) <i>Foil</i> protetora; b) <i>Flat Ribbon Cable</i> com IDC .....	44
Figura 13 - Estratificação generalizada das <i>foil</i> .....	44
Figura 14 - <i>Foil</i> -composição a) lado 1; b) lado 2 .....	45
Figura 15 - Conector relativo à <i>foil</i> .....	45
Figura 16 - Reclamações externas por tipo de defeito .....	47
Figura 17 - Defeitos externos por produto vs material com defeito .....	48
Figura 18 - Processo de coleta de dados da situação inicial do projeto.....	48
Figura 19 - Rejeição interna em 2019 por tipo de produto .....	49
Figura 20 – Principais tipos de defeitos representados no gráfico de Pareto .....	50
Figura 21 - Exemplos de sistema de inspeção da montagem de <i>foils</i> .....	50
Figura 22- Causas das <i>foil</i> danificadas representadas num diagrama de Ishikawa.....	52
Figura 23 - Cálculo do Sigma do Processo .....	52
Figura 24 - <i>Project Charter</i> .....	53
Figura 25 – Ferramentas de gestão de equipa: a) <i>Scrum</i> , b) <i>One-Point-Lesson</i> .....	54
Figura 26 - Timeline de reclamações externas devido a <i>Lifted Pads</i> .....	56
Figura 27 - Registo de contagem de reclamações externas por localização nos contactos .....	56
Figura 28 - Representação percentual de reclamações externas do tipo <i>Lifted Pads</i> por produto .....	57
Figura 29 - Processo de montagem de foils no produto mais afetado por <i>Lifted Pads</i> .....	58

Figura 30- Diagrama Ishikawa para o defeito Lifted Pads .....	58
Figura 31 – Sintomas de <i>Lifted Pads</i> encontrados numa inspeção à entrada (1a e b) .....	60
Figura 32 - Sintomas encontrados numa inspeção à entrada (2): Demasiados pré-testes .....	60
Figura 33 - Sintomas encontrados numa inspeção à entrada (3): Riscos e danos nas extremidades ...	61
Figura 34 - <i>Foil</i> /FFC e FPC (diferença na extremidade) .....	62
Figura 35 -Display com <i>foil</i> colocado no jig.....	63
Figura 36 - Montagem da <i>foil</i> .....	63
Figura 37 - Armazenamento das <i>foil</i> /FPC .....	64
Figura 38 - Posição da foil com a máscara fechada .....	64
Figura 39 - Modo de falha reproduzido .....	65
Figura 40- Montagem da <i>foil</i> a tocar na parte inferior do conetor .....	65
Figura 41 - <i>Timeline</i> de reclamações externas com <i>Broken Pads</i> .....	66
Figura 42 - Representação percentual de reclamações externas com defeito <i>Broken Pads</i> .....	67
Figura 43 - Descrição do processo - BMW CHUD.....	67
Figura 44 - Causas para o defeito <i>Broken Pads</i> representadas no diagrama Ishikawa .....	68
Figura 45 - Unidades usadas no teste de temperatura .....	70
Figura 46- Resultado observado das cinco unidades após o 4º teste de temperatura .....	70
Figura 47- Resultado observado nas 5 unidades após o 5º teste de temperatura .....	71
Figura 48- Condições padrão do teste do choque térmico.....	71
Figura 49 - Choque Térmico: resultado .....	72
Figura 50 - Réplica do defeito <i>Broken Pads</i> .....	73
Figura 51 - Medição de condutividade na <i>foil</i> com defeito .....	73
Figura 52 - Turtle Diagram: <i>Foil</i> mal montada .....	74
Figura 53- Representação percentual de reclamações internas e externas causadas pela má montagem da foil.....	75
Figura 54 - Causas para o defeito <i>Foil</i> mal montada representada no diagrama <i>Ishikawa</i> .....	75
Figura 55 - Descrição visual das variáveis em estudo .....	77
Figura 56- Análise de <i>foil</i> de refugo .....	77
Figura 57 - Análise <i>foil</i> de refugo - Foil tipo 1, medição 1 .....	78
Figura 58 - Análise <i>foil</i> de refugo - Foil tipo 1, medição 2.....	78
Figura 59 - Análise <i>foil</i> de refugo - Foil tipo 2, medição 1 .....	79
Figura 60 - Análise <i>foil</i> de refugo - Foil tipo 2, medição 2 .....	79

Figura 61 - Vista geral do <i>Attribute Agreement Analysis</i> .....	82
Figura 62 - Relação gênero, idade e experiência nos resultados do <i>Attribute Agreement Analysis</i> .....	83
Figura 63 - Matriz Impacto/Esforço das propostas de melhoria .....	87
Figura 64 - Nova tabela de codificação de defeitos utilizada em toda a empresa .....	88
Figura 65 - Clustering da nova tabela de codificação de defeitos.....	89
Figura 66 - Vistas de dashboard: Geral.....	89
Figura 67 - Vistas de dashboard: Detalhes de rejeição interna .....	90
Figura 68 - Vistas de dashboard: Detalhes de rejeição externa.....	90
Figura 69 - Flyer <i>Clustering</i> (excerto).....	91
Figura 70- Evolução dos processos na empresa .....	92
Figura 71 - A posição das <i>foils</i> na evolução e automatização de processos .....	93
Figura 72 - Atividade a pares - eu no papel do outro .....	94
Figura 73 - Situação atual - somos todos responsáveis .....	94
Figura 74- Auxiliares de memória - montagem de <i>foil</i> .....	96
Figura 75 - Excerto da matriz de contradições aplicada ao projeto .....	99
Figura 76 – Tipos de <i>Foils</i> : a) <i>Foil</i> /FFC, b) <i>Foil</i> /FPC .....	101
Figura 77 - Custo por peça atual vs Custo por peça com a substituição da <i>foil</i> /FFC.....	101
Figura 78 – Conectores: a) Com um ponto de contacto (usado atualmente), b) Com dois pontos de contacto .....	103
Figura 79 - Conector com dois pontos de contacto a "varrer" o corpo estranho solto .....	103
Figura 80 - Conector com dois pontos de contacto a conectar com o corpo estranho preso ao pad ..	103
Figura 81 - Custo por peça atual vs Custo por peça com a substituição do conector .....	104
Figura 82 - Elementos necessários para o PT de inspeção com robot .....	106
Figura 83 - Resultados obtidos a partir da inspeção com robot .....	107
Figura 84 - Vista lateral analisada na inspeção .....	107
Figura 85 - Custo por peça atual vs Custo por peça com a substituição do sistema de inspeção .....	108
Figura 86 - Elementos necessários para um posto de montagem automática.....	110
Figura 87 - Teste de vibração - Detalhe .....	131
Figura 88 - Teste Choque Mecânico - parte 2 .....	132
Figura 89 - Teste de Choque Mecânico – parte 1 .....	132
Figura 90 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2 27 1°T - <i>Summary Report</i> .....	133
Figura 91 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2 27 1°T - <i>Accuracy Report</i> .....	133

Figura 92 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I27 1ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	134
Figura 93 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I27 2ºT - <i>Summary Report</i> .....	134
Figura 94 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I27 2ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	135
Figura 95 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I27 2ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	135
Figura 96 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I48 1ºT - <i>Summary Report</i> .....	136
Figura 97 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I48 1ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	136
Figura 98 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I48 1ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	137
Figura 99 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I48 2ºT - <i>Summary Report</i> .....	137
Figura 100- <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I48 2ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	138
Figura 101 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I48 2ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	138
Figura 102 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I50 1ºT - <i>Summary Report</i> .....	139
Figura 103 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I50 1ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	139
Figura 104 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I50 1ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	140
Figura 105 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I50 2ºT - <i>Summary Report</i> .....	140
Figura 106 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I50 2ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	141
Figura 107 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I50 2ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	141
Figura 108 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I52 1ºT - <i>Summary Report</i> .....	142
Figura 109 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I52 1ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	142
Figura 110 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I52 1ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	143
Figura 111 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I52 2ºT - <i>Summary Report</i> .....	143
Figura 112 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I52 2ºT - <i>Accuracy Report</i> .....	144
Figura 113 - <i>Attribute Agreement Analysis</i> : linha 2I52 2ºT - <i>Misclassification Report</i> .....	144
Figura 114 – Slides usados para a formação <i>foil</i> .....	145
Figura 115 - Cálculos Auxiliares - Estimativa do custo de reclamações do produto usado como prova de conceito .....	146
Figura 116 - DPMO da montagem de <i>foils</i> manual na prova de conceito usada.....	146
Figura 117- DPMO da montagem de <i>foils</i> automática na prova de conceito usada .....	146
Figura 118 - Ferramentas que suportam o LSS – versão DMADV.....	148
Figura 119 - Fluxograma KTM (1) .....	149
Figura 120- Fluxograma KTM (2) .....	149
Figura 121- Fluxograma KTM (3) .....	150
Figura 122- Fluxograma Nissan LCN2KAI (1) .....	150

Figura 123- Fluxograma Nissan LCN2KAI (2) .....	150
Figura 124- Fluxograma Nissan LCN2KAI (3) .....	151
Figura 125- Fluxograma Nissan LCN2KAI (4) .....	151
Figura 126- Fluxograma Nissan LCN2KAI (5) .....	151
Figura 127- Fluxograma Daimler KIG (1) .....	152
Figura 128 - Fluxograma Daimler KIG (2) .....	152
Figura 129- Fluxograma Daimler KIG (3) .....	152
Figura 130 - Fluxograma Daimler KIG (4) .....	153
Figura 131 - Fluxograma BMW 4.1 (1) .....	153
Figura 132- Fluxograma BMW 4.1 (2) .....	154
Figura 133- Fluxograma BMW 4.1 (3) .....	154
Figura 134 -Matriz Das Contradições .....	158

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Muri, Mura e Muda.....	16
Tabela 2 - As sete ferramentas da qualidade .....	27
Tabela 3 - Nível Sigma, Defeitos por Milhão de Oportunidade e Custos de Baixa Qualidade .....	29
Tabela 4 - Índices de aferição da capacidade .....	32
Tabela 5 - Fatores críticos de sucesso na aplicação de LSS e respectivas ocorrências .....	34
Tabela 6 – Principais acontecimentos da evolução do grupo Bosch.....	38
Tabela 7 - Bosch Production System - Princípios .....	41
Tabela 8 - Processo generalizado de montagem de <i>foil</i> .....	44
Tabela 9 - Categorização de defeitos .....	55
Tabela 10 - Atividades realizadas para encontrar a causa raiz.....	59
Tabela 11- <i>IS/IS NOT</i> para o defeito <i>Broken Pads</i> .....	66
Tabela 12 - Atividades realizadas para encontrar a causa raiz.....	69
Tabela 13 - Atividades realizadas para encontrar a causa raiz.....	76
Tabela 14 - <i>Gage R &amp; R -Setup</i> .....	80
Tabela 15 - Principais casos de "MAU" avaliado como "BOM" .....	84
Tabela 16 - Síntese de Problemas, desperdícios e conseqüências .....	85
Tabela 17 - Plano de Ação de Melhorias.....	86
Tabela 18 - Resultados do curso de <i>foils</i> .....	97
Tabela 19 - Custo atual de um posto de inspeção feito por câmeras.....	106
Tabela 20 - Custo do posto de inspeção com <i>robot</i> .....	107
Tabela 21 - Custo do PT com montagem automática.....	110
Tabela 22- Custo por peça atual vs Custo por peça com a montagem automática .....	111
Tabela 23 - Redução de tempo médio na coleta de dados .....	113
Tabela 24 - Redução de defeitos .....	114
Tabela 25 - Ganhos na montagem automática .....	115
Tabela 26 - Ganhos na introdução do conector no modelo usado na prova de conceito.....	116
Tabela 27 - Excerto listagem produtos, respectivas foil e conectores (1) .....	130
Tabela 28 - Excerto listagem produtos, respectivas foil e conectores (2) .....	130
Tabela 29 - Excerto listagem produtos, respectivas foil e conectores (3) .....	130
Tabela 30 - 40 Princípios Inventivos.....	156

Tabela 31 - 39 parâmetros de engenharia.....	157
--	-----



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

0km – Defeitos detetados no cliente direto da Bosch

8D – Oito Disciplinas

5W2H – *Why, Who, Where, When, What, How much, How*

AOI – *Automated Robotic Optical Inspection*

BrgP – Braga Plant

BPS – *Bosch Production Systems*

CM – *Car Multimedia*

CoC – *Center of Competences*

DFMA – *Design for Manufacturing Assessment*

DI – *Drive Infotainment*

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

DPMO - Defeitos por Milhão de Oportunidades

DPO – Defeitos por Oportunidade

FFC – *Flexible Flat Cable*

FPC - *Flexible Printed Circuits*

IS – *Instrument System*

JIT – *Just-In-Time*

KPI – *Key Performance Indicator*

MFE - *Manufacturing Engineering*

MOE1 – Inserção Automática

MOE2 – Montagem Final

MSA – *Measurement System Analysis*

PCB – *Printed Circuit Board*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

PPM – Partes por milhão

PT – Posto de Trabalho

QMM – Departamento de gestão da qualidade e métodos

QMM6 – Secção de processo e sistema de qualidade

TPM – *Total Preventive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

TRIZ – Teoria de Resolução Inventiva de Problemas

## 1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo é feito um enquadramento do projeto de dissertação, apresentam-se os principais objetivos, bem como a metodologia usada e a estrutura do documento.

### 1.1 Enquadramento

No fornecimento de produtos ou serviços, há parâmetros fundamentais que determinam a sua capacidade de venda, são eles maior qualidade, utilização eficaz, menos administração e monitorização, bem como menor impacto ambiental e maior sustentabilidade (Lindström et al., 2015).

O corrente mercado extenso e a conseqüente concorrência desmedida ditam que uma organização sobreviverá apenas se criar e reter clientes satisfeitos e isso será somente alcançado se oferecer produtos ou serviços que respondam às necessidades e expectativas dos clientes, bem como aos seus requisitos. Satisfação do cliente significa, usualmente, rentabilidade e, por esse mesmo motivo, é a prioridade número um em muitas organizações. Attingir e manter a satisfação do cliente depende da capacidade de garantir a mais alta qualidade ao menor custo. Nos anos oitenta, quando a maioria das empresas acreditava que produzir produtos de qualidade era muito caro, a Motorola acreditava no contrário, isto é, quanto melhor, mais barato. A Motorola apercebeu-se que produzir com qualidade permitia gerar mais satisfação por parte do cliente e, conseqüentemente, gerar maior lucratividade (Taghizadegan, 2006). Esta ideia continuou a ser confirmada através de distintos exemplos, entre eles, o recente caso de estudo no setor de serviços de energia (Bloj et al., 2020).

Hoje, o mercado competitivo não deixa espaço para erros. E, neste sentido, surgiu a necessidade de implementar os conceitos de *Lean Thinking* e *Six Sigma*, que, quando combinados, se designam de *Lean Six Sigma* (Alfaro et al., 2020). O *Lean Six Sigma* é uma estratégia de negócios cujo foco é melhorar os resultados e aumentar a satisfação do cliente. Por um lado, a ferramenta *Six Sigma* está relacionada com o controlo estatístico de processos, controlo estocástico e controlo de processos de engenharia (Taghizadegan, 2006). É, na sua definição básica, ter 3.4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) de produzir um defeito (Gordon, 2002).

Por outro lado, o *Lean Thinking* deve ser visto amplamente como uma filosofia que exige que o nível adequado de esforço e recursos sejam gastos para assegurar uma entrega *just-in-time* de um produto ao cliente. Isto inclui tempo, finanças, equipamentos, instalações, energia e capital humano (Smart, 2013). *Lean Thinking* é a filosofia por trás de *Lean Production*, designação atribuída ao *Toyota Production*

*System* por Krafcik (1988) por ser um sistema que faz mais com menos (“*doing more with less*”), e popularizada no livro de Womack et al. (1990) “*The machine that changed the world*” .

A filosofia *Lean Thinking* é realizada através de cinco princípios, orientados à melhoria sistemática dos processos pela definição e eliminação de desperdícios que não contribuem para a satisfação dos clientes:

1) Valor, esta é a premissa básica para começar a desenvolver algo, definir o que é valor e entregá-lo; 2) Fluxo de Valor, identificar as etapas que agregam valor e eliminar ou mitigar as restantes; 3) Fluxo contínuo, produzir sem interrupções; 4) Produção Puxada, redução do stock através da produção exclusiva daquilo que o cliente pede; 5) Perfeição, é a busca contínua pela melhoria.

A metodologia *Lean Six Sigma* (LSS) é usada para implementar mudanças positivas, identificando ineficiências, variáveis, defeitos de processo e resíduos. O LSS foca-se na definição e correção de defeitos num sistema (Steere et al., 2018). Para implementar a melhoria contínua da qualidade, o *Lean Six Sigma* usa o método *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* (DMAIC) removendo passos do processo que não são produtivos de forma a atingir o alvo de *6 sigma*. Este método é dirigido para problemas de carácter operacional em processos, produtos e serviços já existentes. O método em si é uma abreviação que, primeiramente, define aquele que é o objetivo de melhorar o processo, de forma a que seja consistente com a procura do cliente e a estratégia formal da empresa (Andersson et al., 2006). *Measure* é a mensuração do desempenho do processo para que o processo possa ser comparado com o alvo selecionado. A fase seguinte de *DMAIC* é o *Analyze*. Nesta fase, uma análise das causas dos problemas identificados é feita, sendo depois validada com dados para fornecer soluções testadas (Ong & Sfenrianto, 2019). *Improve* é uma atividade para definir um plano para melhorar a qualidade de *6 sigma*. E *Control* é a monitorização do processo que deve ser levada a cabo continuamente (Henny et al., 2019).

Um exemplo de sucesso pelo uso de *Six Sigma* é a *Motorola Corporation*, que aumentou os resultados líquidos de \$2.3 mil milhões em 1978 para \$8.3 mil milhões em 1988, usando o programa de *Six Sigma* (Taghizadegan, 2006). *General Electric* (GE) ficou também conhecida na lista de inúmeras empresas com sucessos causados por esta metodologia, atingindo os \$4 mil milhões de poupanças por ano.

O sucesso e renome alcançado através da metodologia de *Lean Six Sigma* levou a que o conceito se estendesse não só no âmbito produtivo, como fora deste. Exemplo disto foi a redução de tempo de tratamento do AVC num centro médico de nível superior (Rai et al., 2016), através de um projeto que implementou esta mesma metodologia.

A metodologia TRIZ, provém da frase russa que significa Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (Rantanen et al., 2017). A TRIZ pode ser pensada como uma maneira de atingir a excelência na solução

de problemas. A metodologia não se baseia em maneiras completamente novas de resolver problemas, mas funciona através de métodos e técnicas existentes (Martin, 2010). Apesar da TRIZ ser uma metodologia singular, esta tem vindo a fundir-se com outras, tais como o *Lean* e o *Six Sigma*. O *Lean* e a TRIZ compartilham uma ideia principal: projetar e entregar os produtos que realmente desejam para os clientes. Para isso, ambos utilizam princípios e ferramentas visando reduzir o desperdício ou minimizar o uso de novos recursos e ambos utilizam um procedimento de melhoria contínua (Maia et al., 2015; H. V. G. Navas & Machado, 2015). A sinergia entre o *Lean* e a TRIZ tem sido positivamente referenciada em vastas áreas de estudo, tal como na indústria automóvel (Correia et al., 2015) e outras (Alves et al., 2016; H. Navas & Cruz-machado, 2015). Por outro lado, o *Six Sigma* pode ser integrado com a TRIZ, de forma a criar uma metodologia de resolução de problemas estruturada e inovadora (Indrawati et al., 2020). Desta fusão surgem também diversos resultados satisfatórios, tal como na redução de dano em produtos (Boangmanalu et al., 2020).

A Bosch Car Multimedia Portugal S.A. tem assistido a uma quebra de satisfação dos clientes, no que concerne os produtos com *flexible flat cables* (FFC) e *flexible printed cables* (FPC), uma vez que o número de defeitos relativos a estes componentes tem tido um grande peso no funcionamento geral dos produtos por eles constituídos. A dimensão do problema tem sido crescente com o aumento de casos detetados fora da empresa. Desta forma, com o intuito primordial de reduzir o número de casos com defeito, foi selecionada a metodologia *Lean Six Sigma* a que se refere a presente dissertação para resolver o problema.

## 1.2 Objetivos

No projeto de dissertação pretende-se desenvolver, com recurso à metodologia *Lean Six Sigma*, um projeto de melhoria na *Bosch Car Multimédia*, no departamento de Qualidade. Uma vez que o projeto assenta nos defeitos detetados nas *foil FFC e FPC*, o objetivo primário passou por encontrar as áreas de atuação com maior destaque e, tendo estas por base, encontrar a(s) causa(s) *raiz(es)* que, por sua vez, levaram a, numa fase inicial, medidas contingentes e, numa fase de maior maturidade do projeto, a soluções testadas e eficazes. Para concretizar esse objetivo, foi necessário realizar as seguinte etapas:

- Mapear o processo e identificar os desperdícios existentes, em particular, os defeitos, tipos e causas;
- Padronizar a forma de coleta e organização relativa aos modos de falha;
- Criar equipas multifacetadas para encontrar a causa *raiz* de cada problema;

- Fazer testes de forma afunilar os fatores e causas do problema;
- Criar ações preventivas e/ou corretivas para cada problema;
- Dar formação aos colaboradores.

Desta forma, os objetivos principais do projeto assentaram em:

- Reduzir o número de defeitos internos (*internal rejection rate* – IRR);
- Reduzir o número de reclamações OKM (automóveis sem quilometragem) e reclamações *field* (automóveis com quilometragem);
- Reduzir o tempo e aumentar a fiabilidade da coleta de dados;
- Mitigar a margem de erro humano;
- Reduzir custos.

### **1.3 Metodologia de investigação**

A dissertação em questão teve como metodologia de investigação, a investigação- ação. A escolha da metodologia supramencionada residiu sobretudo nas características que esta apresenta, a par com as vantagens que acarreta para o projeto. O investigador da ação (*Action Research - AR*) concentra-se na pesquisa e na ação, em vez de se concentrar na pesquisa sobre ação. A ideia central é que o investigador use uma abordagem científica para estudar a resolução de questões sociais ou organizacionais importantes, junto com quem as experimenta diretamente. O investigador trabalha através de um processo cíclico de quatro etapas, consciente e deliberadamente: planejar, realizar ações e avaliar a ação, levando a um planeamento adicional e assim sucessivamente (Coughlan & Coghlan, 2002).

Uma segunda característica reside na participação do investigador. Os membros do sistema em estudo participam ativamente do processo cíclico descrito acima. Esta participação contrasta com a pesquisa tradicional, na qual os membros do sistema são objetos de estudo. A terceira característica é que o investigador procede a uma pesquisa concorrente à ação. O objetivo é tornar essa ação mais eficaz, ao mesmo tempo em que cria um corpo de conhecimento científico. E, por último, a investigação-ação é uma sequência de eventos e uma abordagem para a solução de problemas.

Os resultados desejados da abordagem não são apenas soluções para os problemas imediatos, mas uma aprendizagem importante dos resultados pretendidos e não intencionais, e uma contribuição ao conhecimento e à teoria científicos (Gleeson et al., 2019). Outros autores, tal como O'Brien (1998) consideraram um ciclo de cinco etapas: 1) diagnóstico; 2) planeamento de alternativas de ação; 3)

implementação de ações; 4) avaliação e discussão de resultados e 5) especificação de aprendizagem, como representado na *Figura 1*.

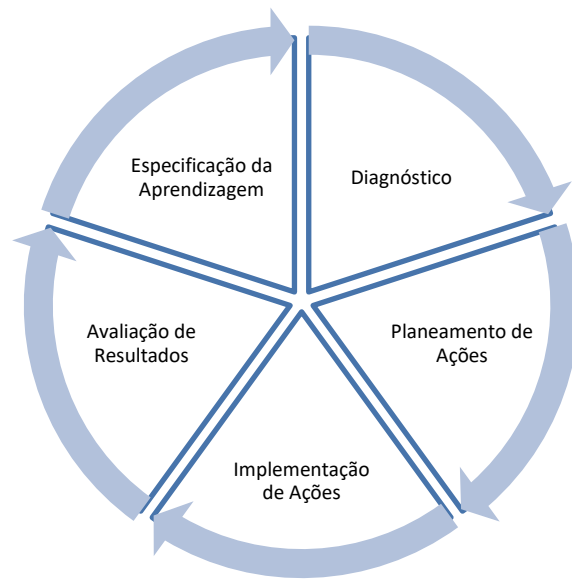


Figura 1- Fases da metodologia *Action-Research*

(Fonte: O'Brien, 2001)

Tendo por base esta metodologia de investigação, a presente dissertação seguiu as fases acima descritas. A fase do diagnóstico foi demarcada pela recolha de dados dos múltiplos processos nos quais o componente em causa está presente. Esta recolha de dados foi auxiliada por diversas ferramentas, nomeadamente os fluxogramas para a definição dos processos de montagem que constituem a montagem das *foij*; Histogramas, *I-Charts*, *ANOVA*, *Pareto Chart* e *Capability Charts* na definição factual dos defeitos ocorridos, tendências, evolução ao longo do tempo e definição da capacidade do processo; *Project Charter* e *Turtle Diagram* na definição visual e clara daquilo que é o problema, equipa constituinte, *timeline*, indicadores de desempenho e objetivos; e *brainstorming* juntamente com a constituição de uma equipa, gerida pela ferramenta ágil *Scrum*.

Para a fase de planeamento de ações, houve suporte da ferramenta 5W2H para definir o plano de ações. Contemplou a aglomeração de causas possíveis, com o suporte de um *Ishikawa*. Nesta mesma fase, com a ajuda do *measurement system analysis*, procurou-se entender a variação na medição do processo que é passível de existir, tendo por base a definição operacional existente e o *Attribute Agreement Analysis*. Depois de procedido ao anteriormente mencionado, especula-se que o projeto tenha atingido um nível de maturidade capaz de encontrar a causa *raiz* do problema. As ferramentas de foco nesta etapa do projeto foram a matriz esforço/impacto e análises custo/benefício. O *output* da fase foi a causa *raiz* do problema. Caso esta não tivesse sido encontrada, ou eventualmente tivesse seguido o caminho errado, ir-se-ia voltar para as fases anteriores, percorrendo a fase de planeamento em *loop* até encontrar

a real causa. Atividades de suporte foram procedidas nesta mesma etapa, com o auxílio do controlo estatístico e a padronização.

Com o problema estabelecido, medido e analisado, avançou-se para a fase de implementação de ações, podendo encontrar melhorias específicas ou transversais aos vários produtos, de forma a atacar na raiz causadora dos problemas. Na implementação da melhoria, foi ainda útil proceder ao uso de *standard work*, 40 princípios inventivos e matriz de contradições.

No final, a equipa foi novamente reunida com o intuito de analisar e discutir os resultados das melhorias implementadas. Discutiu-se, ainda, a responsabilidade de monitorização das atividades e estabeleceu-se planos de controlo. Os métodos de controlo utilizados foram o *standard work* e controlo estatístico. Caso o objetivo não tenha sido atingido, volta-se ao planeamento de ação e assim sucessivamente.

Terminado o processo, construiu-se uma apresentação, sob a forma de síntese, com os resultados atingidos e não atingidos, acompanhado de dados explicativos para cada caso, formando uma base de suporte para futuros ciclos de investigação. Nesta fase, fez-se a aprendizagem das lições aprendidas, do qual também resultou o relatório desta dissertação.

#### **1.4 Estrutura de dissertação**

O presente documento organiza-se em sete capítulos, nomeadamente a introdução, a revisão bibliográfica, a apresentação da empresa, a descrição e análise crítica da situação atual da montagem de *foil*, a apresentação e implementação de propostas de melhoria, a discussão e avaliação dos resultados e as conclusões.

O capítulo relativo à introdução visa apresentar, de forma generalizada, os conceitos e tópicos em estudo, através de uma breve descrição do problema, discriminada no enquadramento e âmbito da dissertação. Este capítulo conta com os objetivos planeados, bem como a motivação e compromisso do autor. A metodologia de investigação é exposta, assim como a estrutura que a dissertação seguiu.

Segue-se o capítulo intitulado de revisão bibliográfica. Este serve de base teórica aos seguintes capítulos, abordando as filosofias, metodologias e ferramentas sobre as quais a dissertação se debruça.

A apresentação da empresa incorpora o terceiro capítulo e explora, de forma sumária, a história da mesma, e o lugar que a empresa ocupa em Portugal e no mundo. A explicação estende-se, em detalhe, à área de qualidade, na qual a dissertação se enquadra, e à *Bosch Production System* (BPS).

O capítulo quatro, cinco e seis encontram-se ilustrados na Figura 2, para uma melhor compreensão.

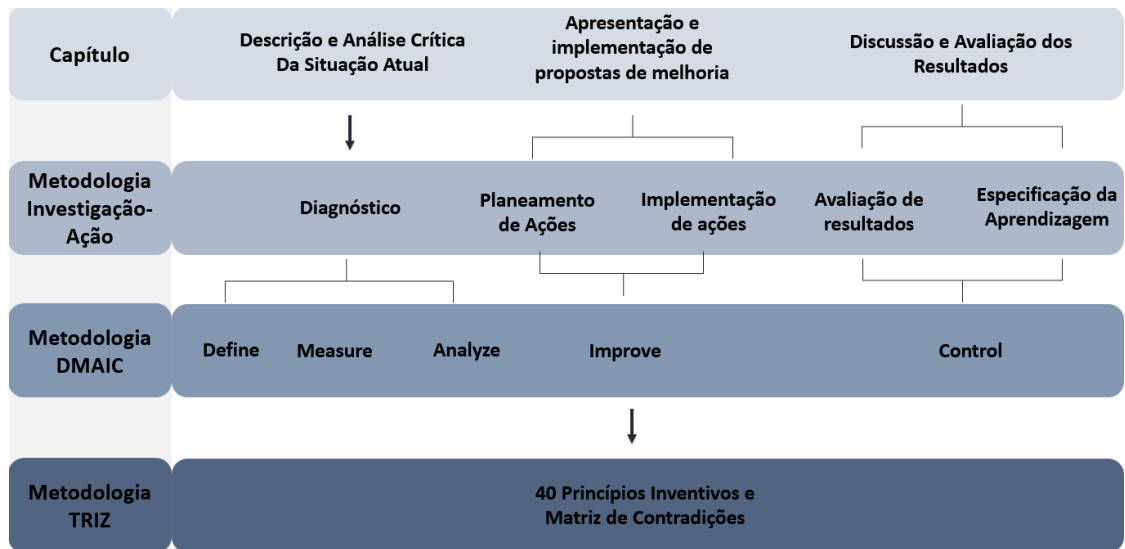


Figura 2 - Estrutura da dissertação - capítulo 4, 5 e 6

O capítulo quatro, referente à descrição e análise crítica da situação atual, assenta no diagnóstico, que se traduzem nas fases *define*, *measure* e *analyze* da metodologia DMAIC. Neste capítulo, o autor versa a problemática, por via de apresentação do projeto e do componente; da análise crítica e identificação de problemas; e de um resumo síntese dos problemas explorados.

Em seguida, o quinto capítulo, ilustra a apresentação e implementação de propostas de melhoria. Nesta fase, são representados o planeamento de ações, bem como a implementação de ações, que correspondem à fase *Improve* do DMAIC. Na fase *improve*, são adotadas três estratégias, nomeadamente, a redefinição do conceito/design da montagem de *foil* através da metodologia TRIZ, o curso de montagem de *foil* e a padronização da coleta de dados.

O capítulo 6 refere-se à discussão e avaliação dos resultados, correspondente à reta final do *improve* e introdução da fase *control*. Nesta fase, são avaliados os ganhos adquiridos com a introdução das melhorias, como também são elaboradas novas medidas para sustentar os esses mesmos ganhos e promover uma aprendizagem em *loop*.

O capítulo 7 reúne as considerações finais, bem como o trabalho futuro.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica que serve de base para o desenvolvimento da presente dissertação. Inicialmente, introduz-se a filosofia *Lean Production*, onde é feita alusão à *Toyota Production System* (TPS), aos sete desperdícios e aos princípios *Lean Thinking*. Posteriormente, faz-se alusão à gestão da qualidade e conceitos inerentes, tais como, o processo e a sua definição, os custos associados à qualidade e a melhoria contínua. Por último, mas não menos importante, introduz-se o *Lean Six Sigma*, começando-se por estabelecer a sua definição, o *Six Sigma*, indicadores de desempenho, fatores de sucesso no uso da metodologia e impacto da mesma.

### 2.1 *Lean Production*

Na presente secção, é descrita a evolução industrial a par com a criação de necessidades que levaram ao aparecimento do *Lean Production*. Ainda neste tópico, pode-se encontrar a explicação da casa TPS, bem como dos seus pilares; o conceito de desperdício e os tipos de desperdício; e os princípios de *Lean Thinking*.

#### 2.1.1 Origens

Nenhuma ideia nova aparece sem razão. Pelo contrário, as inovações, geralmente, surgem de um conjunto de condições em que as ideias antigas não satisfazem o esperado, ou surgiram novas necessidades. O *Lean Production* não foi exceção. Surgiu num espaço temporal e localização em que os modelos até outrora praticados deixaram de satisfazer as necessidades para o desenvolvimento industrial do país. Desta forma, para entender profundamente o *Lean Production*, é importante voltar atrás no tempo, até às origens da indústria automobilística no final do século XIX.

É precisamente no final deste século que a indústria automóvel começa a ganhar destaque, sobretudo quando, em 1887, Emilie Levassor, o “L” de P&L, conhece Gottlieb Daimler, o atual fundador da conhecida Mercedes-Benz. Em 1890, P&L havia-se tornado um líder mundial desta indústria, com a conceção de algumas centenas de carros por ano. Estes eram construídos predominantemente por artesãos qualificados, em pequenas quantidades – um procedimento lento e caro (Eye Witness History, 2005).

No que concerne à organização estrutural da empresa, os dois fundadores e os seus associados eram responsáveis, por intermédio de conversas com o cliente, por identificar as especificações de cliente, uma vez que havia total liberdade para a customização. Após ter acesso aos requisitos do cliente,

procedia-se à solicitação de peças necessárias, regularmente feitas por artesãos que trabalhavam na sua própria garagem e, posteriormente, montava-se o produto final. A parte técnica, tal como o design e a engenharia, eram feitas maioritariamente em lojas de artesanato em Paris.

Até então, produzir em massa não era uma hipótese. O paradigma utilizado era a “*Craft Production*”, i.e. a produção artesanal, que se resumia à criação dos produtos que o cliente pedia, a preços altos (Hu, 2013). Não existiam sistemas de medição padronizados e as ferramentas usadas não possibilitavam o corte de aço endurecido. Pelo contrário, diferentes padrões de medição eram usados por diferentes operários e as partes eram levadas a fornos até ficarem com a forma suficiente para encaixarem nas restantes, o que fazia com que cada carro fosse único.

Este facto não era necessariamente uma vantagem, visto que não era possível produzir testes de confiabilidade e durabilidade para cada modelo exclusivo e, por conseguinte, os proprietários dos automóveis, ou os seus *chauffeurs* ou mecânicos, precisavam de fornecer os seus próprios testes na estrada. Também fatal, nessa altura, foi a incapacidade que as pequenas oficinas independentes, onde acontecia grande parte da produção, tinham de inovar ou desenvolver novas tecnologias. As limitações supramencionadas, analisadas em conjunto, denotavam já que o setor estava a atingir um patamar impraticável.

Em 1908, Henry Ford atinge dois objetivos com a produção do modelo T (Ford, 1926): o projeto de um carro para fabricação e a conceção de um modelo “*user-friendly*”. Estas duas concretizações potencializaram a mudança revolucionária de direção no que concerne a indústria automóvel. Fala-se da produção em massa - a combinação de máquinas de uso único e mão-de-obra não qualificada para produzir mercadorias padrão – que foi durante todo esse século o emblema indiscutível da eficiência industrial (Sabel & Zeitlin, 1985).

A chave para a produção em massa não era a linha de montagem móvel ou contínua (*Impact of Manufacturing System Configuration on Performance*, 1998). Pelo contrário, era a permutabilidade completa e consistente de peças e a simplicidade de conectá-las umas às outras (Womack et al., 1990). Para atingir a permutabilidade, Ford insistiu que seria essencial ter um sistema de medição de trabalho transversal a todos os processos de manufatura. A par com esta mudança, ocorreram avanços nas ferramentas que viria a tornar possível trabalhar em aços endurecidos.

Uma vez resolvido esse assunto, Ford focou-se em conceder designs inovadores que reduzissem o número de peças necessárias e que fossem fáceis de montar. A permutabilidade, simplicidade e facilidade de montagem permitiram a Henry Ford dar um salto e começar a produzir em linhas de

montagem, diminuindo consideravelmente os tempos de montagem até à data praticados. Com a introdução deste novo método de produção, algumas diferenças foram nítidas, nomeadamente, a mudança de necessidades de mão de obra, que até então era extremamente qualificada, bem com a produção em massa e a sua simplicidade, que fizeram com que os operários não precisassem de muita formação, nem conhecimento, uma vez que a sua responsabilidade residia na realização de uma tarefa única.

Ao contrário do que acontecia com a produção artesanal, começaram a ser usados os lotes e filas. As máquinas passaram a ter propósitos únicos, não sendo extensíveis a muitas tarefas diferentes. Consequentemente, a produtividade aumentou face ao modelo anterior, foi atingido um custo mais baixo na indústria automóvel e a qualidade não era ainda um fator de relevância. Uma característica inovadora, também relevante para os clientes, foi a introdução dos manuais de reparação, que permitiam ao condutor ser independente aquando de uma avaria. Apesar do termo produção em massa já ser falado, este apenas começou com a introdução da linha de montagem móvel Henry Ford em *Highland Park*, perto de Detroit, Michigan, e atingiu o seu auge após o final da Segunda Guerra Mundial, quando a procura por produtos era muito elevada (Hu, 2013).

Com as inúmeras vantagens conseguidas, em poucos anos, a produção em massa estendeu-se, vindo a revelar as três líderes do mercado automobilístico: Ford, General Motors e Chrysler (Boschma & Wenting, 2007). A situação de produção em massa estagnada nos Estados Unidos e na Europa podia ter continuado indefinidamente se uma nova indústria automobilística não tivesse surgido no Japão. O verdadeiro significado dessa indústria era que não se tratava apenas de outra replicação da já venerável abordagem americana à produção em massa. Os japoneses na Toyota estavam a desenvolver uma forma totalmente nova de fazer os produtos, à qual Krafcik (1988) chamou de *Lean Production System* (Womack et al., 1990) que era o *Toyota Production System*.

Desde a sua introdução, o conceito de *Lean Production* ganhou vasta atenção, tanto na literatura quanto na prática. É justo afirmar que se tornou uma estratégia dominante para organizar sistemas de produção (Karlsson & Hlström, 1996). Atualmente, *Lean Thinking*, a filosofia de gestão por trás de *Lean Production*, é vista como uma filosofia que traz benefícios económicos, mas também de sustentabilidade (Amaro et al., 2019). *Lean Production* não se limita somente às atividades que ocorrem no âmbito de produção de uma empresa, engloba as atividades que vão desde o desenvolvimento do produto, compras e produção até à distribuição.

### 2.1.2 Casa TPS

O *Toyota Production System* (TPS) surgiu por necessidade (Ohno, 1978) de resposta às circunstâncias que cercavam a empresa. A parte mais antiga do sistema de produção é o conceito de *Jidoka*, criado em 1902 pelo fundador da *Toyoda*, *Sakichi Toyoda* (Kato, 1973). As origens dessa noção começaram na empresa de produção de máquinas de fição e tecelagem *Toyoda*, iniciada por *Sakichi Toyoda*. *Sakichi* inventou um tear que parava automaticamente sempre que um fio partia e isso permitia interromper o processo de criar um material com defeito.

No âmbito do *Toyota Production System*, o conceito de *Jidoka* ou *autonomação* repartia atenções com o célebre *Just-In-Time* (JIT). Após a Segunda Guerra Mundial, Taiichi Ohno, um promissor engenheiro da *Toyoda Spinning and Weaving Corporation*, foi trazido para o setor automotivo do negócio. Foi-lhe concedida a tarefa de melhorar a produtividade operacional e impulsionar os conceitos supramencionados – *Jidoka* e *JIT*. Entre 1945 e 1955, Taiichi dedicou-se aos conceitos de produção, formulando o que agora é denominado de *Toyota Production System* (Martin et al., 2014) e a consequente *TPS House* (Fritze, 2016), que se veio a sagrar um ícone mundial no mundo da manufatura (Figura 3).



Figura 3 – Casa TPS

(Fonte: Liker & Morgan, 2006)

O TPS é representado desta forma, uma vez que a casa é um sistema e é tão forte quanto a parte mais debilitada de todo o sistema, isto é, uma base da casa menos robusta ou um pilar débil podem comprometer a estabilidade de toda a casa, mesmo que as restantes partes sejam compactas e sólidas.

No pilar esquerdo da casa, encontra-se o conceito JIT, o conceito mais conhecido da casa TPS e um dos primeiros a aparecer. O JIT foi criado por Kiichiro Toyota em 1937, após o início da *Toyota Motor*

*Corporation*, e adveio da necessidade de poupança em materiais e equipamentos. Esperava-se que fossem produzidos os produtos necessários, na quantidade necessária, no tempo ideal (Monden, 1998). A produção *just-in-time* permite que o *lead time* de produção se reduza, mantendo a conformidade com as mudanças, fazendo com que todos os processos produzam as peças necessárias no tempo necessário e disponham apenas do stock mínimo necessário para manter os processos juntos. Além disso, ao verificar os níveis de stock e os prazos de entrega, este conceito de produção revela a existência de equipamentos e trabalhadores excedentes (Sugimori et al., 1977).

*Jidoka*, também chamado de *autonomação*, consiste em facultar ao operador ou à máquina a autonomia de parar o processamento sempre que for detetada qualquer anormalidade no mesmo (Ghinato, 1995). Quando um colaborador ou máquina param, é necessário sinalizar, de forma a obter ajuda. Este processo pode ser feito através do uso de luzes ou sons. Ao parar, o problema está contido numa área e não passará para o processo seguinte, evitando levar o defeito para o cliente. Os problemas também são constantemente identificados, levando a melhorias contínuas (Liker, 2004).

A base da casa, por sua vez, constituída pelo *Heijunka* e pelos processos estáveis e padronizados, precisa de fornecer estabilidade geral. Um estudo empírico realizado constatou que a padronização do trabalho está positivamente relacionada à percepção da qualidade do serviço. Isto ocorre porque a padronização permitirá que as empresas minimizem a incerteza e a variabilidade nos seus processos. A incerteza e a variabilidade podem ser atribuídas às diferentes maneiras como as pessoas realizam suas tarefas. As suas habilidades, competências e comportamentos determinam seu próprio desempenho. Então, a mesma tarefa realizada por pessoas diferentes dará resultados diferentes. Para reduzir variações nas mesmas tarefas executadas por pessoas diferentes, a melhor maneira de realizar um processo deve ser adquirida e documentada em detalhes, usufruindo da padronização (Ungan, 2006). *Heijunka*, ou produção nivelada, é essencial para que haja oportunidade de padronização de processos. Este nivelamento permite também compreender o *stock* necessário que deve ser armazenado nos supermercados. Por outro lado, os processos estáveis e padronizados são necessários, caso contrário o JIT não funcionará e, por conseguinte, ter-se-á de aumentar o *stock* para compensar a instabilidade do sistema.

*Kaizen* é também um elemento fundamental na casa TPS e deve ser praticado por toda a organização. *Kaizen* não é opcional no sistema *Lean*, trata-se de uma obrigatoriedade para quem segue a filosofia. A *Toyota* usa a metáfora de tentar navegar enquanto abaixa o nível da água para revelar as rochas. O nível da água representa o *stock*, as rochas, os problemas. Quando o nível de *stock* baixa, os problemas são

expostos. Fazer emergir os problemas só é vantajoso se as pessoas que trabalham no processo tiverem as ferramentas e forem motivados para, primeiro, conter os problemas e, depois, resolvê-los na causa raiz.

### 2.1.3 Requisitos para implementação do *Lean Production*

A integração das funções do sistema de produção requer o comprometimento da gerência e a comunicação de nível superior com todos, principalmente a produção. O envolvimento total dos colaboradores é absolutamente necessário. Para que não fique comprometida a implementação de *Lean Production*, alguns detalhes devem ser tidos em atenção, segundo Black (2007):

- 1) Todos os níveis da fábrica, desde os trabalhadores da produção (o cliente interno) até o presidente, devem ser educados na filosofia e nos conceitos de *Lean Production* e entender como o *Lean* é diferente de produzir em massa;
- 2) O comprometimento e o envolvimento *top-down* são críticos. Toda a empresa deve estar envolvida na jornada. As pessoas de topo devem estar totalmente comprometidas com a mudança, dar o exemplo e serem líderes ativos e, de facto, projetistas de sistemas;
- 3) A gestão deve entender que levará a decisões financeiras opostas às práticas atuais de contabilidade gerencial que levaram à produção em massa na empresa;
- 4) A seleção de parâmetros mensuráveis que acompanharão a mudança é também um ponto crítico. Todos na fábrica devem entender que o custo, e não o preço, determina os lucros. Todos devem estar comprometidos com a eliminação de desperdícios à medida que essas etapas são implementadas;
- 5) O cliente interno deve ser treinado para encontrar desperdícios e pensar em maneiras de se livrar dos mesmos e fazer isso, incansavelmente. Para fazer isso, a educação e a formação dos operadores são vitais. Os operadores devem entender o porquê da mudança ser necessária e como mudar;
- 6) A empresa deve divulgar o sucesso e recompensar as equipas, compartilhando os ganhos com aqueles que contribuíram;
- 7) A estrutura de recompensa de gestão intermediária deve ser alterada para dar suporte ao *design* do sistema.

#### 2.1.4 Conceito de desperdício e os tipos de desperdício

É comum encontrar diversos significados para um mesmo tópico e é também comum que cada pessoa conceda um significado diferente ao mesmo conceito em situações distintas. O conceito de desperdício não é exceção e são inúmeras as definições a este atribuídas. Koskela (1992) definiu desperdício como "qualquer ineficiência que resulte no uso de equipamentos, materiais, mão de obra ou capital em quantidades maiores do que aquelas consideradas necessárias na produção de um edifício". Uma maneira simples de definir desperdício é considerar aquilo que pode ser eliminado sem reduzir o valor ao cliente. Podem ser atividades, regras, recursos, etc (Polat & Ballard, 2004).

Ohno (1988) definiu os sete desperdícios na produção também referidos como “muda”, por ele classificados como:

- Excesso de produção: As causas mais comuns para este tipo de desperdício são o uso de grandes lotes de produção, antecipação da produção, grandes *setups*, criação de *stock* para compensar o número de peças com defeito. Algumas das consequências de produzir mais do que necessário são a antecipação de compras de peças e materiais, aumento dos *stocks*, ocorrência de defeitos, e falta de flexibilidade no planejamento (Amaro & Pinto, 2007). Para evitar o excesso de produção pode-se proceder ao uso de métodos tais como a produção programada, balanceamentos, produção puxada, *Single Minute Exchange of Die* (SMED) para a redução de tempos de setup e nivelamento.
- Esperas: o termo refere-se a pessoas e/ou máquinas que ficam paradas devido a uma demora na produção. Esta demora pode ser representada por uma avaria, uma manutenção preventiva ou corretiva, ineficiência de um ou mais trabalhadores, início de turno, entre outros. Os métodos usados para mitigar o desperdício anterior podem também ser adequados para este.
- Transporte e movimentações: transporte é qualquer movimentação ou transferência de materiais, partes montadas, peças acabadas, de um sítio para o outro por, alguma razão (Amaro & Pinto, 2007). Para eliminar, reduzir ou mitigar as movimentações, algumas mudanças podem ser efetuadas, tais como promover a produção fluída, utilização de células, maior taxa de utilização e operadores flexíveis.
- Stocks: os *stocks* desnecessários tendem a aumentar o *lead time*, impedindo a rápida identificação de problemas e aumentando o espaço, desencorajando a comunicação. Assim, os problemas são ocultados pelo *stock*. Para corrigir esses problemas, primeiro eles precisam ser identificados. Além disto, *stocks* desnecessários criam custos significativos de armazenamento

e, portanto, diminuem a competitividade da organização ou o fluxo de valor em que existem (Peter Hines & Rich, 1997).

- Defeitos: a definição de desperdício inclui os defeitos ou problemas de qualidade. A estes são também associados os custos de inspeção, resposta às queixas dos clientes e as reparações (*rework*) (Amaro & Pinto, 2007). As causas mais frequentes para os defeitos são a falha humana, o transporte e movimentação de material e a ênfase na inspeção final. Para a redução de defeitos é recomendado proceder à procura da causa *raiz* deste, minimizar a margem para erro humano através de dispositivos *poka-yoke* e automatizar determinadas atividades.
- Deslocações e manuseamento/manipulação: retrata os movimentos das pessoas ou atividades que não são necessárias para o produto final e que, por conseguinte, não adicionam valor ao mesmo.
- Desperdício do processo: os desperdícios do processo correspondem a operações ou processos que não são vitais para a conceção do produto, bem como processamentos incorretos e que, portanto, não adicionam valor para o mesmo.

Mais tarde, a estes sete foi adicionado um: a não utilização do potencial humano. Este é o oitavo e mais recente desperdício adicionado e reflete situações em que o colaborador consegue prestar serviços mais exigentes do que os que está a fazer, isto é, não capacita ou envolve colaboradores talentosos em processos com funções à altura, refletindo-se num desperdício de tempo, oportunidade de melhoria e de gerar novas ideias (Wibowo et al., 2018). A matriz de competências pode ser um suporte na alocação de pessoas a tarefas e, por conseguinte, ser uma ajuda ao evitar este desperdício (Liker & Morgan, 2006).

Os colaboradores e gestores da Toyota usam o termo japonês *muda* quando se referem a desperdício, e eliminar *muda* é o foco de muitos esforços na produção *Lean*. No entanto, dois outros M's são tão relevantes quanto este para o trabalho e os 3 M's encaixam-se como um sistema. O documento *Toyota Way* refere a eliminação de *Muda, Muri e Mura* (Liker, 2004) (Tabela 1).



Tabela 1 - Muri, Mura e Muda

Termo Japonês	Descrição
Muri (無理)	Sobrecarregar pessoas ou equipamentos - levar uma máquina ou pessoa além dos seus limites naturais. Sobrecarregar as pessoas resulta em problemas de segurança e qualidade, e sobrecarregar o equipamento causa falhas e defeitos.
Mura (無斑)	Desigualdade - Em sistemas de produção normais, por vezes, há mais trabalho do que as pessoas ou máquinas podem suportar e, outras vezes, falta de trabalho. A irregularidade resulta de um cronograma de produção irregular ou de volumes de produção flutuantes devido a problemas internos, como tempo de inatividade, ou falta de peças, ou defeitos.
Muda (無駄)	Sem valor adicionado – inclui os 8 desperdícios mencionados anteriormente. São atividades sem utilidade que prolongam os prazos de entrega, causam movimento extra para obter peças ou ferramentas, criam excesso de <i>stock</i> ou resultam em esperas.

### 2.1.5 Princípios *Lean Thinking*

Como descrito acima, o sistema de produção *Lean* foi criado pela *Toyota* no Japão. O *Lean Thinking* (Womack et al., 1990) destila a essência da abordagem *Lean* em cinco princípios fundamentais e mostra como os conceitos podem ser estendidos além da produção automóvel para qualquer empresa ou organização, em qualquer setor, em qualquer país (Hines, 2012). Tais princípios são descritos de seguida:

- 1) Valor - refere-se à definição do valor da perspectiva do cliente final e que este está disposto a pagar, em termos de um produto específico, com recursos específicos, oferecidos a um preço e tempo específicos (Poppendieck & Llc, 2002).
- 2) Cadeia de valor - diz respeito à identificação de todo o fluxo de valor de cada serviço, produto ou família de produtos e eliminação do desperdício (Poppendieck & Llc, 2002).
- 3) Fluxo contínuo - processo de fazer com que as atividades que criam valor fluam (Poppendieck & Llc, 2002). Isto é, através de estratégias e do envolvimento de todos, diminuir tempos de entrega, *stocks* e desperdícios e fazer com que não existam quebras no fluxo ao retirar essas atividades que não adicionam valor.
- 4) Produção pull - entrega do produto/serviço que o cliente quer, quando o cliente quer, ou seja, adotar uma produção puxada. Permitir que seja o cliente a “puxar” a produção do fluxo de valor possibilita a eliminação de alguns tipos de desperdício, nomeadamente projetos obsoletos antes da conclusão do produto, produtos acabados, elevados níveis de *stock* e consequente ocupação desmedida de espaço, e *leftovers*, isto é, produtos que sobram com o risco de perderem a validade, tornando-se obsoletos ou simplesmente não serem necessários.
- 5) Perseguir a perfeição – é a procura contínua de melhoria. O objetivo final será alcançar os “zero defeitos”, mas também menor custo, menor prazo de entrega e melhor segurança e moral. O conceito de melhoria contínua será, posteriormente, abordado em detalhe, na secção 2.2.4.

## 2.2 Gestão da Qualidade

O mercado predominantemente competitivo, as regulamentações globais estritas para a proteção do meio ambiente e o aumento das preocupações dos clientes acerca da qualidade e das características dos produtos têm vindo a forçar as empresas a seguir as estratégias de gestão da qualidade cuja eficácia já foi provada (Abbas, 2020).

A Gestão da Qualidade pode ser definida como a abordagem de gestão que contempla um conjunto de princípios que se reforçam mutuamente, em que cada um deles é alicerçado por um conjunto de práticas genéricas e ferramentas específicas (Dean Jr. & Bowen, 1994).

Estas e outras estratégias ajudam a impor padrões de qualidade e a controlar rigorosamente os processos do projeto, melhorando assim o impacto das práticas de gestão da qualidade no desempenho do projeto. As práticas de gestão da qualidade podem ajudar não só na melhoria da qualidade dos produtos, como também a reduzir a sucata e o retrabalho, minimizando assim os custos e o tempo de produção. As práticas de gestão da qualidade também permitem que os participantes desenvolvam todo o seu potencial e alcancem os objetivos, cooperando e aprendendo uns com os outros, para contribuir positivamente para o desempenho geral (Othman et al., 2019).

A Gestão da Qualidade Total (*Total Quality Management* - TQM) é o resultado da evolução da qualidade. Foi iniciado por Walter Shewhart no início dos anos 20, no século passado, quando o controlo de qualidade do produto foi aplicado à teoria estatística. Mais tarde, na década de 1940, liderado por americanos (Hackman & Wageman, 1995) como Deming, Feigenbaum e Crosby, o conceito foi expandido e divulgado no Japão. O foco foi ampliado para a qualidade de todas as questões dentro da organização.

As quatro fases evolutivas da qualidade são inspeção, controlo de qualidade, garantias de qualidade e TQM. TQM é uma metodologia que visa obter um *output* da qualidade que satisfaça a expectativa do cliente. O nível de qualidade no TQM é determinado pelos clientes. Os padrões de qualidade, inclusive o Deming Prize e os Malcolm Baldrige National Quality Awards (MBNQA) da série ISO 9000, especificam princípios e processos que compõem os oito princípios de qualidade mencionados na Figura 4 (Hidroğlu, 2019).



Figura 4 - Oito princípios da Gestão da Qualidade Total  
(Fonte: Othman et al., 2019)

O *Malcolm Baldrige National Quality Award* (MBNQA), a *European Quality Management Foundation* (EFQM), e o *Swedish Quality Award* (SIQ) são os diferentes modelos de qualidade que descrevem os critérios para a implementação da TQM, tendo por base os seus principais valores.

O modelo americano do MBNQA provou ser extremamente valioso para muitas organizações públicas e privadas em termos de introdução de reformulações nas estruturas administrativas e operacionais. Este modelo contém seis dimensões: a liderança, o planeamento estratégico, o foco no cliente, a gestão de processos, a gestão de recursos humanos e informações e análises, e foi amplamente examinado por diferentes investigadores, tal como Ooi (2014).

O modelo EFQM, por sua vez, mede o desempenho da empresa e mostra as estratégias ideais para o caso, com o intuito de elevar este desempenho ao seu máximo. Em contraste com as abordagens tradicionais sobre processos de medição, o modelo EFQM, representado na Figura 5, oferece a oportunidade de degradar estratégias organizacionais para os objetivos de negócios e permite que as empresas avaliem o passado, a situação atual e o futuro ao mesmo tempo (Hidiroğlu, 2019).

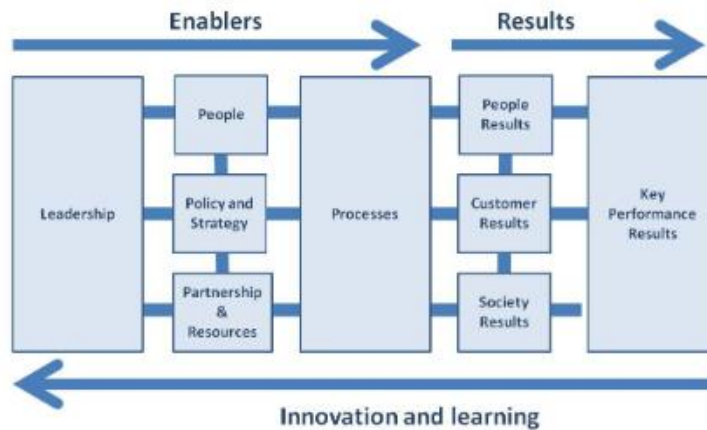


Figura 5 - Modelo EFQM

(Fonte: Zárraga-Rodríguez & Álvarez, 2014)

O *SIQ Management Model* é um "modelo de excelência". Em termos muito simples, o objetivo do modelo de excelência é ajudar as organizações a fazer as "coisas certas" da "maneira certa" e, portanto, alcançar o sucesso. As "coisas certas" referem-se a produtos, bens e serviços aos quais as partes interessadas, clientes e usuários da organização exigem e agregam valor. A "maneira certa" refere-se à organização que tem e continuamente desenvolve métodos e processos de trabalho apropriados para entregar as "coisas certas". Para alcançar o sucesso, deve haver um equilíbrio entre o que a organização entrega e oferece e a maneira como isso é feito. Deve haver um equilíbrio entre a eficiência interna e externa de uma organização. As organizações existem num mundo em mudança. As "coisas certas" e o "caminho certo" hoje não são necessariamente as mesmas de amanhã. É por isso que o modelo de gestão SIQ enfatiza constantemente a importância de melhorar a adaptabilidade da organização, para que seja sempre relevante e possa, assim, alcançar o sucesso (Swedish Institute for Quality, 2019).

### 2.2.1 Definição do processo

Uma vez que a gestão da qualidade envolve vários processos cujo desempenho se pretende melhorar, existe a necessidade de definir o conceito de processo. Processo pode ser definido de uma forma genérica como sendo um conjunto de atividades ou operações que transformam entradas (*inputs*) de um sistema em saídas (*outputs*). A análise dos processos nas empresas implica a identificação das diversas dimensões desses processos: fluxo (volume por unidade de tempo), sequência das atividades, esperas e duração do ciclo, dados e informações, pessoas envolvidas, relações e dependências entre as partes comprometidas no funcionamento do processo (Gonçalves, 2000).

Segundo Freeman e McVea (2005), comumente, os processos possuem quatro partes interessadas:

- Clientes;
- Fornecedores de matérias-primas;

- Fornecedores de recursos humanos;
- Proprietários da organização.

A Figura 6 permite compreender as diferentes variáveis que compõem um processo.

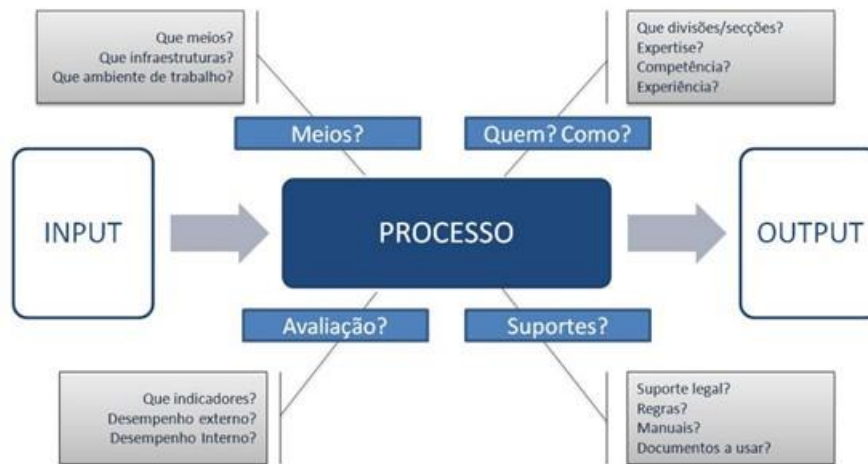


Figura 6 - Processo e respetivas componentes  
(Fonte: Freeman & McVea, 2005)

### 2.2.2 Modelo de gestão da qualidade – Trilogia de Juran

Para obter qualidade, é apropriado começar por estabelecer a “visão” para a organização, juntamente com políticas e objetivos. A conversão de metas em resultados, que fazem a qualidade acontecer, é feita através de processos de gestão - sequências de atividades que produzem os resultados pretendidos. A gestão da qualidade faz uso extensivo dos três seguintes processos administrativos:

- Planeamento da qualidade;
- Controlo da qualidade;
- Melhoria da qualidade.

Estes processos ficaram conhecidos como “trilogia Juran” (Juran, 1986). Esta trilogia é passível de ser descrita de forma mais elaborada. Primordialmente, foca-se no planeamento da qualidade. Este é o processo de preparação para atingir os objetivos de qualidade. O resultado deste processo deve assentar num processo capaz de produzir em conformidade com os objetivos de qualidade sob condições de operação. Seguem-se alguns processos básicos de qualidade são:

- Identificar os clientes internos e externos;
- Determinar as necessidades dos clientes;
- Desenvolver características dos produtos/serviços que respondem às necessidades dos clientes;

- Estabelecer objetivos de qualidade que acorrem as necessidades dos clientes e fornecedores, e fazê-lo ao custo mínimo possível;
- Desenvolver um processo que consegue produzir as características de produto necessárias;
- Provar a capacidade do processo – provar que o processo consegue atender os objetivos de qualidade sob condições de operação.

Concentrando as atenções no controlo da qualidade, isto é, o processo de atender aos objetivos de qualidade durante as operações, deve-se esperar como resultado a condução das operações de acordo com o plano de qualidade. Nesta estratégia, os processos básicos de qualidade são:

- Escolher variáveis a controlar – o que controlar;
- Escolher a unidade de medição;
- Estabelecer padrões de desempenho;
- Medir o desempenho atual;
- Interpretar a diferença do atual vs. padrão;
- Implementar ações para culminar a diferença.

Por último, mas não menos importante, a melhoria da qualidade, isto é o processo de alcançar níveis de qualidade sem precedentes. O objetivo desta estratégia debruçar-se-ia sobre a condução das operações em níveis da qualidade distintivamente superiores do desempenho planeado. Segundo Juran (1986) os processos básicos da qualidade neste tópico da trilogia são os sugeridos:

- Provar a necessidade de melhoria;
- Identificar projetos específicos para a melhoria;
- Organizar para guiar projetos;
- Organizar para diagnóstico – necessidade de encontrar as causas;
- Fornecer soluções;
- Provar que as soluções são efetivas sob as condições de operação;
- Fornecer controlo para monitorizar os ganhos.

### 2.2.3 Custos da qualidade

O conceito dos custos de qualidade é ainda uma desmistificação em processo. Alguns defendem que, à medida que os níveis de defeito diminuem, os custos de falha diminuem, enquanto os custos de avaliação e prevenção aumentam. Essa troca aparente sugere que existe um nível ótimo de qualidade e que as

tentativas de melhorar ainda mais a qualidade acima desse nível aumentarão o custo total e diminuirão o desempenho financeiro (Schneiderman, 1986).

Alguns gestores mantêm uma mentalidade de que mais qualidade significa maior custo. Este pensamento advém geralmente da crença de que a maneira de melhorar a qualidade é aumentar a inspeção, para que menos defeitos cheguem ao cliente. Também pode basear-se na confusão causada pelos dois significados da palavra "qualidade". Uma qualidade mais elevada no sentido de melhorar as características do produto, através do desenvolvimento do produto, geralmente requer investimento de capital. Nesse sentido, custa mais. No entanto, uma qualidade mais elevada no sentido de menor desperdício crônico geralmente custa menos. Percebe-se, assim, que existe a necessidade de perceber de que tipo de qualidade é que se trata.

O termo "custos de qualidade" tem significados diferentes para pessoas diferentes. Alguns equiparam "custos de qualidade" aos custos de baixa qualidade (principalmente os custos de encontrar e corrigir trabalhos defeituosos - *rework*); outros equiparam o termo com os custos para obter qualidade; outros, ainda, usam o termo para significar os custos de funcionamento do departamento de Qualidade (Juran & Godfrey, 1998). O mais comumente usado é associar o custo de qualidade ao custo de baixa qualidade.



Figura 7 - Custo da má qualidade  
(Fonte: Juran & Godfrey, 1998)

O custo da má qualidade pode ser subestimado por causa dos custos difíceis de estimar. Estes custos "ocultos" ocorrem nos setores de manufatura e serviços e incluem:

- 1) Vendas potencialmente perdidas;
- 2) Custos de redesign de produtos devido a baixa qualidade;
- 3) Custos de mudanças no software por questões de qualidade;
- 4) Custos de tempo de inatividade de equipamentos e sistemas, incluindo sistemas de informações de computadores;
- 5) Custos incluídos nos padrões, uma vez que o histórico da empresa revela que é inevitável ter um certo nível de defeito. E, neste sentido, por exemplo, são compradas quantidades excedentes;
- 6) Custos indiretos devido a defeitos e erros;

- 7) Sucata e erros não relatados. Um exemplo é o refugo que nunca é relatado por medo de represálias, ou o que é cobrado em uma conta contábil sem identificação como refugo;
- 8) Custos extras do processo devido à excessiva variabilidade do produto, mesmo dentro dos limites de especificação;
- 9) Custo relativo a erros feitos no suporte de operações (compras, transportes, etc);
- 10) Custo de má qualidade nas fábricas dos fornecedores, uma vez que são incluídos no preço dos produtos.

Quando os relatórios de custos de qualidade são partilhados, é usual aparecer a questão de qual seria o custo ótimo da qualidade. Um estudo da distribuição dos custos de qualidade foi explorado, tendo por base algumas categorias representado no modelo da Figura 7 (Schneiderman, 1986).

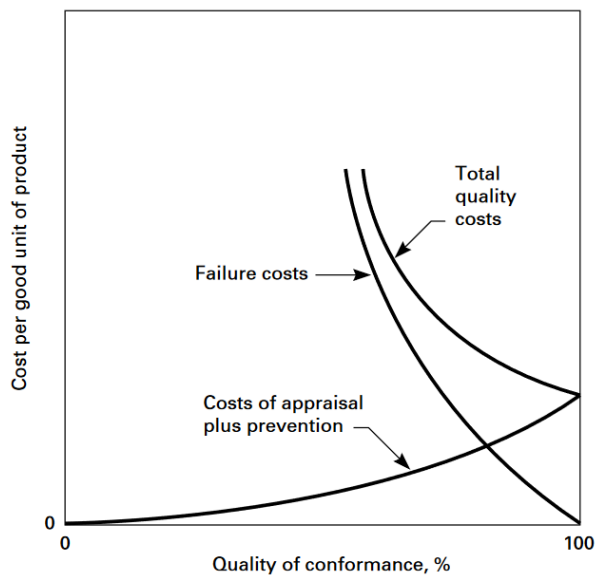


Figura 8 - Modelo para o custo de qualidade ótimo  
(Fonte: Schneiderman, 1986)

O modelo da Figura 8 mostra três curvas:

1. Os custos de falha: estes equivalem a zero quando o produto é 100% bom e aumenta infinitamente, quando o produto é 100% defeituoso;
2. Os custos de avaliação e prevenção: estes custos são zero quando são 100% defeituosos e aumentam com a aproximação da perfeição;
3. A soma das curvas 1 e 2: a terceira curva denomina-se “custos totais de qualidade” e representam o custo total de qualidade por uma boa unidade de produto.

O nível mínimo dos custos totais de qualidade ocorre quando a qualidade do desempenho é de 100%, isto é, perfeição. Nem sempre foi esse o caso. Durante a maior parte do século XX, o papel predominante dos seres humanos (falíveis) limitou os esforços para alcançar a perfeição a custos finitos. Além disso, a incapacidade de quantificar o impacto de falhas de qualidade na receita de vendas resultou na



subestimação dos custos de falha. O resultado foi ver o valor ideal da qualidade da conformidade como inferior a 100%. Embora a perfeição seja, obviamente, a meta a longo prazo, não se segue que a perfeição seja a meta mais económica a curto prazo ou para todas as situações (Schneiderman, 1986).

Segundo este mesmo autor, há duas outras lições cruciais a serem aprendidas:

1. Os custos ótimos de qualidade dependem de custos elementares incrementais e não totais. Na melhor das hipóteses, nada em geral pode ser dito sobre os níveis relativos de custos de prevenção e falha;
2. Não há requisito matemático de que o ideal ocorra a um nível de qualidade ( $q$ )  $< 100\%$ . Pode não haver um ideal no intervalo de  $q = 0$  a  $100\%$ . Pode haver um mínimo e não um ótimo e pode muito bem estar em  $q = 100\%$ . O custo ótimo (ou mais corretamente, o mínimo) de qualidade pode estar em zero defeitos ( $q = 100\%$ ), se o custo incremental de se aproximar de zero defeitos for menor que o retorno incremental da melhoria resultante. Juran afirma que “os custos de prevenção aumentam assintoticamente, tornando-se infinitos com  $100\%$  de conformidade.” Isso implica que o custo incremental também é infinito. Como o retorno incremental não é, segue-se de sua afirmação e da matemática acima que o ótimo está abaixo de  $100\%$  (Schneiderman, 1986).

#### 2.2.4 Melhoria Contínua

Se a eliminação de desperdícios é o princípio mais fundamental da produção *Lean*, pode-se dizer que a melhoria contínua vem em segundo lugar. O sistema de produção é constantemente aprimorado; a perfeição é o único objetivo. A constante busca pela perfeição foi refletida na sua própria palavra em japonês - *kaizen* - uma palavra que se tornou muito conhecida no Ocidente. Isso deve-se ao facto de ter sido usado como um conceito primordial por trás da boa administração (Karlsson & Hlström, 1996).

A palavra *Kaizen* deriva de duas palavras japonesas: “Kai”, que significa mudança, e “zen”, que significa para melhor (Marie et al., 2005). *Kaizen* é uma metodologia japonesa que promove pequenas melhorias feitas com o resultado do esforço contínuo. Essas pequenas melhorias envolvem a participação de todos na organização, desde a alta gerência até aos colaboradores.

De acordo com Maarof e Mahmud (2016), o *Kaizen* foi iniciado como uma resposta ao problema enfrentado pela indústria japonesa após a Segunda Guerra Mundial, com os recursos limitados e dificuldades para obter matéria-prima. Nessa altura, as empresas japonesas começaram a estudar como melhorar os seus processos de produção, minimizando o desperdício e melhorando a eficiência do processo. Inicialmente, as iniciativas *Kaizen* foram lideradas pela *Toyota Motor Company* (no centro da casa TPS pode ver-se a melhoria contínua, na secção 2.1.2) no seu esforço para se tornar um líder global

da indústria automóvel, que tentou enfatizar mudanças incrementais, soluções de baixo custo, capacitação dos funcionários e o desenvolvimento de uma organização que mantém a melhoria contínua, com ênfase na melhoria do processo e não no resultado.

Uma das melhores abordagens que podem ajudar as empresas a melhorar o seu desempenho é através do *benchmarking* (Palmer, 2001). Isto porque, por meio de *benchmarking*, as empresas podem aprender e adotar certos processos de negócios que consideram benéficos para serem implementados nos seus locais. Portanto, muitas das atividades *Kaizen* foram comparadas com base nas iniciativas feitas na *Toyota Motor Company*. O trabalho do *Kaizen*, que envolve mudanças incrementais em vez de mudanças radicais, permitiu que as pessoas envolvidas nas atividades *Kaizen* fossem facilmente adaptáveis a essas mudanças.

Para implementar *Kaizen* são necessárias várias atividades de melhoria contínua. Por vezes, estas são representadas pelo *Kaizen*, como orientação ao cliente, gestão de qualidade total (TQM), robótica, círculos de controlo de qualidade (*Quality Control Circles* - QCC), sistema de sugestões, autonomação, disciplina no local de trabalho, manutenção preventiva total (*Total Preventive Maintenance* - TPM), *Kanban*, melhoria da qualidade, zero defeitos, melhoria da produtividade e desenvolvimento de novos produtos, que se situam em diferentes níveis e têm uma lógica de implementação, tal como a representação na casa TPS. Segundo Imai (1986), o “pai” do *Kaizen*, existem três pilares para implementar o *Kaizen*: manutenção, eliminação de desperdícios e padronização.

#### 2.2.4.1. Ciclo PDCA

Um dos procedimentos mais bem conhecidos na TQM e no *Kaizen*, é o uso do ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) (Imai, 1988). O Ciclo PDCA, também conhecido como Ciclo de Shewhart, Ciclo da Qualidade ou Ciclo de Deming, é um método ou técnica que tem como função básica o auxílio no diagnóstico, análise e prognóstico de problemas organizacionais, sendo extremamente útil para a solução de problemas. Poucos instrumentos se mostram tão efetivos para a procura do aperfeiçoamento quanto este método de melhoria contínua, uma vez que conduz a ações sistemáticas que agilizam a obtenção de melhores resultados com a finalidade de garantir a sobrevivência e o crescimento das organizações (Pacheco et al., 2008).

O PDCA foi usado pela primeira vez no campo da gestão da qualidade. Mais tarde, foi aplicado em muitas áreas de gestão e alcançou bons resultados. O ciclo PDCA é uma estrutura bem estabelecida para melhoria de processos, que se concentra na aprendizagem contínua e na criação de conhecimento, e é realizada como um ciclo (Sangpikul, 2017).

Para que se compreenda melhor cada uma das etapas que constituem a ferramenta, segue-se uma descrição de cada fase, como enumerado por Celso Junior (2010).

- Planear: estabelecer os objetivos e os processos necessários para fornecer resultados de acordo com os requisitos do cliente e políticas da organização. Esta etapa abrange a localização do problema, o estabelecimento de uma meta, a análise do fenômeno, a análise do processo e a elaboração do plano de ação;
- Fazer: implementar os processos, ou seja, execução das ações estabelecidas no plano de ação definidas na fase anterior, sendo realizadas no cronograma determinado, tendo todas as ações registadas e supervisionadas;
- Verificar: nesta fase deve-se executar a verificação da eficácia das ações tomadas na fase anterior. Utilizando para a mesma a comparação dos resultados (planeados e executados), listagem dos efeitos secundários (oriundos das ações executadas), verificação da continuidade ou não do problema (eficácia das ações tomadas);
- Agir: esta fase é responsável pela padronização dos procedimentos, referidos na secção 2.1.2, implementados na fase “Fazer”, ou seja, sendo o resultado satisfatório devem-se padronizar essas ações, transformando-as em procedimentos padrão. Para realizar essa padronização é feita a elaboração ou alteração do padrão, comunicação, formação e acompanhamento da utilização do padrão. A conclusão do projeto também ocorre nessa fase, sendo que poderão ser estipuladas novas metas futuras para que o processo de melhoria contínua possa ser desencadeado.

#### *2.2.4.2. Metodologia de resolução de problemas 8D*

Para as organizações terem sucesso, devem adaptar-se rapidamente às mudanças nas condições num ambiente competitivo, devem ser flexíveis e resolver rapidamente as situações e os problemas que ocorrem na organização. Usam-se diferentes ferramentas e métodos para resolver esses problemas.

Um desses métodos é a resolução de problemas de oito disciplinas (8D). O método 8D é um processo estruturado de solução de problemas. Este método ajuda a resolver problemas de maneira correta e oportuna. É usado quando a causa do problema é desconhecida ou quando a solução do problema está além das capacidades de um único trabalhador. Este método também é usado para melhorar produtos e processos (Korenko et al., 2008). Segue-se uma breve apresentação de cada uma das etapas deste método de resolução de problemas (Kaplík et al., 2013):

- D1: Estabelecer a equipa de resolução de problemas;

- D2: Descrição do problema;
- D3: Ações contingentes;
- D4: Análise Causa-Efeito;
- D5: Definição de Ações Corretivas e provar a sua eficácia;
- D6: Implementar Ações Corretivas e monitorizar a sua eficácia;
- D7: Estabelecer Ações preventivas;
- D8: Última reunião.

### 2.2.4.3. Ferramentas da Qualidade

Hoje em dia, existem mais de cem ferramentas de qualidade diferentes disponíveis. As ferramentas são geralmente um meio de realizar mudanças, sendo as mais fundamentais as sete ferramentas básicas de qualidade.

As sete ferramentas da qualidade foram enfatizadas pela primeira vez por Ishikawa (na década de 1960), que é um dos gurus da gestão da qualidade. As suas sete ferramentas originais incluem a estratificação, que alguns autores chamaram posteriormente de fluxograma. Depois disso, outras novas ferramentas foram desenvolvidas para vários propósitos, mas a base de todo trabalho está relacionada com as sete ferramentas da qualidade. Essas ferramentas também são fundamentais para a abordagem de Kaizen e Juran para a melhoria da qualidade (Soković et al., 2009). As sete ferramentas supramencionadas são as mencionadas na Tabela 2.

Tabela 2 - As sete ferramentas da qualidade

<b>Ferramenta da Qualidade</b>	<b>Descrição</b>
Diagrama de Pareto	Ferramenta que organiza os fatores na ordem da magnitude da sua contribuição, identificando assim alguns tópicos que exercem influência máxima (Magar & Shinde, 2014).
Diagrama de <i>Ishikawa</i>	Ferramenta que ajuda a identificar as causas do problema com diferentes pontos de vista, através da categorização, de forma visual (Doshi et al., 2012).
Histograma	São gráficos de barras que mostram o padrão de distribuição das observações agrupadas em intervalos de classe convenientes e organizadas em ordem de magnitude (Magar & Shinde, 2014).
Diagrama de Dispersão	Consiste em traçar uma série de pontos, representando várias observações num gráfico em que uma variável está no eixo X e a outra variável no eixo Y. A maneira como os pontos estão espalhados no quadrante fornece uma boa indicação da relação entre as duas variáveis (Magar & Shinde, 2014).
Gráfico de Controlo	Útil para estabelecer quando um processo sofreu uma modificação significativa (Trueblood et al., 2001).
Listas de verificação	Permite obter compreensão preliminar da relevância e dispersão dos dados, para que análises adicionais possam ser planeadas para obter um <i>output</i> significativo (Magar & Shinde, 2014).
Fluxograma	A ferramenta permite um olhar sobre os fluxos existentes (Túlio, 2003).

## 2.3 Lean Six Sigma

Esta secção explora os conceitos relacionados com o *Lean Six Sigma*. Inicia-se na definição da metodologia, partindo do conceito de *Six Sigma*, os indicadores de desempenho usados fatores de sucesso no uso da metodologia e o impacto que esta tem nas organizações.

### 2.3.1 Six Sigma

O termo *sigma*, ou desvio-padrão, também representado por “ $\sigma$ ”, é uma letra do alfabeto grego usada por estatísticos para medir a variabilidade em qualquer processo (Pyzdek, 2000). As origens do *Six Sigma* podem ser atribuídas a duas fontes principais: *TQM*, referida na secção 2.2, e a métrica estatística *Six Sigma* advinda da Motorola em 1990 nos Estados Unidos (Cançado et al., 2019).

Hodiernamente, o *Six Sigma* refere-se a uma ampla estratégia de negócios que suporta a tomada de decisões através da factualidade. Há uma série de componentes do *Six Sigma* que são comuns com os do TQM, nomeadamente o conceito de que todos numa organização são responsáveis pela qualidade dos bens e serviços produzidos pela organização, o foco na satisfação do cliente ao tomar decisões de gestão, o investimento significativo em educação e formação em estatística, análise da causa *raiz*, entre outras (Snee, 2010).

Com o TQM, a qualidade foi a primeira prioridade. A métrica *Six Sigma* foi desenvolvida em resposta à qualidade abaixo do padrão do produto, rastreada em muitos casos pelas decisões tomadas pelos engenheiros ao projetar peças de componentes. Tradicionalmente, os engenheiros de projeto usavam a regra “*Six Sigma*” ao avaliar se seria de esperar que uma proporção aceitável de componentes fabricados atendesse às tolerâncias. Quando as tolerâncias de um componente são consistentes com um intervalo de seis unidades de desvio padrão da variação do processo, espera-se que cerca de 99,7% dos componentes de um processo centrado estejam em conformidade com as tolerâncias. Ou seja, apenas 0,3% das peças não seriam conformes às tolerâncias, o que se traduz em cerca de 3.000 partes não conformes por milhão (NCPPM) (Arnheiter & Maleyeff, 2005).

Como mencionado na secção anterior, na Motorola, à medida que os produtos se tornaram mais complexos, os produtos defeituosos tornaram-se mais comuns e, ao mesmo tempo, os clientes exigiam maior qualidade. Por exemplo, um telefone incluía centenas de componentes. Cada componente normalmente inclui inúmeras características importantes de qualidade. Era comum um produto incluir milhares de oportunidades de defeitos em cada produto vendido (Sadraoui & Fayza, 2014).

O nível *sigma* adequado para um dado processo varia em função dos requisitos dos clientes. Um nível *sigma* acima dos requisitos é sinónimo de desperdício de esforço por parte da empresa sem valor reconhecido pelo cliente (Trad & Maximiano, 2009).

A metodologia *Six Sigma* recorre a alguns termos próprios e cuja compreensão é vital para que seja obtida uma profunda compreensão de toda a metodologia. Alguns destes termos são (Zaini & Saad, 2019):

- Defeito: Falha ou não atendimento em corresponder às necessidades e uso específico de um produto ou serviço. Assim um produto defeituoso é aquele que contém pelo menos uma imperfeição.
- Defeitos por milhão de oportunidade (DPMO) ou ppm: divisão do número total de defeitos pelo total de oportunidades, a multiplicar por um milhão, que se converte na seguinte fórmula (Taghizadegan, 2006):

$$DPMO = \frac{\text{Defeitos}}{\text{Oportunidades}} * 10^6 .$$

Na Tabela 3, encontra-se retratada a relação entre o nível *sigma*, os defeitos por milhão de oportunidades, o nível de qualidade e o custo projetado de baixa qualidade em relação aos custos de produção.

Tabela 3 - Nível Sigma, Defeitos por Milhão de Oportunidade e Custos de Baixa Qualidade

<b>Sigma</b>	<b>DPMO</b>	<b>Nível de Qualidade</b>	<b>Custo Projetado da Baixa Qualidade em relação aos custos de produção</b>
1	690.000	31%	>40%
2	298.000	69,1%	20-40%
3	67.000	93,3%	15-30%
4	6.210	99,4%	10-20%
5	230	99,98%	5-10%
6	3,4	99,9997%	0-5%

Como estratégia a adotar, a nível operacional, para aperfeiçoar e melhorar os processos, produtos e serviços da organização, para atingir o nível *sigma* de seis desvios padrão, a metodologia é implementada, a partir de diferentes métodos de intervenção: *Define, Measure, Analyse, Improve and Control* (DMAIC) (De Mast & Lokkerbol, 2012), *Design For Six Sigma* (DFSS) (Shahin, 2008), *Design, Measure, Analyze, Design and Verify* (DMADV) (Huang et al., 2010) e *Corrective and Preventive Actions (CAPA)* (KaiNexus, 2016).

À semelhança dos demais métodos, o método DMAIC (ASQ, 2009) possui uma abordagem cíclica, em cinco fases:

- Definir: Nessa fase, o projeto *Six Sigma* é elaborado e o processo a ser aprimorado é identificado. Depois de identificar o processo usando técnicas adequadas, o processo é documentado. Uma dessas técnicas frequentemente usada é a técnica de fluxograma. Por fim, os requisitos do cliente são identificados, analisados e priorizados (Sadraoui & Fayza, 2014).
- Medir: Durante essa fase, os dados são coletados para avaliar o nível de desempenho do processo e fornecer informações para as fases subsequentes. A equipa do *Six Sigma* decide as características a serem medidas, a pessoa que faz a medição, os instrumentos de medição, o desempenho desejado e a frequência de amostragem. Por fim, a capacidade do processo é calculada (Sadraoui & Fayza, 2014).

- Analisar: Nesta fase, procede-se à análise do sistema para identificar maneiras de eliminar a lacuna entre o desempenho atual do sistema ou processo e a meta desejada. Para o suporte desta etapa, são usadas ferramentas estatísticas por forma a orientar a análise (Pyzdek, 2000).
- Melhorar: Esta etapa é fulcral na melhoria do sistema. É essencial que se seja criativo ao encontrar novas maneiras de fazer as coisas melhor, mais barato ou mais rápido. Recorre-se ao uso de gestão de projetos e outras ferramentas de planeamento e gestão para implementar a nova abordagem. O uso de métodos estatísticos para validar a melhoria é recomendado (Pyzdek, 2000).
- Controlar: Esta fase tem o objetivo de sustentar as melhorias estabelecidas nas fases anteriores. Usando gráficos de controlo, as variáveis críticas relacionadas com o desempenho são controladas para monitorizar o desempenho do processo após a melhoria (Sadraoui & Fayza, 2014).

### 2.3.2 Integração *Lean* com *Six Sigma*

O *Six Sigma* e *Lean Production* tiveram origens distintas e estão a níveis diferentes de complexidade. Enquanto que a primeira é uma ferramenta, a segunda implica todo o sistema de produção e informação, uma forma diferente de produzir, recorrendo a muitos conceitos (e.g. valor, desperdício) e ferramentas diferentes, de tomar decisões e de ver/satisfazer o cliente, seja este interno (colaboradores), seja externo, procurando sempre acrescentar valor ao produto por este desejado. Melhor qualidade, menor custo, menor prazo de entrega, melhor segurança e melhor moral são os objetivos.

A força motriz por trás do desenvolvimento da produção *Lean* foi o aumento da produtividade e redução do custo através da eliminação de desperdícios e da simplificação do fluxo do produto na Toyota (Gleeson et al., 2019). O *Six Sigma* foi desenvolvido pela Motorola, aquando da adição de complexidade aos seus produtos, e conseqüente aumento da oportunidade de defeito. A metodologia de *Six Sigma* está relacionada com o controlo estatístico de processos, controlo estocástico e controlo de processos de engenharia (Taghizadegan, 2006). Procura na sua definição básica ter apenas 3.4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) de produzir um defeito (Gordon, 2002). Esta metodologia encarrega-se, maioritariamente, de reduzir a variação do processo.

Embora a qualidade para *Lean* seja apenas um dos cinco objetivos, a abordagem *Lean* é melhorá-la através do *design* dos processos e eliminação de desperdícios (Gleeson et al., 2019). Pode-se concluir que ambos, *Lean* atendendo ao objetivo da qualidade e *Six Sigma*, se focam no processo, mas com perspetivas, caminhos diferentes e abrangências diferentes. Segundo Hines et al. (2004), a abordagem

do *Lean Production* na dimensão da qualidade foi acompanhada por uma mudança no foco, passando de qualidade no início dos anos 90, para qualidade, custo e entrega no final dos anos 90; e para valor para o cliente a partir de 2000 (Hines, Holweg, & Rich, 2004).

Com a implementação do *Lean Production* em muitas empresas (Amaro, Alves, & Sousa, 2019) e da utilização da ferramenta *Six Sigma* (Hilton & Sohal, 2012), as sinergias destes foram a causa de sucesso para muitas organizações desde então.

Por exemplo, em 1999, a empresa Ford começou a implementar *Six Sigma* e os resultados foram visíveis. Desde muito cedo, percebeu como os dois métodos se podiam completar na perfeição. A Ford é um exemplo de sucesso. Em 2002, a fusão do *Lean* com o *Six Sigma* permitia já à empresa poupar \$675 milhões (Harvin, 2019). O *Lean* beneficiou do *Six Sigma* para colocar um processo sob controlo estatístico e o *Six Sigma* beneficiou com a integração no *Lean*, potenciando a eficácia do processo (Gleeson et al., 2019). Segundo vários estudos e publicações, tais como Screeharan (2016) e Ahmed (2015), a fusão supramencionada tornou-se viral nos anos 2000, no ambiente complexo de manufatura, e apresentaram melhorias indubitáveis na qualidade, velocidade e redução de custos.

*Lean Six Sigma* revelou ser uma forma mais inteligente de gerir uma organização, que, primeiro, tem em consideração os requisitos do cliente e a sua satisfação, usando dados e factos para elaborar estratégias de médio e longo prazo. Um dos aspetos mais importantes da aplicação desta metodologia é envolver todos os colaboradores na sua implementação. Através do seu envolvimento, os colaboradores são incentivados a contribuir para a mudança que virá a ocorrer e que trará os benefícios para todos eles, sentindo-se mais confiantes, tanto nas suas próprias habilidades e capacidade de trabalho, quanto na organização em que operam, desenvolvendo as suas capacidades de criatividade e inovação (Pamfilie & Draghici, 2012).

A seguinte lista, ainda que não exaustiva, indica os critérios que a ISO 9001 sugere para medir potenciais projetos de *Lean Six Sigma* e orientar as direções dos mesmos (APCER, 2015):

- O potencial projeto tem eventos recorrentes?
- Existem medições? Se “não”, podem ser estabelecidas medições num apropriado espaço de tempo?
- Tem habilidade para controlar, i. e. manipular, o processo?
- O potencial projeto vai melhorar a satisfação do cliente?
- O potencial projeto está alinhado em, pelo menos, um indicador da empresa?
- O potencial projeto vai permitir uma poupança?



- O potencial projeto tem uma alta probabilidade de ser completo, através da aplicação de DMAIC, dentro de seis meses?
- É possível definir critérios de “sucesso” para o projeto?

### 2.3.3 Indicadores de desempenho

O *Six Sigma* destaca-se pelo uso estatístico e, conseqüentemente, factual da tomada de decisões. Para suportar as análises estatísticas é necessário proceder à definição de métricas, numa fase inicial do projeto. Estas métricas, também comumente chamadas de *Key Performance Indicator (KPI)*, podem referir-se a contagens, medições, bem como à mensuração da capacidade do processo e/ou produto/serviço. A mensuração da capacidade de um processo entende-se como a comparação entre a variabilidade real e a variabilidade projetada, a partir dos limites de especificação. A aferição da capacidade é desenvolvida a partir de índices, tais como os apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Índices de aferição da capacidade

Índice	Descrição	Fórmula
Cp	Índice de capacidade potencial do processo e permite calcular a taxa entre a variação total admitida pela especificação e a variação total que efetivamente existe no processo. Um Cp de 1.0 indica que o processo pode ser julgado como “capaz” (Kane, 1986).	$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$
Cpk	Índice de performance do processo, permite perceber o posicionamento da média em relação aos limites de especificação. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cpk &lt;1: processo incapaz de cumprir os limites de especificação devido à elevada variação;</li> <li>• 1 &lt; Cpk &lt; 1,33: o processo é capaz de cumprir os limites de especificação estabelecidos, ainda que se recomende controlo constante;</li> <li>• Cpk &gt;1,33: o processo é totalmente capaz de cumprir as especificações estabelecidas.</li> </ul>	$CpK = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3s}; \frac{\mu - LIE}{3s}\right)$
Nível $\sigma$	Representa a variabilidade do processo ou produto.	$\begin{aligned} \text{Nível Sigma} &= 0,8406 \\ &+ \sqrt{29,37 - 2,22 * \ln(DPMO)} \end{aligned}$

Onde: LSE – Limite superior de especificação; LIE – Limite inferior de especificação; s: Estimativa do desvio-padrão da amostra;  $\mu$ : Estimativa da média do processo.

### 2.3.4 Ferramentas que suportam o *Lean Six Sigma*

Em adição às ferramentas da qualidade mais conhecidas, enumeradas na secção 2.2.4.3, outras com igual relevância e desempenho são referidas na literatura e suportam a metodologia *Lean Six Sigma*. Cada ferramenta tem o seu papel essencial numa parte do projeto específica e deve ser usada apenas quando se adequa no contexto do projeto (Anexo I) (Soković et al., 2009). Algumas delas são:

- *Project Charter*: é uma ferramenta de planeamento eficaz usada na fase de início do projeto e é uma ferramenta de comunicação que pode ser continuamente referenciada. É um guia de referência rápida e um resumo executivo sobre o que é o projeto, o porquê de estar a ser

realizado, quem está envolvido, funções e responsabilidades, cronograma e abordagem geral. A ferramenta serve também de suporte a novos membros da equipa do projeto a familiarizarem-se com o projeto mais rapidamente (McKeever, 2006).

- *Is/Is Not*: A ferramenta de resolução de problemas, *Is / Is not*, formaliza o processo de procura por potenciais causas raiz. Uma das características mais interessantes da ferramenta é a definição da extensão do problema em análise em função dos dados recolhidos.
- *5W2H*: *What* (o que será feito?), *Why* (por que será feito?), *Where* (onde será feito?), *When* (quando?), *Who* (por quem será feito?), *How* (como será feito?), *How much* (quanto vai custar?). *5W2H*, também conhecida como plano de ação, é uma ferramenta que serve para a tomada de decisão sobre os principais elementos que orientarão a implementação do plano (Nakagawa, 2014).

### 2.3.5 Impacto do *Lean Six Sigma* e os fatores de sucesso

A metodologia em questão conta já com uma panóplia de resultados que lhe tem permitido manter-se atraente ao uso em diferentes áreas até aos dias de hoje. Os impactos mais citados em publicações (Sunder et al., 2018) no Scopus são: redução de custos, aumento da qualidade do produto, redução da variabilidade do processo, aceleração no tempo de entrega, redução da percentagem de defeitos, redução de desperdícios, aumento da satisfação do cliente, redução do tempo de ciclo, aumento da satisfação dos trabalhadores, aumento da qualidade dos serviços, aceleração de processos, redução do tempo de espera, redução de stock desnecessário, aumento da eficiência do processo, aumento da flexibilidade do processo, aumento da produtividade, aumento o valor entregue, redução de erros incidentes, promoção da inovação, melhor uso do espaço, diminuição da rotatividade, redução de custos com stock, aumento da moral da equipa, e diminuição da percentagem de prejuízo e simplificação dos processos (Sunder et al., 2018).

Alguns dos fatores críticos para o sucesso na aplicação de *Lean Six Sigma* estão representados na Tabela 5, que tem por base a priorização feita por diversos autores (Lande et al., 2016).

Tabela 5 - Fatores críticos de sucesso na aplicação de LSS e respectivas ocorrências

<b>Fator Crítico de Sucesso</b>	<b>Ocorrência(s)</b>
Formação (Envolvimento da equipa)	11
Compromisso e envolvimento da gerência	8
Satisfação do cliente	8
Liderança	7
Seleção e priorização de projetos	7
Mudança cultural	6
Compreender a metodologia LSS	5
Planeamento de qualidade estratégico	4
Gestão de processo	3
Design do produto	3
Ligação do LSS aos clientes	3
Ligação do LSS à estratégia de negócio	3
Satisfação do colaborador	2
Recompensa do colaborador	2
Controlo de <i>stock</i>	2
Comunicação de informação	2
Ligação do LSS aos colaboradores	2
Ligação do LSS aos fornecedores	2
Capacitação dos colaboradores	1
Qualidade dos dados	1
<i>Benchmarking</i>	1
Papel do departamento de qualidade	1

(Lande et al., 2016)

## 2.4 Metodologia TRIZ

O mercado em rápida mudança leva as empresas a procurar competitividade para os seus produtos em relação à inovação, maior desempenho, preços mais baixos e mais funcionalidade. Como os recursos das empresas são limitados, a gerência tende a configurar a principal competitividade com recursos mínimos. Para isso, é essencial inovar de forma criativa. Inovação é uma nova ideia, dispositivo ou processo. Pode ser vista como a aplicação de melhores soluções para atender a novos requisitos, necessidades não articuladas ou necessidades de mercado existentes (Hsieh et al., 2015).

A metodologia TRIZ (acrónimo) provém da frase russa *Teoriya Resheniya Izobretatelskih Zadach*, e significa Teoria Inventiva de Resolução de Problemas (Rantanen et al., 2017). A TRIZ é um método eficaz de analisar problemas e desenvolver soluções inovadoras e tem a capacidade de estar tão preparada para métodos, como também para a criação destes (Wang et al., 2016). O desenvolvimento integral do TRIZ consiste num conjunto de conceitos:

- Um sistema de formulação de problemas;
- A resolução de contradições físicas ou técnicas;
- O conceito de estado ideal de um projeto;
- A análise “substância–campo”;

- O algoritmo de resolução dos problemas de invenção (ARIZ) (H. Navas, 2013).

A TRIZ pode ser vista como um conjunto de ferramentas que facilitam a criatividade e a inovação na resolução de problemas. A pesquisa inicial da TRIZ foi focada em promover a criatividade no desenvolvimento de produtos. No entanto, mais pesquisas foram realizadas para aplicar as ferramentas e o pensamento TRIZ originais aos problemas de negócios. A principal premissa da TRIZ é que a criatividade pode ser estruturada e repetida porque 'alguém, em algum lugar, já resolveu um problema idêntico'. Surgiu então, a reutilização de estratégias que funcionaram bem com outros produtos/serviços. Essas estratégias estão incluídas nas principais filosofias da TRIZ (Anosike & Lim, 2013):

- Idealidade - o conceito de que os sistemas evoluem na direção do aumento da "idealidade";
- Contradição - a noção de que soluções sólidas para problemas são alcançadas quando conflitos e *trade-offs* são eliminados;
- Recursos - uso eficaz e criativo de tópicos dentro e fora de um sistema, mesmo que recursos;
- Funcionalidade - concentração nas funções exigidas de um sistema (soluções mudam, funções permanecem as mesmas);
- Espaço / Tempo / Interface – visualização de sistemas de diferentes contextos espaciais, temporais e de interface.

A TRIZ pode ser pensada como uma maneira de atingir a excelência existente na solução de problemas. Ou seja, a TRIZ não se baseia em maneiras completamente novas de resolver problemas, mas funciona através de métodos e técnicas existentes - embora possam ter sido originalmente utilizados em outras áreas de aplicação, tornando-os acessíveis e utilizáveis para todos os problemas. Assim, por exemplo, os Princípios Inventivos da TRIZ são, em certo sentido, os Princípios Inventivos do Mundo e as Soluções Padrão da TRIZ, as Soluções Padrão do Mundo e assim por diante. O poder e a utilidade da TRIZ vêm das maneiras pelas quais ele permite que seus utilizadores descubram primeiro o problema genérico subjacente que está por trás do problema específico que estão a tentar resolver, depois para fornecer uma solução genérica para esse problema genérico e, finalmente, para permitir que as soluções genéricas sejam interpretadas em termos do problema específico original (Martin, 2010).

Algumas das ferramentas mais conhecidas da TRIZ são os princípios de separação, os 40 princípios, a tabela de contradição, a TRIZ reversa, *Smart Little People*, e o resultado final ideal (Bligh, 2006). Apesar da TRIZ ser uma metodologia singular, esta tem vindo a fundir-se com outras, tais como o *Lean* e o *Six Sigma*. O *Lean* e a TRIZ compartilham uma ideia principal: projetar e entregar os

produtos que realmente desejam para os clientes. Para isso, ambos utilizam princípios e ferramentas visando reduzir o desperdício ou minimizar o uso de novos recursos e ambos utilizam um procedimento de melhoria contínua (Maia et al., 2015). TRIZ foca em elementos individuais para otimizar, enquanto o *Lean* foca em todo o sistema para encontrar potenciais eficiências. Neste contexto, a TRIZ pode ser útil para encontrar soluções que utilizam os recursos disponíveis atualmente vistos como desperdício (“muda” em *Lean*) (H. Navas & Cruz Machado, 2013).

A sinergia entre o *Lean* e a TRIZ tem sido positivamente referenciada em vastas áreas de estudo, tal como na indústria automóvel (Correia et al., 2015), indústria alimentar (H. Navas & Cruz-machado, 2015), entre outras (Alves et al., 2020). Por outro lado, o *Six Sigma* pode ser integrado com a TRIZ, de forma a criar uma metodologia de resolução de problemas estruturada e inovadora (Indrawati et al., 2020). Modificar um processo significa conhecer o processo e como ele funciona, o que implica obter feedback sobre esse comportamento. O Princípio 23, Feedback, tem essa preocupação. O Controlo Estatístico de Processo (CEP) pode auxiliar na mensuração desse processo. Neste contexto, *Six Sigma*, ou mais recentemente, *Lean Six Sigma* também é combinado com a metodologia TRIZ para melhorar a qualidade e desempenho dos processos de serviço (Maia et al., 2015). Desta fusão surgem também diversos resultados satisfatórios, tal como na redução de dano em produtos (Boangmanalu et al., 2020).

A metodologia TRIZ apresenta já um vasto histórico de exemplos de sucesso, fundida ou não com outras metodologias, em Portugal (Alves et al., 2016).

### **3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA**

Este capítulo é dedicado à apresentação da empresa onde o projeto de dissertação de mestrado foi levado a cabo – a *Bosch Car Multimedia*. Primeiramente, é partilhada a colocação da empresa mundialmente, seguida da sua história, onde são coletados os momentos principais desde 1886 até à atualidade. Nesta secção é, ainda, mencionada a *Bosch Car Multimedia* de Braga, as suas divisões e o que move a empresa.

#### **3.1 Bosch no Mundo**

O fornecimento de tecnologia e serviços é a área de trabalho do Grupo Bosch. Este conta com 410 000 colaboradores espalhados pelo mundo (até 2018), que contribuíram para a faturação de 77,9 milhões de euros em 2018. O Grupo Bosch divide-se em quatro áreas de negócio e são elas: Soluções de Mobilidade, Tecnologia Industrial, Bens de Consumo e Tecnologia de Energia e Edifícios. A Bosch prima por oferecer soluções inovadoras, nomeadamente para casas e cidades inteligentes, e mobilidade e indústria conectada, tendo como pilar nesta inovação a *Internet Of Things*. O objetivo estratégico da empresa é fornecer qualidade de vida em todo o mundo com os seus produtos, com o propósito mundial de oferecer “Tecnologia para a Vida”.

O Grupo Bosch é constituído pela Robert Bosch GmbH e cerca de 440 subsidiárias e empresas regionais, presentes em 60 países. Em 125 localizações em todo o mundo, a Bosch emprega 69 500 colaboradores em investigação e desenvolvimento.

#### **3.2 História**

A história da Bosch começa com muitos primeiros passos. O passo para a independência, para o mercado automóvel, para os mercados fora da Alemanha e a mudança para o edifício de produção em grande escala. Na Tabela 6, encontram-se descritos alguns dos acontecimentos mais importantes que permitiram o desenvolvimento da Bosch até aos dias de hoje.

Tabela 6 – Principais acontecimentos da evolução do grupo Bosch

<b>Data</b>	<b>Acontecimento</b>
1886	Robert Bosch abre a “Oficina de mecânica de precisão e engenharia elétrica”, em Estugarda. Os primeiros produtos eram demarcados pelo que a população necessitava (instalação de campainhas elétricas, telefones,...).
1897	Começou a instalar aparelhos de ignição por magneto, de melhor conceção, em automóveis, e tornou-se a fornecedora da única ignição realmente fiável.
1898	Robert Bosch entra no primeiro gabinete de vendas no mundo, em Londres, junto com o inglês Frederic Simms, onde fundou a primeira empresa Bosch fora da Alemanha. Este foi o primeiro passo de entrada para o mercado global.
1902	O engenheiro chefe na Bosch, Gottlob Honold, revelou uma solução ainda melhor, a ignição por magneto de alta-voltagem com vela de ignição. Este produto preparou o caminho para a Bosch se tornar numa fornecedora automóvel líder a nível mundial.
1903	Na Irlanda, o belga Camille Jenatzy conduziu um Mercedes até à vitória, na primeira grande corrida de automóveis, na Taça Gordon Bennett, em parte, graças ao fiável sistema de ignição da Bosch, que esteve à altura das condições mais hostis.
1906	Bosch atravessa o mar, chegando a sua publicidade pela primeira vez aos Estados Unidos. O sucesso da campanha foi tal que as vendas duplicaram no espaço de um ano.
1912	A Bosch começou a produzir o seu produto mais célebre na sua própria fábrica de Springfield, Massachusetts.
1913	os negócios fora da Alemanha representavam 88% das vendas da empresa.
1913 - 1914	Quando os automóveis se tornaram objetos do dia-a-dia, e as altas velocidades exigiam maior segurança, a Bosch lançou os produtos adequados. Para além da "luz Bosch", um sistema de iluminação elétrico que era constituído por faróis, um gerador, um regulador e bateria para tornar a condução noturna mais segura, o motor de arranque acrescentava fiabilidade.
1914	Com o início da Primeira Guerra Mundial, todas as marcas estrangeiras desapareceram repentinamente. A investigação e desenvolvimento foram interrompidas e a produção passou para o armamento. Cerca de metade dos trabalhadores foram chamados para o serviço militar, e as mulheres e crianças assumiram o seu trabalho.
1917	com o término da guerra, a renomeada Robert Bosch AG, enfrentou diversos desafios. Com as patentes revogadas e o aumento da concorrência, o regresso aos mercados mundiais só podia resultar com um novo trunfo: a inovação.
1918	Gottlob Honold desenhou rapidamente uma âncora dentro de um círculo para ser a nova marca registada, que permaneceu intrinsecamente ligada à Bosch até agora.
1926	Retomado o trabalho, foi adicionado ao portfolio de produtos a iluminação para motos e bicicletas, a buzina da Bosch, os limpa-para-brisas e a ignição alimentada por bateria. Foi também introduzida a produção em série nas ferramentas elétricas, termotecnologia, tecnologia de rádio e televisão.
1930	Robert Bosch contava já com 2750 oficinas em 70 países. Estas oficinas seriam independentes de reparação e instalação, até hoje conhecidas como “Bosch Car Service”.
1932	Após a queda devido à primeira guerra mundial, estavam a reconstruir a ligação com o exterior. As vendas no estrangeiro tinham subido até 55%.
1939	Com a segunda guerra mundial, as unidades de produção da Bosch foram bombardeadas. O seu papel-chave como um fornecedor de veículos militares durante a guerra, fizera da Bosch um alvo estratégico.
1942	Falecimento de Robert Bosch. Hans Walz gere a empresa como seu sucessor.
1945	Reconstrução da empresa conforme de acordo com os desejos e testamento de Robert Bosch. O objetivo era gerar lucro, mas também canalizar algum deste excedente para causas de caridade.
1950	O início dos anos 50 foram marcados pelo fim das dificuldades económicas e com a introdução de produtos no mercado que refletiam o milagre económico alemão e europeu. Exemplo destes produtos foram os eletrodomésticos de cozinha, berbequins elétricos e autorrádios. O negócio da eletrónica na Bosch começou também nesta altura, estreado pelo “variode” e seguido pelos transistores e circuitos integrados. Esta viria a ser uma das vertentes mais conhecida da Bosch.
1952	A moda do "faz-tu-mesmo" tornou-se um negócio lucrativo para a Bosch. A ferramenta elétrica "Bosch Combi" podia ser usada de várias maneiras diferentes, dependendo do acessório escolhido, como um berbequim, aparafusadora, lixadeira, ou até mesmo como corta-sebes. O conjunto completo, com os acessórios padrão era vendido numa mala, ou num armário de madeira para ser montado na parede.
1950-1960	O número de colaboradores Bosch aumentou de 15 000 para 70 000. A estrutura centralizada de uma empresa de tamanho médio já não era o suficiente, e portanto, durante os anos 60, as áreas de negócio tornaram-se progressivamente mais independentes, começando pela divisão de ferramentas elétricas.
1960-1980	Transformação na Bosch, tornando-se um grupo diversificado com divisões autogeridas, numa empresa mundial e num líder do mercado de eletrónica automobilística.
1983	Bosch voltou adquirir a totalidade de direitos de utilização para a sua própria marca, nos Estados Unidos. Isto abriu o caminho para a empresa recuperar o seu antigo sucesso nas vendas.
1980-1990	Lançamento do sensor lambda, atualmente exigido na conceção de motores de combustão, telecomunicações, tecnologia para satélites espaciais, telemóveis e redes de comunicação públicas e privadas.
1990	Foram lançados sensores micromecânicos para o uso em automóveis que funcionam como órgãos sensoriais para a medição de aceleração, rotação, pressão e som.

2005	Bosch também começou a produzir sensores para bens eletrônicos de consumo, tal como smartphones ou consolas de jogos.
2005- ...	A condução autónoma já não está limitada à ficção científica. A Bosch investiga, desenvolve e testa esta tecnologia em laboratórios na Autobahn alemã e nas autoestradas da Califórnia. A Bosch lançou, em inícios dos anos 2000, um radar de distância, que na altura era um sistema de próxima geração e que era capaz de, automaticamente, travar completamente um automóvel e por sua vez acelerá-lo aquando da formação de trânsito. À medida que o desenvolvimento da tecnologia de sensores e software aumenta, esta tecnologia também vai ser implementada em autoestradas, por volta de 2020, em estradas nacionais, por volta de 2025 e em tráfego urbano por volta de 2030.

### 3.3 Bosch em Portugal

A Bosch estreou-se em territórios portugueses em 1911, vindo-se a tornar uma das empresas mais reconhecidas do país. Com uma presença consolidada, exporta mais de 95% da sua produção para mercados internacionais e tem vindo a alargar as atividades de investigação e desenvolvimento em hardware e software para diferentes áreas de negócio.

Seguindo as passadas do fundador Robert Bosch, guiadas por uma visão inovadora, a Bosch Termotecnologia, em Aveiro, a Bosch Car Multimedia Portugal, em Braga, e a Bosch *Security Systems* – Sistemas de Segurança, em Ovar, desenvolvem e produzem soluções de água quente; sensores e multimédia automóvel; e sistemas de segurança e comunicação, respetivamente. A sua sede portuguesa localiza-se em Lisboa, onde dominam atividades no âmbito de marketing, contabilidade, comunicação, vendas e recursos humanos. Em Portugal, somam-se 4 800 colaboradores que contribuíram para gerar, em 2017, 1,5 mil milhões de euros em vendas internas.

### 3.4 Bosch Car Multimedia em Braga

Localizada em Braga, encontra-se a maior unidade da Bosch em Portugal e uma das maiores do Grupo Bosch no mundo. A história da fábrica inicia-se com a abertura da Blaupunkt, em 1990. Nessa época, a produção primava pelos autorrádios, assumindo, desde cedo, uma posição de relevância no país. Em 2009, foi alvo de exigências do mercado automóvel e foi vendida, gerando-se uma reorganização da unidade que veio a chamar-se Bosch Car Multimedia S.A, dedicada ao desenvolvimento e produção de sistemas de *infotainment*, instrumentação e sensores de segurança para a indústria automóvel.

Fruto da demanda para tecnologias cada vez mais sofisticadas, em 2012, a Bosch assinou a maior parceria de inovação em Portugal com a Universidade do Minho. Hodiernamente, as atividades desta empresa vão muito além da produção de equipamentos inovadores de multimédia automóvel e sistemas de segurança automóvel exportados para todo o mundo. Atualmente, nesta



mesma empresa, encontra-se um dos centros da Bosch para o desenvolvimento de soluções para a mobilidade conectada e autónoma, que conta com mais de 300 engenheiros. A empresa ultrapassa, em 2019, a contagem de 3500 colaboradores em Braga, destacando-se pela mão de obra qualificada.

### 3.4.1 Área técnica

A área técnica diz respeito a funções diretas para o produto. É representada pelos departamentos de engenharia de produção, produção e departamento de qualidade (QMM). O departamento de qualidade insere-se na área técnica e está subdividido por responsabilidades. É no âmbito deste departamento que a presente dissertação foi concebida. O termo QMM significa *Quality, Management & Methods* e as suas responsabilidades residem em:

- Tratamento da questão da qualidade do cliente;
- Garantia preventiva da qualidade;
- Lançamento de novos produtos;
- Testes de fiabilidade e calibração dos equipamentos;
- *Q-Reporting*.

O departamento de QMM consiste em sete secções como representado na Figura 9.



Figura 9- Departamento de Qualidade dividido por secções/ responsabilidades

### 3.4.2 Área comercial

A área comercial é constituída pelos departamentos que não desempenham um contributo direto no produto, tendo por base funções acessórias ao produto de igual valor para o processo. Nesta área estão inseridos os seguintes departamentos: Logística, Compras, Administração, entre outras.

### 3.5 Bosch *Production System*

Como todas as empresas multinacionais, a Bosch também enfrenta o desafio de ciclos de desenvolvimento cada vez mais curtos, alinhados com ciclos de vida do produto cada vez mais curtos. Ao mesmo tempo, a variação do produto está a aumentar e os mercados estão a tornar-se mais voláteis. O aumento da digitalização muda, cada vez mais, as condições da estrutura.

Nesse ambiente, pode-se garantir crescimento e lucratividade, reagindo de maneira flexível às mudanças no mercado e na economia e, ao mesmo tempo, minimizando os requisitos de recursos de forma direcionada. Utiliza-se a digitalização, a conectividade e a inteligência artificial para desenvolver modelos de negócios inovadores. Isso oferece à Bosch novas oportunidades para aumentar o potencial de ganhos e consolidá-los a longo prazo.

Um pré-requisito central para o sucesso é a capacidade de atender aos exigências do cliente de maneira mais rápida, mais econômica e melhor do que a concorrência. Para isso, em 2001, iniciou-se o *Bosch Production System* (BPS). É usado para organizar o processo de atendimento de pedidos e todos os processos de suporte das funções indiretas e de forma a aprimorá-los continuamente. Os seus princípios, métodos e regras servem aos associados e gestores como diretrizes para executar as suas tarefas e assumir suas responsabilidades. O objetivo central do BPS é uma produção *Lean* e, portanto, sem desperdícios, com um fluxo de material rápido e contínuo. O *Bosch Production System* é baseado em oito princípios representados na Tabela 7.

Tabela 7 - *Bosch Production System* - Princípios

<b>Princípio</b>	<b>Descrição</b>
Princípio <i>Pull</i>	É produzido e fornecido apenas o que o cliente quer.
Orientação ao processo	Desenvolve-se e otimiza-se os processos holisticamente.
Prevenção de falhas	Evitar erros por meio de medidas preventivas para entregar produtos sem falhas ao cliente.
Flexibilidade	Adaptação dos produtos e serviços de maneira rápida e eficaz às exigências atuais dos clientes.
Padronização	Padronização dos processos e seleção de soluções " <i>best in class</i> ".
Transparência	Criação de procedimentos auto-explicativos e diretos; desvios da situação alvo são imediatamente aparentes.
Melhoria Contínua	Desenvolver continuamente e de forma direcionada.
Responsabilidade Pessoal	Conhecimento das tarefas, competências e responsabilidades e a realização das mesmas de maneira ativa e independente.

## 4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO ATUAL DA MONTAGEM DE *FOIL*

Este capítulo apresenta a descrição e análise crítica da situação atual da montagem de *foil* na empresa. Para esta análise e posterior resolução dos problemas identificados, recorreu-se às etapas da metodologia DMAIC. O primeiro passo foi a caracterização do foco do projeto, tendo por base as necessidades da empresa, bem como a janela temporal de investigação. Posteriormente, procedeu-se ao histórico de dados, que viria a permitir definir o objetivo e segmentar toda a linha de pensamento até à causa raiz. Este capítulo contempla as fases *Define*, *Measure* e *Analyze* do ciclo DMAIC.

### 4.1 Apresentação do projeto e do componente em estudo

O projeto para esta dissertação foi selecionado, atendendo à alta taxa de rejeição de produtos da indústria automóvel, sobretudo sistemas de instrumentação na Bosch, devido a defeitos num componente, comprado a fornecedores, designado de *foil* que está apresentado na Figura 10.

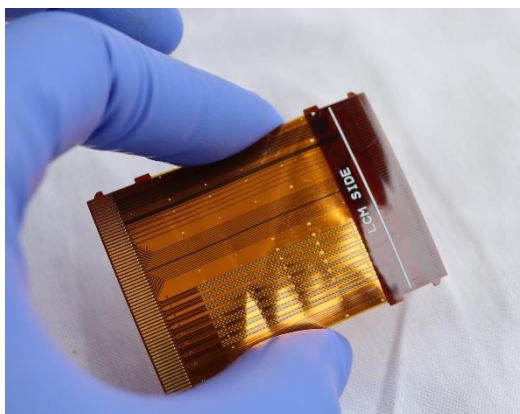


Figura 10 - Componente usado na indústria automóvel - *foil*

A *foil* é um componente integrante de vários equipamentos eletrónicos usados no dia-a-dia. Desde radares, câmeras, sensores, sistemas de instrumentação, até aos mais conhecidos, como os telemóveis, televisores e computadores. Com o aumento da procura destes produtos, sucedeu também o aumento do consumo de cabos para fornecimento de energia e transmissão de sinal para esses equipamentos eletrónicos. As *foil* surgiram dessa mesma necessidade, pois são um componente que se refere a qualquer variedade de cabos flexíveis com condutores e apresentam uma grande vantagem relativamente aos cabos convencionais. Atualmente, as *foil* desempenham um papel fulcral na indústria automóvel, em componentes relevantes para a segurança, bem como em componentes de conforto e entretenimento.

A função primordial da *foil* é garantir a comunicação entre duas estruturas. Nos produtos abordados na presente dissertação, a *foil* assegura a passagem de informação entre o *display* e a placa *Printed Circuit Board* (PCB), o que, por sua vez, permite que o utilizador usufrua da função primordial do produto: visualizar imagem no ecrã.

Os tipos de *foil* incluídas no projeto são as seguintes:

- *Flat Flexible Cable* (FFC): trata-se de cabos elétricos planos e flexíveis. Consiste em condutores retangulares planos, dispostos em paralelo, em “*sandwich*”, com dois filmes de resina (um na parte superior e outra na inferior) e laminados por um adesivo. A espessura de um cabo plano flexível está entre 100 e 300  $\mu\text{m}$ . Um exemplo desta *foil* está representada na Figura 11a.
- *Flexible Printed Circuit* (FPC): um circuito impresso flexível consiste numa camada metálica de traços, geralmente cobre, ligados a uma camada dielétrica, habitualmente poliamida. A espessura da camada de metal pode ser muito fina ( $<0,0001$  ") a muito grossa ( $> 0,010$ " ) e a espessura dielétrica pode variar de 0,0005 "a 0,010". É, frequentemente, usado um adesivo para ligar o metal ao substrato, mas outros tipos de ligação, como a deposição de vapor, podem ser usados para fixar o metal. A *foil* FPC distingue-se pela capacidade de desempenhar mais funções do que a FFC. Internamente, as *foil* FPC têm uma margem de 0,3 mm entre o limite dos contactos e o limite da *foil*. As FPCs estão ilustradas na Figura 11b.

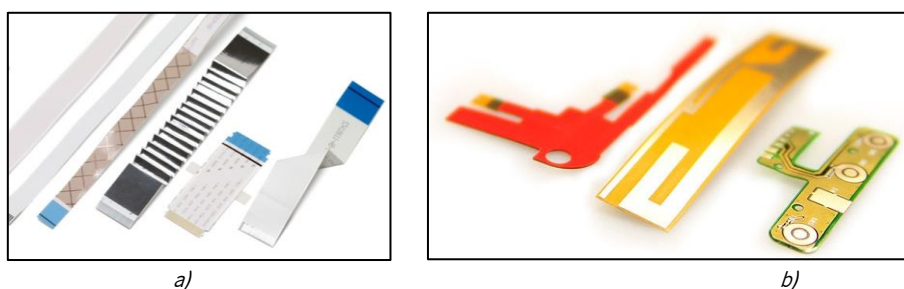
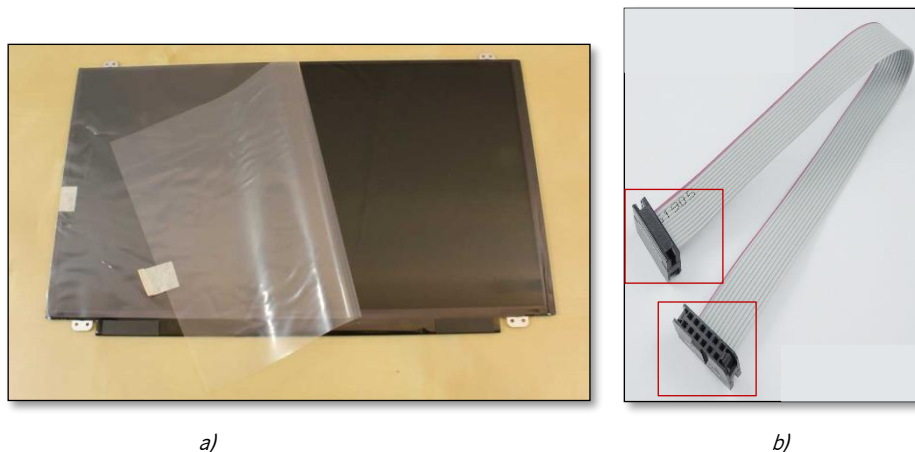


Figura 11 – Tipo de *foil*: a) Flat Flexible Cables; b) Flexible Printed Cable

As *foil* que não estão contempladas neste projeto são as expostas na Figura 12 a) e b).



a) b)  
 Figura 12 - Tipos de foil não contempladas no projeto: a) Foil protetora; b) Flat Ribbon Cable com IDC

A estrutura geral da *foil* compreende oito materiais dispostos em camadas, tal como apresentado na Figura 13.

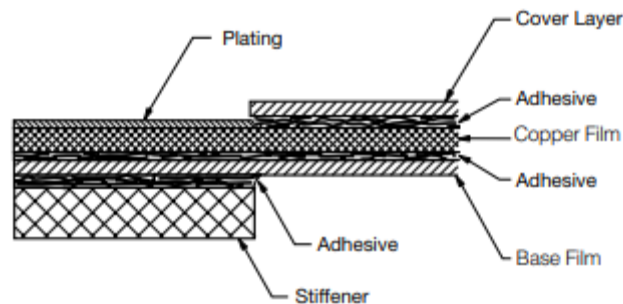


Figura 13 - Estratificação generalizada das foil

O processo sob estudo é o processo de montagem das *foil*, como representado na Tabela 8.

Tabela 8 - Processo generalizado de montagem de foil

Abrir o conector.	Inserir FFC/FPC.	Fechar o conector.

Este processo é sempre precedido do sistema de inspeção da montagem feita. Esta inspeção pode ser feita de duas formas distintas: por um robot AOI ou por um conjunto de câmeras, colocadas na parte superior do posto de trabalho.

Nas Figura 14 e Figura 15, encontra-se representada a nomenclatura detalhada das várias partes da *foil*, que serão várias vezes nomeadas ao longo dos próximos capítulos.

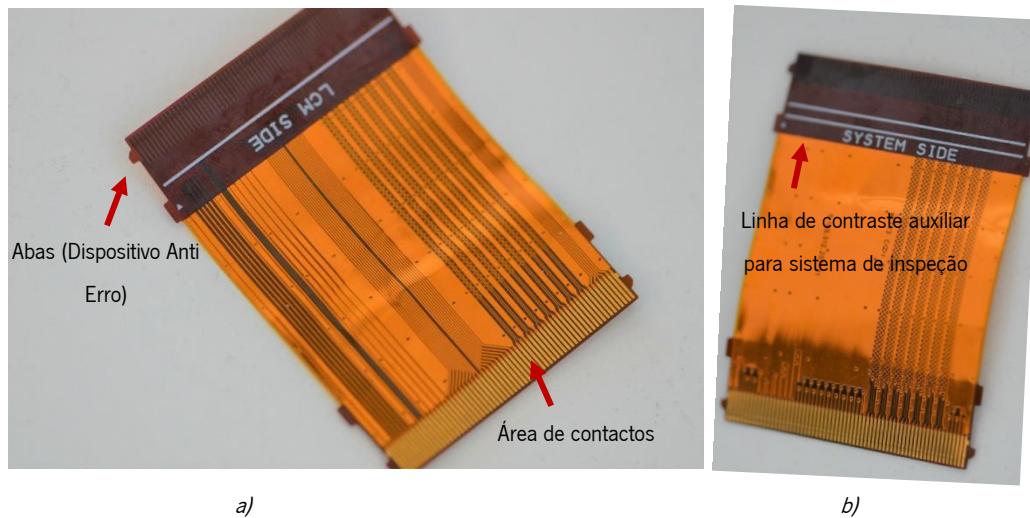


Figura 14 - Foil -composição a) lado 1; b) lado 2

Na Figura 14 a), destaca-se o dispositivo anti erro, em forma de aba, criado com o intuito de o operário saber exatamente onde encaixar a *foil*. A zona de contacto, também destacada na imagem, corresponde à área onde o conetor irá ligar. A(s) linha(s) branca(s) introduzidas em alguns modelos têm como objetivo auxiliar os métodos de inspeção na criação de contraste entre as superfícies. O conetor é o componente onde a *foil* é inserida e é constituído pelos pinos de conexão (um ponto de contacto por cada *pad* da *foil*), pelas abas anti erro que encaixam nas abas da *foil*, e pelo *flap*, que é aberto para a inserção da *foil* e fechado quando a mesma já se encontra montada. Cada *foil* é montada em dois conectores, um em cada extremidade.

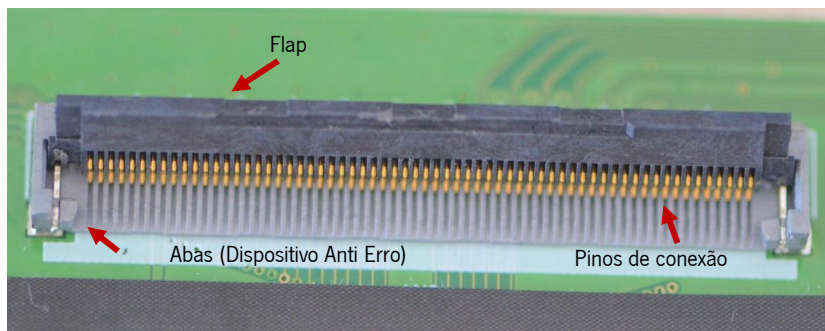


Figura 15 - Conetor relativo à foil

Uma *foil* mal conectada, danificada, um conetor aberto ou entreaberto, ou outro tipo de falha neste componente, fazem com que o ecrã deixe de funcionar como planeado, constituindo um defeito. Sendo a *foil* uma peça com um custo irrisório, máximo de 1€/peça, não constituiria uma grande perda substituí-la quando o defeito fosse encontrado internamente. O desafio reside exatamente no facto de defeitos associados às *foil* serem cada vez mais encontrados externamente, no cliente, reduzindo a satisfação dos mesmos, contribuindo para uma entrega não conforme e elevando a ordem dos prejuízos. Sendo este um dos quinze problemas mais críticos na empresa em questão,

vários estudos foram feitos ao longo dos últimos anos, por várias equipas, ainda que sem resultados visíveis.

## **4.2 Análise crítica e identificação de problemas**

A análise crítica à situação atual da montagem das *foil* foi realizada recorrendo a visitas à linha (*gemba*), análise documental e gráfica e envolvimento de áreas distintas com perspetivas singulares.

Numa fase inicial, foram coletados todos os dados referentes a reclamações externas de *foil*, isto é, *foil* com reclamações 0 km – reclamações feitas pelo consumidor direto da empresa, relativas a unidades defeituosas sem quilometragem – e de campo – reclamações de unidades por parte do consumidor final, relativas a unidades com quilometragem. A coleta de dados supramencionada deu origem a uma base de dados que ilustra os defeitos ocorridos, o efeito produzido na unidade, a data de produção da unidade, bem como os dados de peça.

Posteriormente, foi adicionada uma análise interna, com o intuito de compreender a presença dos defeitos verificados em reclamações externas nas instalações da fábrica. Esta análise de defeitos interna mostrou-se morosa, o que levou a equipa a criar um sistema padronizado de categorização interna de dados e respetiva coleta, explorado na secção 5.1 Padronização da coleta de dados. Ainda na fase de definição do problema e dimensionamento do foco, foram listados todos os produtos em produção com *foil*, os fornecedores de *foil* e respetivos conetores associados a cada modelo, e o(s) tipo(s) de *foil* (FPC ou FFC) correspondentes. Um excerto dessa lista encontra-se no Apêndice I.

### 4.2.1 Análise de defeitos e orientação do projeto

Com o intuito de compreender a situação atual, foi realizada a análise exploratória de dados. Esta empregou alguma variedade de técnicas gráficas e quantitativas, visando maximizar a obtenção de informações ocultas, descobrir tendências em determinadas variáveis, e/ou detetar comportamentos anômalos.

O primeiro foco foi avaliar os dados relacionados com as reclamações externas, visto que são as que se traduzem numa diminuição da qualidade entregue e, conseqüentemente, num aumento de custos associados aos defeitos.

Na Figura 16, constata-se que, ao longo dos últimos dois anos, contaminação e *foil* mal montada foram os principais defeitos externos. Conclui-se ainda, que de 2018 para 2019, houve um crescimento no número de defeitos, do qual se pode deduzir uma tendência crescente de reclamações ao longo do tempo, mesmo com as ações de melhoria introduzidas no processo de montagem de *foil* ao longo de 2018.

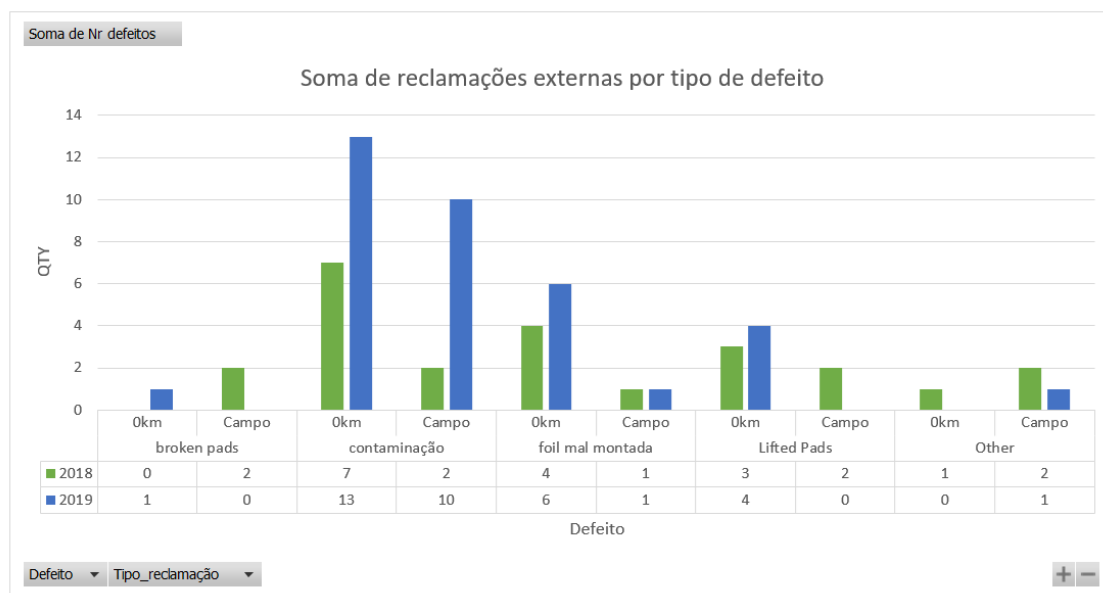


Figura 16 - Reclamações externas por tipo de defeito

Seguiu-se uma análise debruçada na percentagem de reclamações externas por produto, subdividindo os casos em que a reclamação estaria relacionada com uma *foil* FFC, com uma *foil* FPC ou com o conector. Desta, apurou-se que o produto BMW 4.1 tem uma grande incidência de defeitos em *foil* FPC e, pelo contrário, a Porsche tem uma maior incidência nas *foil* FFC - Figura 17.



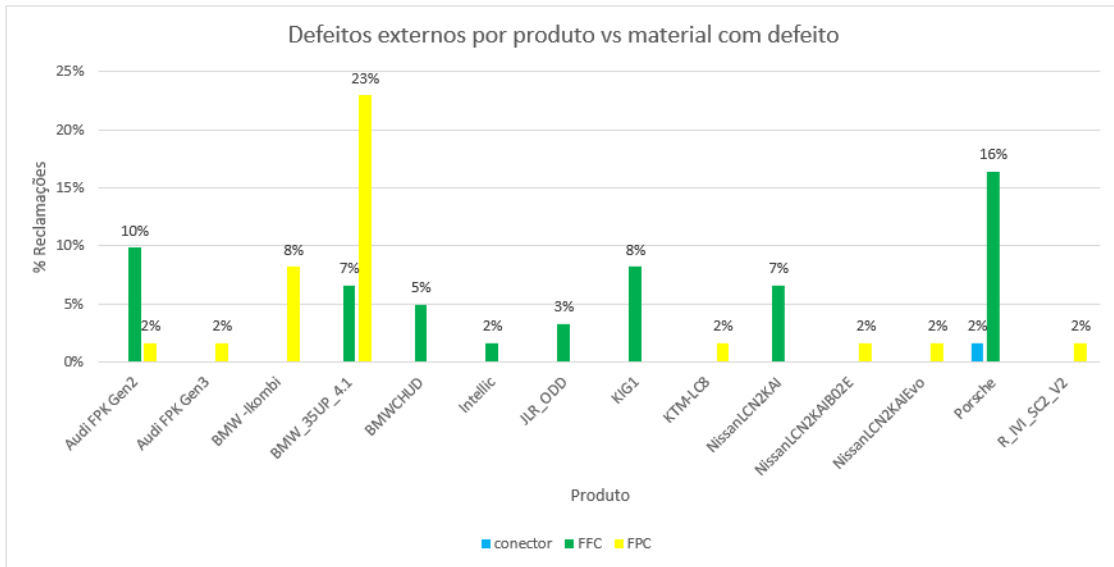


Figura 17 - Defeitos externos por produto vs material com defeito

Em relação à rejeição interna, o total somado em 2019 foi de 189 defeitos, nos quais não existe uma tendência em relação a turnos, tipos de *foil* ou produtos. Numa fase primordial do projeto, quando a coleta de dados era feita de forma precária, morosa e pouco fiável, o número total de defeitos internos em 2019 somava apenas 48.

#### 4.2.2.1. Processo lento e pouco fiável na recolha de defeitos

Ao tentar fazer a análise de defeitos, percebeu-se que esta não era fácil pois implicava um processo que era moroso, no qual se recorria, manualmente, à pesquisa de informações em inúmeras pastas e emails. Em consequência, muita informação ficava perdida, resultando em dados não realistas. O processo de coleta de dados encontra-se representado na Figura 18.



Figura 18 - Processo de coleta de dados da situação inicial do projeto

Inicialmente, abria-se a pasta do ano desejado, seguia-se para a escolha do mês, seguido do dia desse mês e, finalmente, tinha-se acesso a todas as pastas correspondentes aos defeitos Reportados nesse dia. Na área de *problem solving*, cada novo projeto exige a definição da situação atual, o que, geralmente, reflete os defeitos existentes do mesmo gênero na janela temporal de um ano. Tendo em conta o processo de coleta de dados existente, o mesmo pode demorar cerca de 12 horas e, devido à migração de pastas e conseqüente perda de dados, bem como ao fator de concentração humano, o resultado obtido geralmente não era fiável e mostrava ser incoerente entre departamentos e pessoas.

Assim, atendendo a estas fragilidades no processo de coleta de dados, foi necessário criar um procedimento para assegurar a correta e padronizada recolha de informação. Este surgiu de duas necessidades fulcrais:

- Promover a coerência de dados entre departamentos;
- Tornar a coleta de dados mais eficiente, fiável e rápida.

Com o procedimento criado, conseguiu-se chegar aos 189 defeitos, sendo este o número usado no cálculo do objetivo do projeto.

#### 4.2.2.2. Tipos de defeitos mais frequentes

Os tipos de defeitos mais frequentes na fábrica podem ser encontrados em diversas áreas. A distribuição dos mesmos pelas áreas pode ser consultada no gráfico da Figura 19, distribuído pelos três tipos de produtos em que os defeitos apareceram: IS (*Instrument System*), DI (*Drive Infotainment*) e Null, quando o defeito é encontrado numa placa PCB que poderá ser usado em qualquer produto. Deste gráfico, percebe-se que grande parte dos defeitos são relacionados com as placas PCB, podendo pertencer ao IS ou DI, seguido dos sistemas de instrumentação.

Internal Rejection

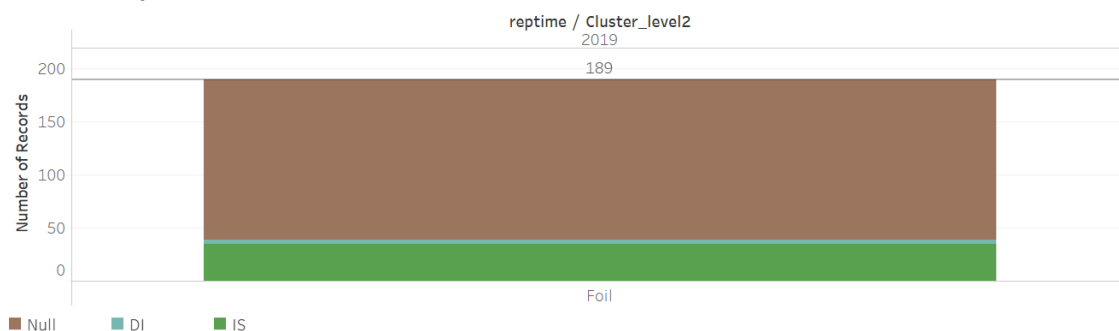


Figura 19 - Rejeição interna em 2019 por tipo de produto

A par com as presentes análises, recorreu-se ao gráfico Pareto para classificar defeitos com base na sua ocorrência (Figura 20). O Pareto permite adicionar a importância baseada na severidade

do defeito, custo ou em qualquer outra métrica relevante. Através da multiplicação da contagem do defeito pela métrica de importância, foca-se nos defeitos com maior impacto para a organização em causa. Para a Figura 20, apenas a quantidade foi considerada.

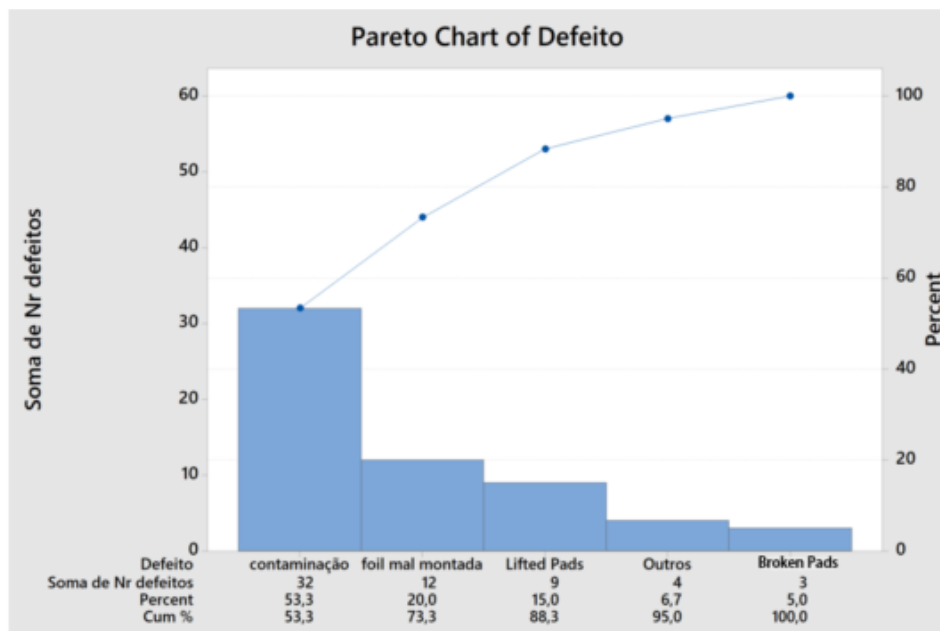


Figura 20 – Principais tipos de defeitos representados no gráfico de Pareto

Note-se que cerca de 90% das reclamações de *foil* advêm de contaminações, *foil* mal montadas e *Lifted Pads*.

Somam-se a estes defeitos, o precário sistema de inspeção da montagem das *foils*, que permitia que os mesmos passassem para o cliente. Nessa inspeção, a luz ambiente e os reflexos têm um grande peso no resultado final, podendo deturpar as conclusões. Isto acontece por se tratar de um sistema de inspeção precário, que não tem em consideração todas as variáveis necessárias, por falta de dados.

Seguem-se dois exemplos do posto de inspeção de *foils* (Figura 21).



Figura 21 - Exemplos de sistema de inspeção da montagem de foils

Ambos pertenciam ao mesmo produto, em linhas distintas, sendo, no entanto, diferentes. No exemplo à esquerda, como tentativa de controlar a luminosidade, colocou-se fita cola a tapar o candeeiro do posto de trabalho. No exemplo à direita, colocou-se uma placa extra no topo do posto para minimizar os reflexos. A luminosidade nos dois postos do mesmo produto era distinta, criando diferentes critérios para a realização da inspeção. A diferença de critérios acentua-se com a definição de limites de variáveis. Uma vez não estando pré-estabelecidos os valores correspondentes a variáveis necessárias, o processo é melhorado por tentativa-erro. Se, num momento, numa linha, há muitas unidades boas a dar “MAU” na inspeção, o técnico é chamado a aumentar os limites; se, pelo contrário, há muitas unidades más a dar “BOM”, o técnico encarrega-se de diminuir os limites. Este processo acontecia diariamente em todos os produtos, sem exceção.

#### *4.2.2.3. Formação da equipa para o projeto e custos de reclamações associadas aos defeitos*

Uma equipa multifacetada foi reunida para colaborar no projeto, de forma a incentivar a partilha de distintas perspetivas e corroborar ideias pré-estabelecidas, com fundamentos baseados apenas na informação de um só departamento. Assim, a equipa foi composta por:

- Um representante de análises químicas;
- Um elemento de análises cosméticas;
- Um membro da equipa de especialistas de montagem eletrónica e responsável pelas regras de montagem e desenho das especificações das *foil*;
- Um representante da área de qualidade do produto na montagem, em representação dos colaboradores e das suas dificuldades técnicas e rejeições internas;
- Um responsável dos sistemas de teste e inspeção.

Ao longo do projeto, mais de trezentas pessoas foram envolvidas, desde operários, equipas de desenvolvimento, entre outros. No entanto, a equipa principal foi a supramencionada e é sobre esta que recai a monitorização semanal de tarefas e conquistas.

Uma vez que o projeto foi extenso, a equipa decidiu prosseguir a análise de todos os defeitos, à exceção da contaminação que já tinha as causas *raizes* bem definidas e que poupou esforços no foco da equipa na fase inicial.

Tinha-se conhecimento, então, que o prejuízo relativo a *foil*, só de reclamações externas em 2018 e 2019 somava um total de 267 000€, dos quais apenas 111 000€ correspondiam a 2018, o

que indicava uma tendência crescente de prejuízo. Os custos de rejeição interna e custos de imagem não estavam contemplados nos valores apresentados.

Os valores relativos a perdas monetárias, foram calculadas considerando:

- Custo standard de reclamação OKm: 2 000€;
- Custo standard de reclamação Campo: 9 000€;

Após ter a orientação do projeto definida, a equipa focou-se em aglomerar os fatores que influenciavam de alguma forma a montagem da *foil*, da qual surgiu, através da categorização, o diagrama de *Ishikawa* da Figura 22 com as principais causas e secundárias para as *foil* danificadas.

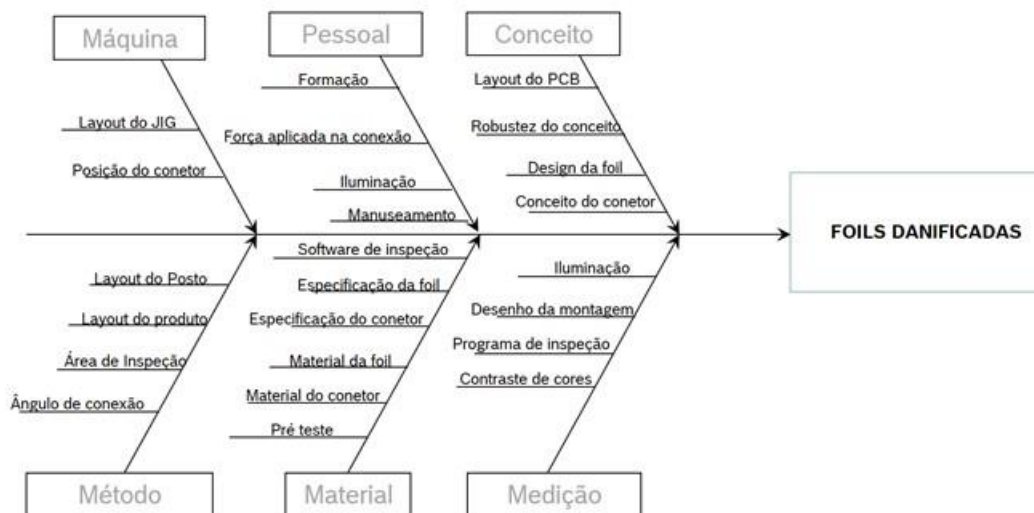


Figura 22- Causas das foil danificadas representadas num diagrama de Ishikawa

Posto isto, foi calculado o objetivo do projeto, tendo por base a situação atual. A janela temporal de histórico para o cálculo foi de 01/01/2019 até 31/12/2019, com um total de 9 272 869 unidades produzidas, das quais 225 tiveram defeitos relativos às *foil*. A situação apresentada gerava um total de 24,3 defeitos por milhão de oportunidades e um  $z=5,56$ . Uma vez que  $z>3$ , a redução prevista seria de, pelo menos, 50%, o que culminava no objetivo de atingir um  $z= 5,72$ , o que corresponderia a 12,1 defeitos por milhão de oportunidades (Figura 23).

Process Sigma Calculation								
Project	Defects	Units	DPU	Opport	Total Opp	DPO	DPMO	s+1.5s
Montagem de Foils	225	9272869	0,0000	1	9 272 869	0,000024	24,3	<b>5,56</b>

<b>GOAL</b>	Z <= 3 => DPMO Reduction by 90%	New DPO	New DPMO	s+1.5s
	Z > 3 => DPMO Reduction by 50%	0,000012	12,1	<b>5,72</b>

Figura 23 - Cálculo do Sigma do Processo

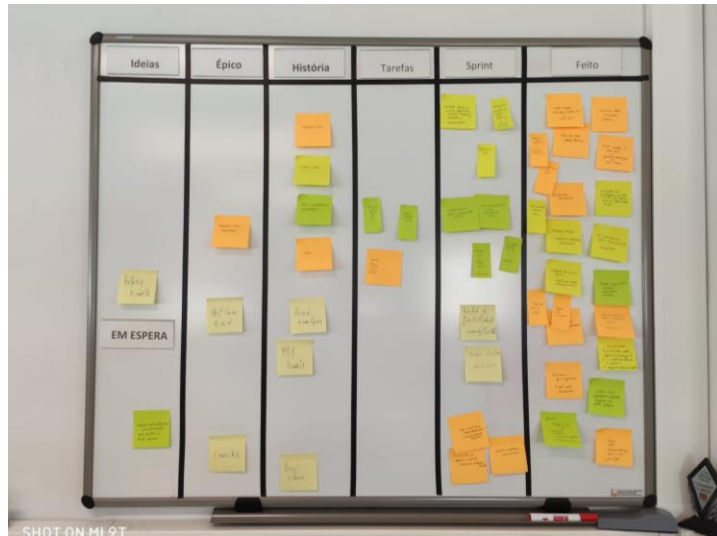
Estimou-se um prejuízo associado às *foils*, em 2019, de cerca de 156 189€.

A informação relativa à fase “*define*” generalizada pode ser vista, de forma superficial, no *Project Charter*, ilustrada na Figura 24.

PROJECT CHARTER	
Nome do Projeto	Montagem de Foils
Problema	Durante 2019, na Bosch Braga, foram detetados 225 casos de foils rejeitadas (189 defeitos internos e 26 reclamações externas). Isto soma um total de 156 189€ de prejuízo.
Foco do Projeto	Lifted Pads, Broken Pads, Foils mal montadas e Contaminação
Indicadores Chave do Projeto	Equipa
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejeição Interna</li> <li>• Reclamações OKM</li> <li>• Reclamações Campo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualidade do Sistema e Processo (QMM6)</li> <li>• Testes, Fiabilidade, auditorias ao produto e calibração (QMM7)</li> <li>• Qualidade e Engenharia do produto (QMM8)</li> <li>• Assistência ao cliente e gestão de projetos de qualidade (QMM9)</li> <li>• Laboratório de Análises de falhas na garantia (QMM-FA)</li> <li>• Qualidade do Produto (QMM1)</li> <li>• Montagem Industrial – Centro de Competência (MFT5.2)</li> <li>• Teste de Engenharia Simultâneos (MFE3)</li> <li>• Montagem Industrial (MFE2)</li> <li>• Operações de Manufatura e Engenharia (MOE2)</li> </ul>
Objetivo	
Reduzir a taxa de rejeição de foils. Passar de z= 5,56/ 24,3 ppm para z=5,72 / 12,1 ppm.	
Linha Temporal	
Define: 12.11.2019 -12.12.2019; Measure: 12.12.2019 – 25.01.2020; Analyze: 25.01.2020 – 25.03.2020 Improve: 25.03.2020 – 30.07.2020; Control: 30.07.2020 – 30.08.2020	

Figura 24 - Project Charter

Para a gestão da equipa recorreu-se à ferramenta ágil *Scrum* e a uma *One Point Lesson* (OPL) (Figura 25).



a)

N°	ENTRY date	Priority	Fundamental_Problem / Activity	Entry_Description	Responsible	Dates				Status	Entry_infos	Entry_Findings / Next_Steps
						Plan	Do	Check	Close Adjust			
1	06.01.2020	Low	Broken Pads Reliability Test	> High (highly accelerated life test) > w/ vibration and temperature > w/ complete units (assembled) > at least using one of the rejected units of a new foil and others completely new	Souza, Sozaberto (CMQ/M-VRB)	06.01.2020	09.01.2020			OPEN	> Foils we need to get specifications of maximum temperature reached by LED PCB (100°C) > Max temperature supported by LED Foil (100°C) > Since theoretically there's no gap, let's find out for real if the LED PCB reaches more than 100°C w/ the help of the next task	HOLD ON
2	07.01.2020	High	Broken Pads Test to discover functional temperature of LED PCB - EFW/CHLD	> w/ 2 different IS (one rejected unit & a new one) > Turn the device on and let it work during an afternoon, in the end check its temperature	Sannoo Tolino (BjP/QM/FAZ)	07.01.2020	08.01.2020	08.01.2020	08.01.2020	CLOSED	> First test w/ rejected unit - 32° reached (not conclusive since the dissipation area is bigger than when it is connected in the car) > The test with the good unit was not done. Instead, task 4 was planned.	task 4
3	07.01.2020	Medium	Lifted Pads Share results of incoming inspection w/ supplier (Damen KIC)	> Ask for an opinion on what could be the source of those effects (process risk analysis) > Ask for a good practice guide when using such foils	Souza Anabela (M-FQA/VRB/P)	07.01.2020	08.01.2020	08.01.2020	13.01.2020	CLOSED	> 17 units w/ symptoms of defect > Supplier answered	
4	08.01.2020	High	Broken Pads Test to understand temperature effects	> Tests to be executed (Keep the same units across all tests) 5 units on the oven - 7h @ 40° 5 units on the oven - 7h @ 60° 5 units on the oven - 7h @ 80° 5 units on the oven - 7h @ 100°	Cardoso Teresa (BjP/QM/M14)	10.01.2020	10.01.2020	13.01.2020	14.01.2020	CLOSED	No symptoms observed during the test.	task 6

b)

Figura 25 – Ferramentas de gestão de equipa: a) Scrum, b) One-Point-Lesson

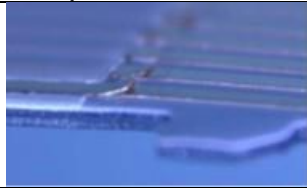




A partir desta fase, o estudo foi dividido nas três categorias pré-selecionadas, mencionadas nas próximas secções, nomeadamente, para os defeitos *Lifted Pads*; *Broken Pads* e *foil* mal montada.

#### 4.2.2.4. Categorização de defeitos

Para que o problema fosse passível de ser analisado graficamente e para que houvesse coerência entre colaboradores, sentiu-se a necessidade de caracterizar os tipos de defeitos presentes nas reclamações externas. Até então, a nomenclatura dos defeitos registados não era padronizada, isto é, o que por uns era considerado “*Foil Danificada*”, poderia também ser chamado de “*Foil Damaged*”, “*Flat Cable Damaged*”, entre outros. Esta liberdade na descrição de falha originou uma quebra na eficiência da equipa, uma vez que cada caso foi visto singularmente para identificar um padrão de defeitos e atribuir-lhe nome. Esta caracterização deu origem às seguintes nomenclaturas (Tabela 9) e tornou a análise de defeitos estatística mais simples e coordenada.



Tabela 9 - Categorização de defeitos

Defeito	Ilustração	Descrição
<i>Broken Pads</i>		O defeito ilustrado apresenta os contactos partidos em lascas, diagonalmente em profundidade.
<i>Lifted Pads</i>		O defeito representado corresponde ao levantamento dos contactos nas extremidades das pistas. Pode apresentar-se no lado esquerdo, direito, no meio, ou até mesmo ser transversal a todos os contactos.
<i>Foil</i> mal montada		O defeito em questão pode representar-se sob a forma de conetores abertos ou entreabertos, <i>foil</i> montadas não paralelamente ao conetor, ou semelhantes.
Contaminação		O defeito ilustrado refere-se a corpos estranhos presentes na <i>foil</i> ou no conetor.
Outros		O defeito pode incluir <i>foil</i> cortadas, má conexão entre a <i>foil</i> e o <i>display</i> , pistas cortadas e outros casos pontuais.

Os casos englobados em “Outros” não são alvo de estudo no projeto, uma vez que se tratam de defeitos específicos e esporádicos. As secções seguintes apresentam com maior detalhe os três primeiros defeitos, seguindo as fases do *define*, *measure* e *analyse* do DMAIC. A contaminação não foi incluída neste estudo inicial, uma vez que várias investigações anteriores já haviam chegado às suas causas raízes. Assim, no caso da contaminação nas *foils*, o estudo passou diretamente para o *improve*, poupando esforços à equipa.

#### 4.2.3 Defeito “*Lifted Pads*”

Nesta secção são apresentados os estudos feitos relativamente ao defeito “*Lifted Pads*”, segundo a metodologia e estrutura DMAIC.

##### 4.2.3.1. *Define*

Para definir o problema, neste caso, o defeito “*Lifted Pads*”, inicialmente, foi feita uma caracterização subjetiva do defeito supramencionado. Através da mesma, foi possível definir o foco do problema, incluindo na análise todas as *foil* com contactos levantados em qualquer uma das



extremidades. Foi feito o levantamento de reclamações externas com o padrão referido e uma posterior linha temporal com as mesmas, representada na Figura 26.

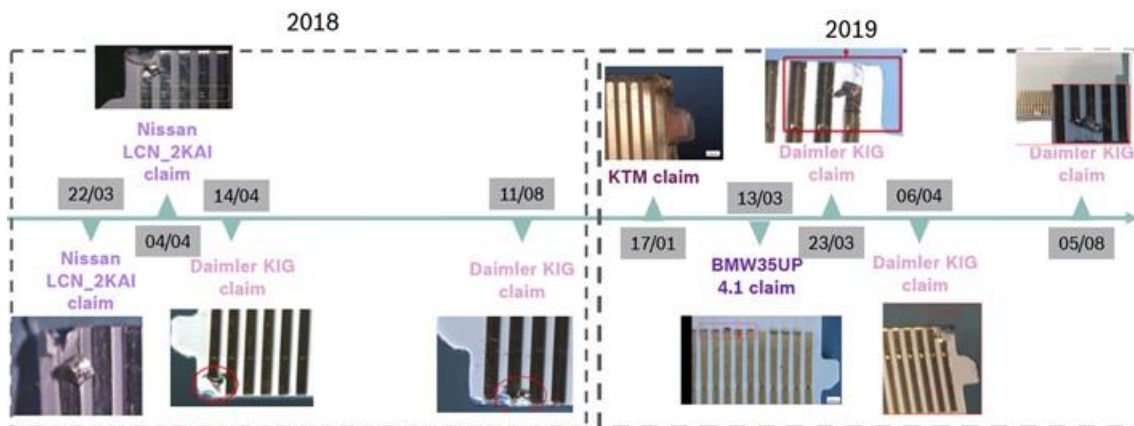


Figura 26 - Timeline de reclamações externas devido a Lifted Pads

Para que fossem estudadas possíveis tendências por modelo/localização do defeito, procedeu-se, ainda, à seguinte coleta de dados, correspondente à contagem de anomalias por localização dos contactos (Figura 27).

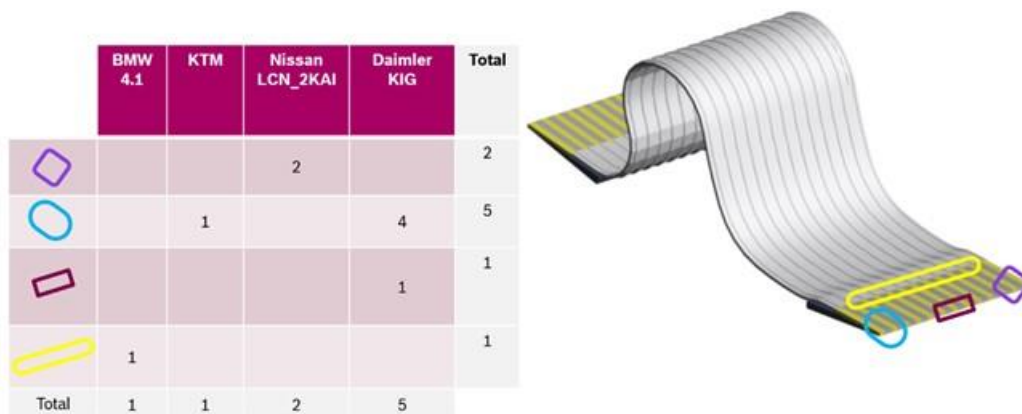


Figura 27 - Registo de contagem de reclamações externas por localização nos contactos

Desta análise, despistou-se a hipótese de haver tendências, com exceção apenas num dos modelos, no qual o defeito tem uma clara propensão a acontecer na zona direita, representada a azul claro na Figura 27.

Em termos percentuais, há uma grande incidência no modelo da Daimler KIG, representando 56% das reclamações externas realizadas devidas ao defeito, como se pode ver no gráfico da Figura 28.

## OKM and Field claims quantity 2017-2019

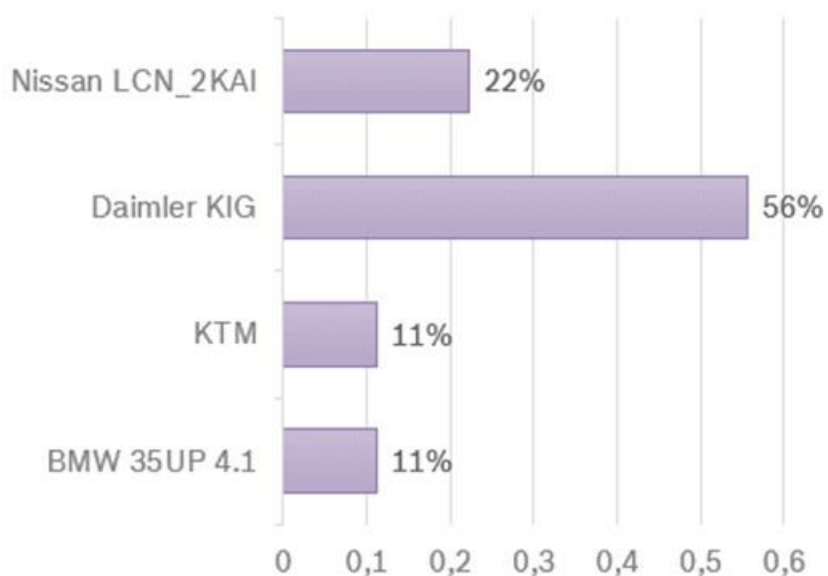


Figura 28 - Representação percentual de reclamações externas do tipo "Lifted Pads" por produto

### 4.2.3.2. Measure

Para a etapa de medir, elaborou-se a descrição dos processos de montagem de *foil* dos quatro produtos referenciados com os sintomas do defeito "Lifted Pads". O objetivo da análise do mapeamento de processos seria perceber se a montagem do mesmo poderia influenciar a criação do levantamento dos contactos. Todavia, os processos teoricamente descritos apresentavam uma margem indefinida correspondente à margem de influência humana na realização da tarefa de montar *foils* e, por essa razão, foram planeadas *Line Walks*. Essas *Line Walks* contaram com a participação da equipa envolvida de várias áreas, focada em encontrar riscos inerentes ao processo e ambiente envolvente. Os fluxogramas relativos ao processo de montagem dos produtos em questão, encontram-se no Anexo III. O mapeamento de processos do produto mais afetado por *Lifted Pads*, encontra-se a seguir demonstrado (Figura 29).

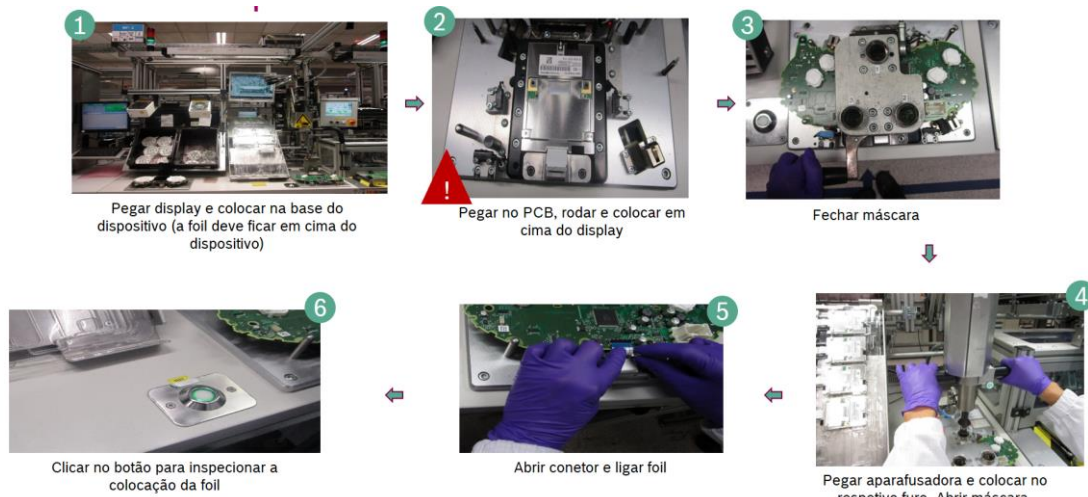


Figura 29 - Processo de montagem de foils no produto mais afetado por Lifted Pads

Ainda nesta fase, através do diagrama de *Ishikawa* elaborado na fase embrionária do projeto, apresentado na secção 4.2.2.3, com todos os fatores influenciadores dos danos na *foil*, procedeu-se a uma categorização específica para o defeito em causa, usando-se diferentes cores para melhor identificação, da seguinte forma:

- Provavelmente a causa raiz - vermelho;
- Potencialmente a causa raiz - amarelo;
- Não é a causa raiz - verde.

É de realçar que este diagrama é dinâmico e que, portanto, as cores das variáveis foram alteradas com o decorrer da investigação. O diagrama encontra-se ilustrado na Figura 30.

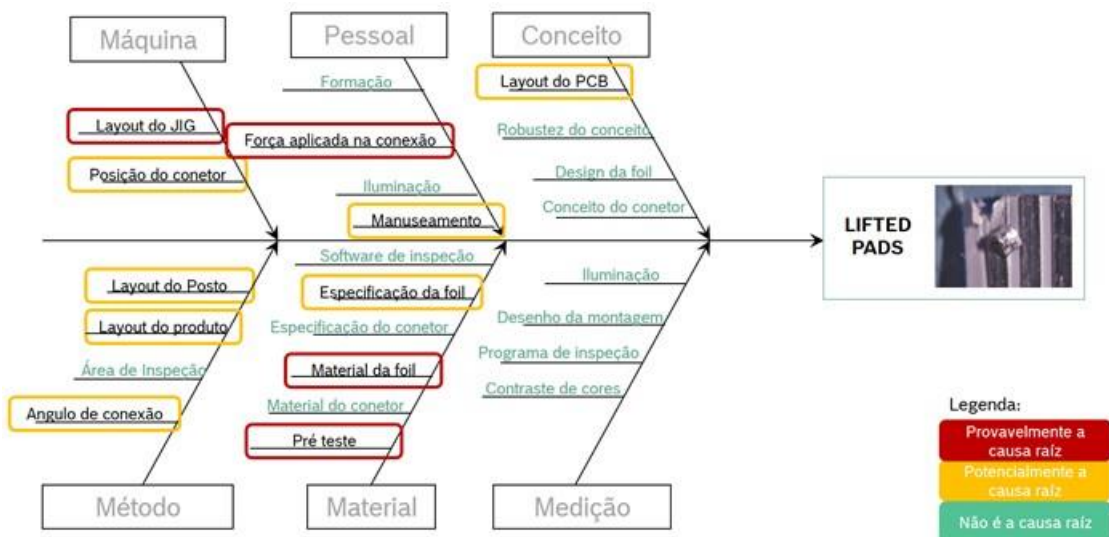


Figura 30- Diagrama Ishikawa para o defeito Lifted Pads

#### 4.2.3.3. Analyze

Nesta fase de maturidade, realizaram-se testes e experiências de forma a afunilar o estudo, com o objetivo primordial de alcançar a causa raiz. Para isso, as atividades realizadas foram as apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Atividades realizadas para encontrar a causa raiz

Número	Descrição da Atividade	Categoria Ishikawa
1	Executar inspeção à entrada das <i>foil</i> durante 3 semanas; partilhar resultados com fornecedor;	Material
2	Análise de risco: Transporte e <i>Repackaging</i> ;	Método
3	<i>Line Walk</i> aos produtos que apresentaram o defeito;	Método
4	Elaborar testes de simulação juntamente com departamento de desenvolvimento; compreender especificações das <i>foil</i> por parte do desenvolvimento;	Conceito
5	Verificar os documentos <i>Process Rules for Engeneering (PRE)</i> e <i>Process Rule for Production (PRP)</i> ;	Conceito
6	Simulação do defeito em laboratório – após análise de <i>foil</i> de refugo (atividade 2 da secção 4.2.3 <i>Foil</i> mal montada)	Conceito

Uma inspeção à entrada foi realizada ao longo de três semanas, no produto Daimler KIG, na única *foil* do produto a apresentar este tipo de defeito. As condições da inspeção foram as seguintes:

- Avaliação subjetiva;
- Sem auxílio de instrumento ótico munido de uma lente com capacidade de criar imagens virtuais ampliadas;
- Realização da inspeção antes de qualquer processo produtivo ser aplicado sob o material.

Na Figura 31, podem verificar-se alguns dos sintomas encontrados. Nas condições supramencionadas, foram isoladas um total de 17 unidades com registo de anomalias.

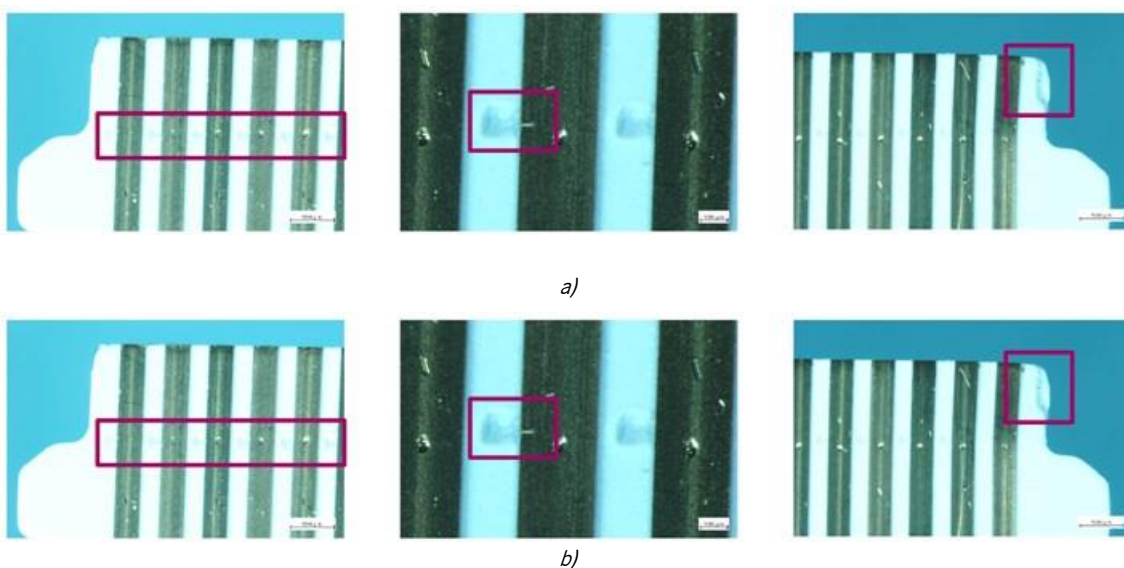


Figura 31 – Sintomas de Lifted Pads encontrados numa inspeção à entrada (1a e b)

Na Figura 31, averigua-se a presença de um pré-teste do fornecedor com evidências de má montagem, uma vez que as picagens estão feitas fora da área de contactos. Consequentemente, a má montagem leva à detioração do material e, potencialmente, a contaminações muito semelhantes às encontradas na fábrica. Ainda nesta figura, examinou-se o efeito “trincado” da *foil* nas extremidades, que evidencia o deficitário sistema mecânico entre a *foil* e o conetor.

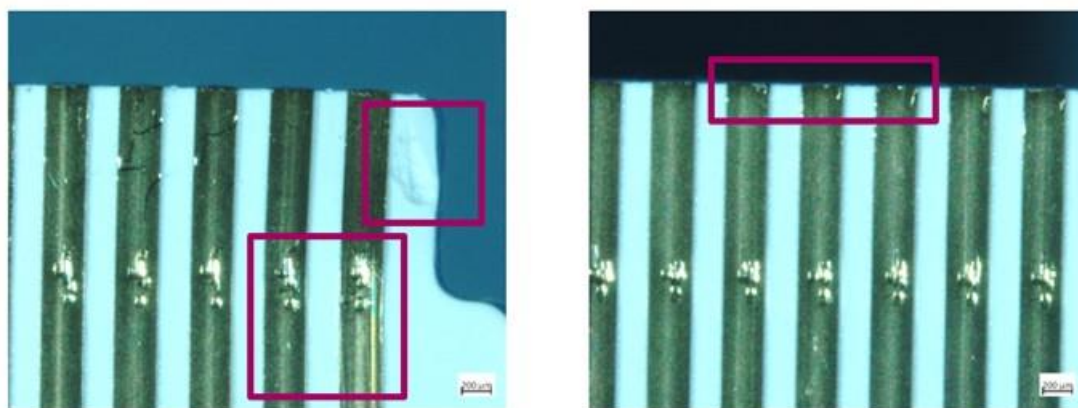


Figura 32 - Sintomas encontrados numa inspeção à entrada (2): Demasiados pré-testes

Na Figura 32, observa-se uma *foil* que apresenta cinco picadas de pré-teste, o que, num material tão frágil, pode acelerar o seu desgaste. Na unidade é possível observar riscos extensos, ao longo dos contactos e nas extremidades, ainda que não sejam profundos o suficiente para tornar a camada de cobre visível.

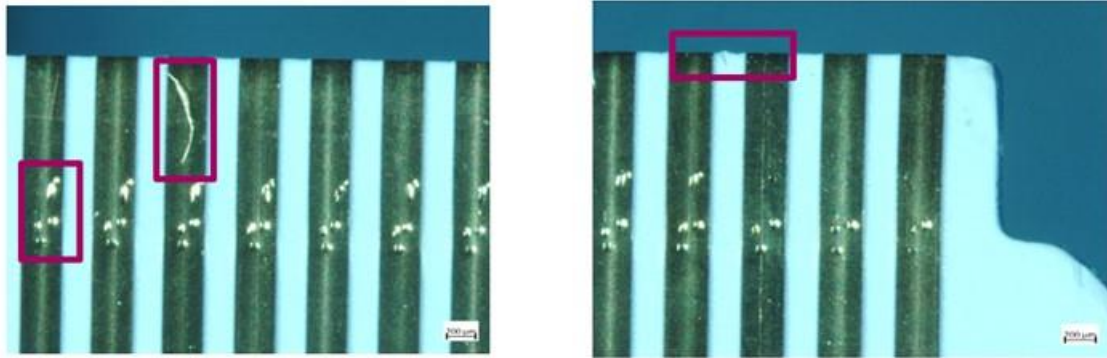


Figura 33 - Sintomas encontrados numa inspeção à entrada (3): Riscos e danos nas extremidades

Na Figura 33, para além dos efeitos anteriormente mencionados, encontra-se ainda a possibilidade de, aquando da conexão da *foil* no pré-teste, se puxar a mesma, criar um risco na área de picagem. À direita, prevê-se um potencial levantamento dos contactos aquando da montagem da *foil*, uma vez que os contactos já aparentam um ligeiro levantamento.

Ainda que as unidades não apresentem o defeito observado nas reclamações externas, é possível verificar sintomas que conferem fragilidade à unidade. Estas anomalias, após inserção da *foil* no conector manualmente, podem evidenciar-se, comprometendo o desempenho geral do produto.

De notar que, sendo as extremidades da *foil*, a parte mais propícia a bater/tocar noutras superfícies, quando esta já vem pré-danificada, muito facilmente se gera o levantamento do contacto. No entanto, uma vez que da zona de contacto para baixo, geralmente, não há danos, a unidade passará nas inspeções internas perfeitamente e o ecrã funcionará. Com as condições de campo, vibrações e variações de temperatura (compressão e dilatação), este levantamento tornar-se-á maior e, assim que o contacto levanta o suficiente para tocar em outro contacto, dá-se um curto-circuito, altura essa em que a unidade deixa de funcionar.

A situação foi partilhada com o fornecedor, de forma a perceber as seguintes questões:

1. Como seriam realizados os pré-testes? Qual o conector usado?
2. Os sintomas apresentados são conhecidos por parte da empresa e qual o risco associado aos mesmos?
3. O que pode ser feito para mitigar estes efeitos?

O fornecedor expôs o seu processo de pré-teste, mencionando que o conector atualmente em uso, alterado em 2017, após reclamação de outra fábrica Bosch, não confere risco ao produto. Adicionou, ainda, que, segundo os critérios de inspeção final internos, as unidades partilhadas estariam “ok”. Da situação foram tiradas algumas lições:



- Priorização de FPCs em detrimento das FFCs, sempre que possível, uma vez que as FPCs têm uma margem entre os contactos e o terminal da *foil*-Figura 34, que eventualmente conferia proteção à *foil* e menor fragilidade;



Figura 34 - Foil FFC e FPC (diferença na extremidade)

- Priorizar pré-testes às *foil* em que a picagem seja mais próxima dos terminais do que a picagem feita na produção. Desta forma, uma vez que a ligação elétrica é feita apenas a partir do ponto de picagem até à extremidade contrária, qualquer dano de picagem anterior à conexão não afetaria o desempenho da unidade;
- Em produtos futuros, ter em atenção os detalhes supramencionados na conceção de especificações e seleção de matéria-prima e fornecedores.

Uma vez analisado o produto à chegada, denotou-se a necessidade de encontrar os fatores que despoletavam o defeito final perante tais sintomas. Assim sendo, foram analisados os seguintes processos:

- *Repackaging*: é efetuada a troca de embalagem das unidades. Os produtos vêm envolvidos em proteções plásticas rígidas, não permitindo que o manuseamento os afete.
- Processo Produtivo: desde o processo de armazenamento das *foil* até à sua montagem foram analisados os riscos potenciais, dos quais se destacaram os seguintes.

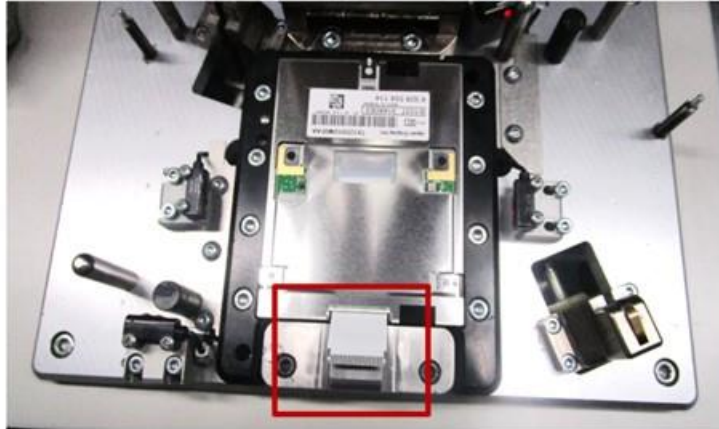


Figura 35 -Display com foil colocado no jig

Como se pode observar na Figura 35, no *jig*, é colocado o *display*. De seguida, prende-se a *foil* no vácuo, como representado na imagem e posteriormente é colocada uma placa PCB por cima. Durante o processo, a *foil* fica com os contactos expostos e existe o risco de tocar com a placa PCB nos mesmos.

Um outro possível risco é o descrito na Figura 36. A placa PCB apresenta um condensador colocado à direita do conetor, muito próximo da zona de colocação de *foil* e, possivelmente, interferindo com a forma de colocação do mesmo. A tendência é colocar primeiro o lado direito da *foil* e só depois o esquerdo, o que pode explicar a propensão para os defeitos ocorrerem quase sempre (4/5) do lado direito neste modelo.

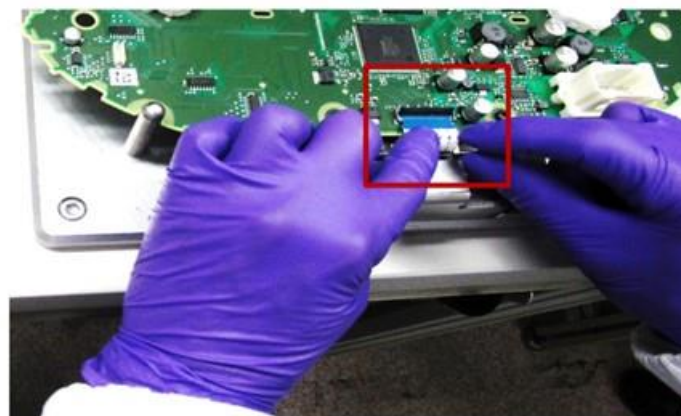


Figura 36 - Montagem da foil



Adicionado a estes, denotou-se que a forma de armazenamento das unidades pode também influenciar o sintoma. A Figura 37 ilustra a forma como os condutores da *foil*, zona sensível na qual deve evitar-se tocar ou manusear, raspam uns nos outros ao retirar as unidades para posterior uso.

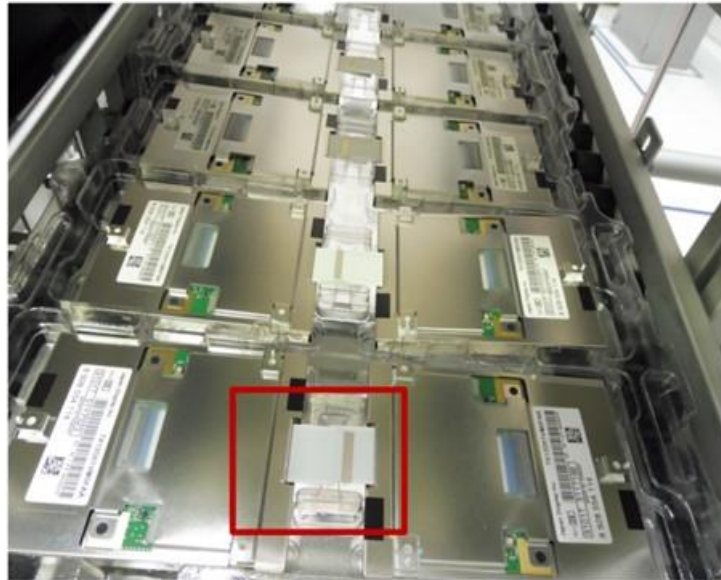


Figura 37 - Armazenamento das foil FPC

No mesmo jig, observou-se a possibilidade de, quando a máscara fecha, o vácuo falhar e, conseqüentemente, os contactos rasparem na estrutura envolvente, como representado na Figura 38.

Foi realizada uma *Line Walk* aos restantes produtos com reclamações externas do mesmo defeito, nas quais não foram encontrados fatores suspeitos.

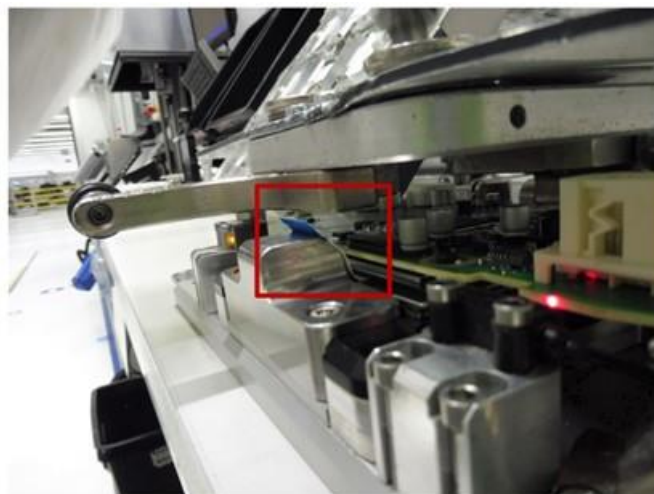


Figura 38 - Posição da foil com a máscara fechada

Uma outra atividade foi desenvolvida, em contexto laboratorial, com o intuito de reproduzir o defeito em questão. Durante a análise às *foil* de refugo (atividade 2 da secção 4.2.3 *Foil* mal montada),

foi encontrada uma unidade com um *lifted pad* e outras pré-danificadas nas extremidades, o que levou a equipa a, uma vez mais, tentar replicar o defeito (Figura 39).

Após algumas tentativas, o defeito estava replicado em mais do que uma *foil*, com mais do que um conetor diferente, excluindo dessa forma a possível influência do material.

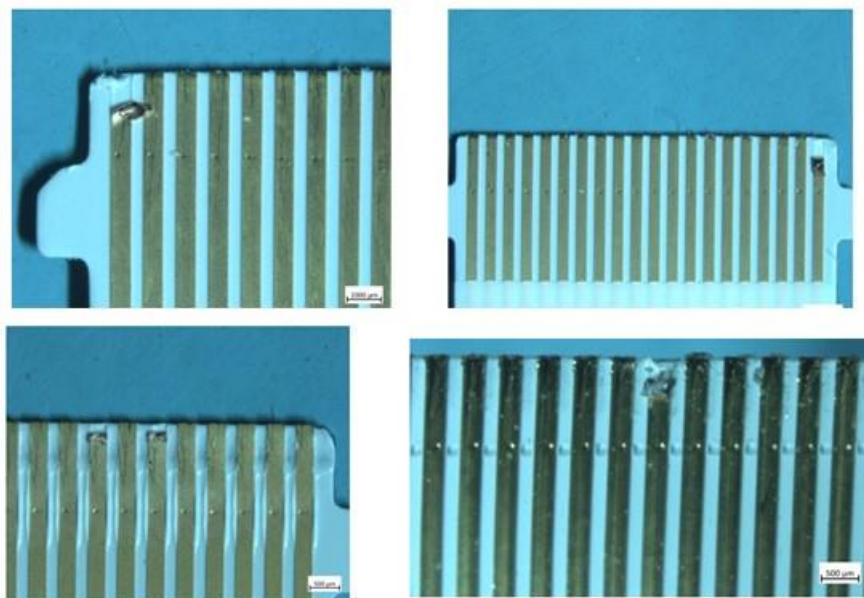


Figura 39 - Modo de falha reproduzido

Assim, a causa *raiz* do problema foi encontrada, denotando-se que passaria pela má montagem da *foil*, como ilustrado na Figura 40. A força aplicada na montagem a chocar contra os pinos inferiores do conetor, para danificar o defeito, dependeriam apenas da fragilidade da *foil* em questão. O defeito foi reproduzido em *foil* do modelo BMW35UP 4.1 e Daimler KIG – *foil* FFC. O mesmo foi tentado numa *foil* FPC, que apresenta uma margem de 0,3 mm entre os contactos e a extremidade plástica, mas não foi possível obter o defeito replicado, o que indica que essa margem confere proteção à *foil*.



Figura 40- Montagem da foil a tocar na parte inferior do conetor

#### 4.2.4 Defeito *Broken Pads*

Nesta secção serão apresentados os estudos feitos relativamente ao defeito “*Broken Pads*”, segundo a metodologia e estrutura DMAIC.

#### 4.2.4.1. Define

Assim como na secção 4.2.3, a primeira etapa do projeto debruçou-se sobre a caracterização subjetiva do defeito. Nesta, foi delimitado o *scope* – apenas as que apresentassem os contactos partidos diagonalmente, em lascas, seriam considerados como *Broken Pads*. Prosseguiu-se com a coleta de dados exclusivos do defeito em causa, da qual adveio a seguinte *timeline* (Figura 41).

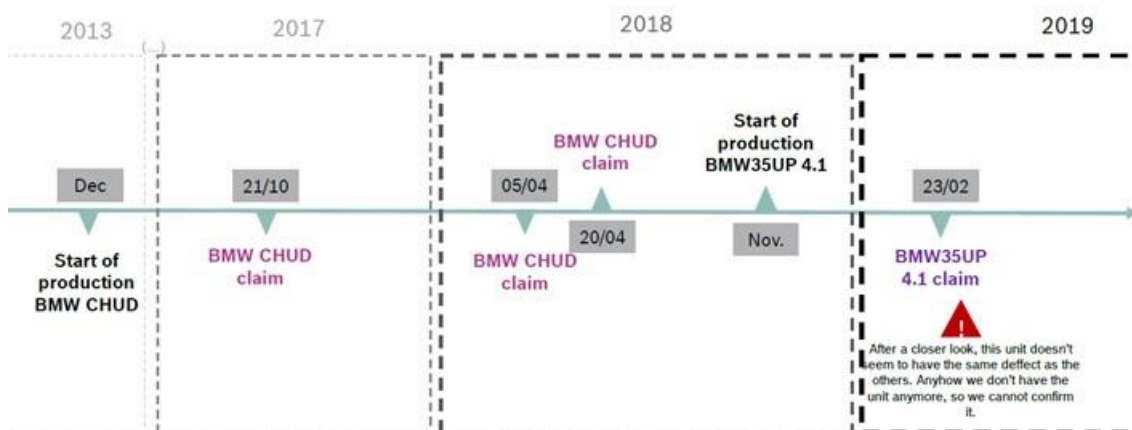


Figura 41 - Timeline de reclamações externas com "Broken Pads"

Em paralelo, foi aplicada a ferramenta *IS/IS NOT*, com o intuito de, numa primeira abordagem, definir o defeito através de perguntas pré-concebidas e, simultaneamente, compreender o porquê de não ter acontecido o mesmo defeito em produtos/processos semelhantes. A ferramenta preenchida encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11- *IS/IS NOT* para o defeito *Broken Pads*

Coleção de factos		IS	IS NOT
What?	Objeto com defeito (fornecedor, cliente, aplicação)	BMW CHUD e BMW35UP 4.1 (fornecedores diferentes)	Outros sistemas de instrumentação com foils
	Defeito no objeto	Broken pads em lascas	Pads broken perpendicularmente
Where?	Geograficamente, o defeito é observável?	OKM e Campo	Rejeição Interna
	No processo o defeito é observado?	Unidade industrial da BMW35up 4.1 e cliente final BMW CHUD	Dentro do processo da Bosch Braga
	No objeto está o defeito?	Área de Contactos	
When?	Ocorreu o defeito pela primeira vez?	21/10/2017	
	Novamente (tendência, ritmo, ocorrência)?	21/10/2017; 23/11/2017; 05/04/2018; 20/04/2018; 23/02/2019;	
	No tempo de ciclo do objeto foi o defeito observado?	OKM e Field	Rejeição Interna
Who?	Descobriu o defeito?	Cliente Bosch: Okm Cliente Final Bosch: Campo	Inspeção Final
	How many?		
How many?	Quantos objetos mostram o defeito?	5	
	Quanto do objeto está afetado?	Não há imagem no display	
	Quantos defeitos tem o objeto?	1	Mais do que 1
	Tendência	Não há tendência definida	Tendência definida

Uma vez respondidas as perguntas, uma análise factual foi desenvolvida. De entre outros, resultou o gráfico da Figura 42.

## Quantidade de reclamações externas

2017-2019

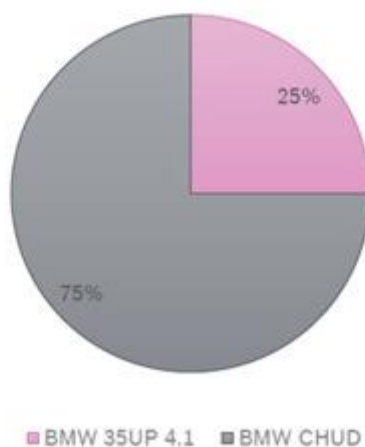


Figura 42 - Representação percentual de reclamações externas com defeito Broken Pads

A partir deste e de outros gráficos, apresentados na secção 4.2.1 (Figura 16 e Figura 17), foi possível concluir que todas as reclamações com este defeito eram de campo, isto é, detetadas após uso do consumidor final; e que nunca haviam sido vistos sintomas relacionados dentro da fábrica. Apesar de a equipa ter considerado o defeito da BMW 4.1 como parte integrante do defeito em causa, depois de uma cuidada e mais detalhada análise, considerou tratar-se de um caso diferente aos *Broken Pads*, sendo o mesmo excluído da investigação.

### 4.2.4.2. Measure

Nesta fase de maturidade do projeto, houve necessidade de conhecer os processos envolvidos. Para isso, foram feitas visitas à linha, assim como consultas às instruções de trabalho. Como resultado, surgiu a seguinte descrição (Figura 43).

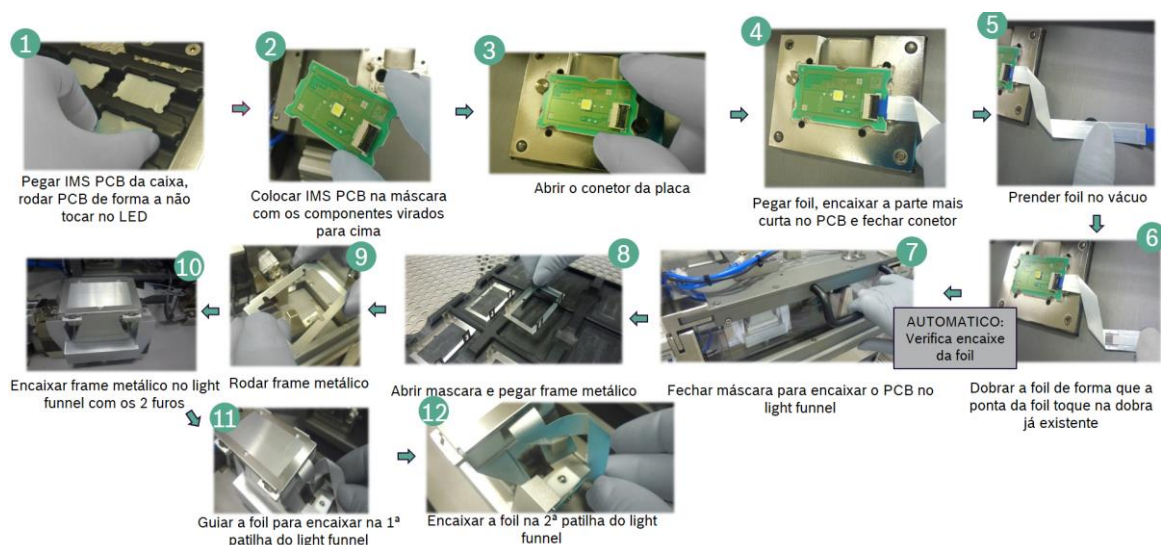


Figura 43 - Descrição do processo - BMW CHUD

A Figura 43 apresenta o processo de montagem da *foil*, numa sala limpa, isto é, em condições pré-determinadas de temperatura, humidade e de limpeza. O processo de montagem de *foil*, tal como nos restantes produtos, apresenta uma larga margem para erro humano, uma vez que o processo é completamente manual. Assim, o nível de formação e sensibilização das pessoas, bem como o envolvimento do posto de trabalho devem ser tidos em consideração como fatores influenciadores do *output*.

Tendo por base a informação encontrada até então, foi gerado um diagrama de *Ishikawa*, a partir do apresentado na secção 4.2.2, realçando as causas para este defeito (Figura 44).

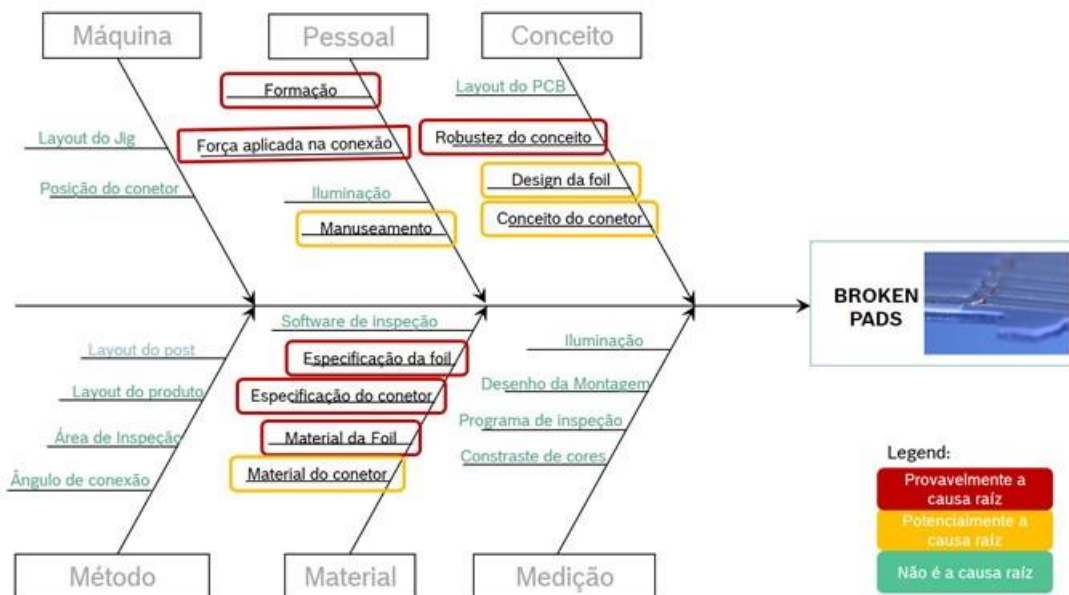


Figura 44 - Causas para o defeito Broken Pads representadas no diagrama Ishikawa

Os fatores considerados como sendo provavelmente a causa *raiz* foram a formação das pessoas, a força aplicada na conexão, as especificações da *foil*, bem como o seu material, as especificações do conetor e a robustez do conceito. Nesta análise subjetiva, foram considerados como potenciais causas raízes o manuseamento, o material do conetor, o *design* da *foil* e o conceito do conetor. Todos os restantes fatores influenciam o *output*, mas não serão, em princípio, a causa raiz e, por esse motivo, na fase seguinte, *Analyze*, não serão priorizados nos testes, recorrendo apenas aos mesmos após eliminar todos os restantes. Todos os fatores influenciadores do defeito são tidos em conta para estudos paralelos, de forma a promover a melhoria contínua.

#### 4.2.4.3. Analyze

O objetivo desta etapa é identificar, validar e selecionar a causa-*raiz*. Após terem sido coletados os fatores (X) que influenciavam o resultado (Y) e, posteriormente, ter-se procedido a uma análise subjetiva de priorização de fatores a serem testados, foi possível avançar para um plano de

atividades pertinentes para encontrar a causa *raiz*. Nesse sentido, para cada um dos X's foram realizadas coletas de dados, testes ou outro tipo de atividades para aferir se aquela seria ou não a causa-*raiz*. O processo repetiu-se em *loop* até encontrar a mesma. Neste contexto, foram estabelecidas as atividades da Tabela 12.

*Tabela 12 - Atividades realizadas para encontrar a causa raiz*

Número	Descrição da Atividade	Categoria Ishikawa
1	Estudo do funcionamento do conector numa unidade reclamada;	Material
2	Temperatura Máxima da unidade;	Conceito
3	Choque Térmico;	Conceito / Material
4	Análise do Fornecedor	Material
5	Reprodução do Modo de Falha em Laboratório	Pessoal

Foi realizado um estudo, juntamente com o *process owner* da montagem de *foil* e com um responsável do laboratório. Para suportar a atividade, foi utilizado o ciclo PDCA. Na fase de planeamento, averiguou-se quais seriam as variáveis em estudo, em que unidades seria realizado o teste e quando; no “do”, foi realizada o teste em laboratório dos parâmetros pré-planeados; seguiu-se a verificação do teste, feita por comparação dos resultados obtidos com a especificação; por último, uma vez que não foram encontradas anomalias, nenhuma ação foi definida e o estudo deu-se por concluído.

Os objetivos da investigação foram:

- Entender se o conector da unidade danificada estava dentro de especificação;
- Testar o funcionamento dos pinos do conector pertencente à unidade rejeitada.

O resultado do estudo não foi conclusivo, uma vez que não foram encontradas anomalias no conector.

Inicialmente, planeou-se fazer um teste de envelhecimento *Highly Accelerated Life Test* (HALT), após terem sido gerados alguns sintomas do defeito em laboratório. O objetivo deste teste seria simular 15 anos de envelhecimento, para perceber os efeitos da vibração, variação de temperaturas e humidades na unidade com sintomas. Sendo este um teste dispendioso e com pouca disponibilidade de máquinas, só deve ser executado após um estudo prévio acerca das variáveis presentes no sistema. No caso em questão, a variável crítica seria a temperatura máxima, uma vez que o conector da *foil* se encontra numa placa propensa a atingir elevadas temperaturas.

Consultadas as especificações, as temperaturas máximas seriam as seguintes:

- Temperatura máxima atingida pela placa PCB LED - 100°C;
- Temperatura máxima suportada pela LED *Flex Foil* – 105°C.



Para ampliar o conhecimento acerca do efeito da temperatura na *foil*, elaborou-se um outro estudo. Com as 5 unidades assinaladas na Figura 45 - Unidades usadas no teste de temperatura, em que a *foil* já se encontra montada no conetor, foram executados os testes:

- 5 unidades no forno – 1 hora a 40°C
- 5 unidades no forno – 1 hora a 60°C
- 5 unidades no forno – 1 hora a 80°C
- 5 unidades no forno – 1 hora a 110°C
- 5 unidades no forno – 1 hora a 130°C.

As cinco unidades usadas foram as mesmas nos seis testes.



Figura 45 - Unidades usadas no teste de temperatura

O resultado observado após o quarto teste era o da Figura 46.

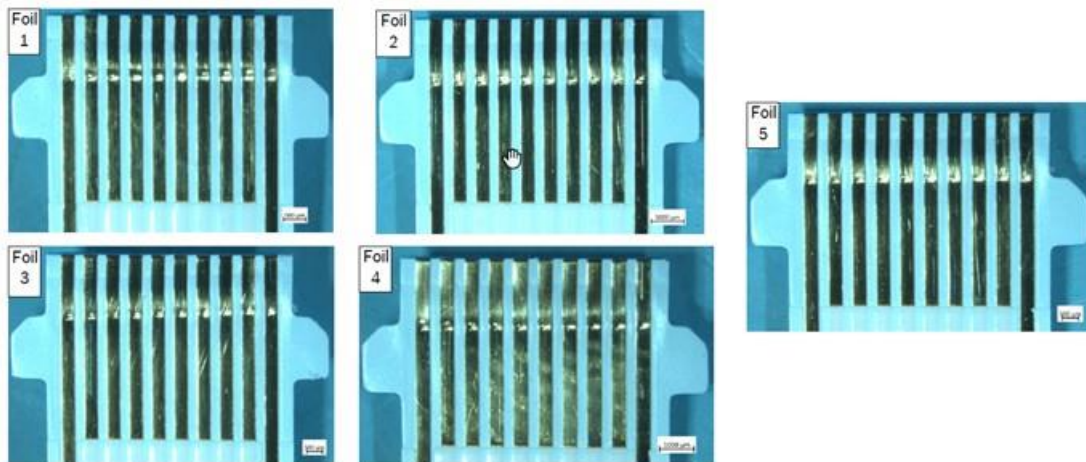


Figura 46- Resultado observado das cinco unidades após o 4º teste de temperatura

Nenhuma anomalia semelhante ao defeito foi observada. No último teste, o resultado foi o da Figura 47.

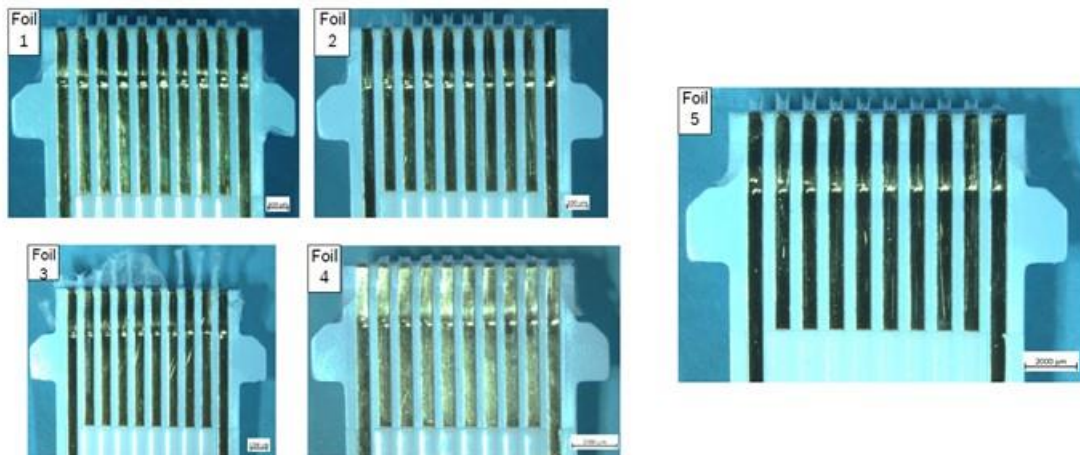


Figura 47- Resultado observado nas 5 unidades após o 5º teste de temperatura

Nesta análise, foi possível se observar o derretimento do plástico, ainda que os contactos continuassem sem sinais de deterioração. Os resultados foram discutidos e a equipa mostrou-se convicta em continuar os estudos da temperatura, uma vez que este teste poderia não simular o que acontecia em contexto real num carro. Por esse motivo, avançou-se com o teste do choque térmico.

As condições sob as quais o teste padrão é feito são as representadas na Figura 48.

Test request

**Machine Resource 1**  
Thermal Shock Chamber

**Machine Resource 2**  
Others

**Preparation Time**  
1,5h

**Test Time**  
200h

**Disassemble/Inspection/Data Analysis**  
1,5h

**Test Procedure**  
Test is carried out according to BMW GS 95003-4 §6.6.

Test requirements:

- Number of cycles = 100
- Dwell time for each temperature = 1h
- 1 Cycle time = 2h
- Upper temperature: Tupper (requested in this case) = +105°C ±2°C
- Lower temperature: Tlower = -40°C ±2°C
- Temperature change: dT < 10 sec.
- Operating condition of the specimens: inactive.

Test Conditions:  
Test equipment: Thermal shock chamber.  
Monitoring: Temperature  
Test Duration: 200h

Number of sample: 25, groups A.

Figura 48- Condições padrão do teste do choque térmico

Para o teste, foram preparadas 25 unidades:



- Unidades 1- 5: usadas anteriormente no teste de temperatura do forno;
- Unidades 6 e 7: rejeitadas no consumidor final (montagem da *foil* na extremidade oposta à que apresentou o defeito);
- Unidades 8-16: montadas pela equipa, com tentativa de forçar o defeito;
- Unidades 17 – 25: montadas em ambiente de produção normal pelos colaboradores.

Após 200h de teste, as unidades foram novamente analisadas no microscópio. O pior que foi conseguido reproduzir foi o representado na Figura 49. Ainda assim o defeito não foi replicado.

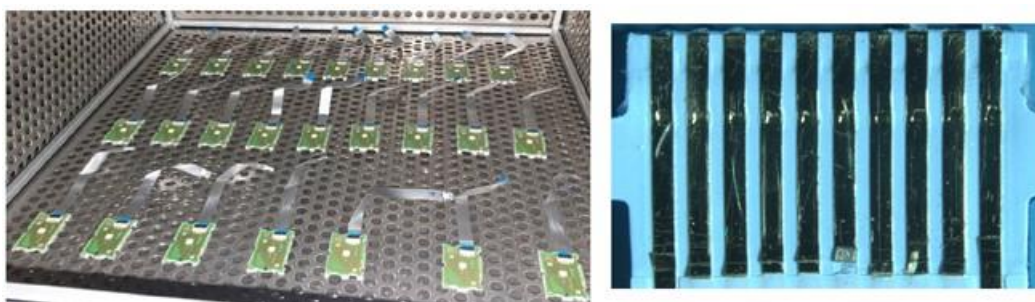


Figura 49 - Choque Térmico: resultado

Após a panóplia de testes feitos, a equipa decidiu abordar diretamente o fornecedor de *foil*. Até então o fornecedor havia sido contactado apenas através do departamento de *Purchasing Quality Assurance*. A nova abordagem teve como objetivos primordiais a obtenção de feedback por parte deste, bem como a avaliação de duas melhorias a serem introduzidas:

- Criação da margem de 0,3 mm nas *foil* FFC;
- Aumento na adesão entre os contactos e o plástico abaixo dos mesmos.

Ambas foram rejeitadas pelo fornecedor. A criação da margem só seria possível em *foil* FPC, por terem um processo de produção completamente diferente. O material que cria a adesão entre os contactos e o plástico já atingira o valor nominal permitido, não podendo ser alterado.

Em relação ao feedback por ele prestado, a sinergia foi frutiva. Segundo o fornecedor, este problema já tinha acontecido em outros clientes e, nesses casos, resultava de “*bending*”. O conceito significa flexão mecânica do material, dobrar-se ou curvar-se. Ainda assim, foi pedido que a equipa enviasse as *foil* para que nos laboratórios do fornecedor pudessem fazer uma análise mais criteriosa. As conclusões foram as mesmas, a causa que *Reportaram* foi o “*bending*”.

Seguindo as indicações do fornecedor, o defeito foi replicado internamente, através da má montagem da *foil* com recurso ao “*bending*”. Os resultados obtidos na *foil* foram os seguintes, muito semelhantes aos *Reportados* nas unidades reclamadas pelo cliente.

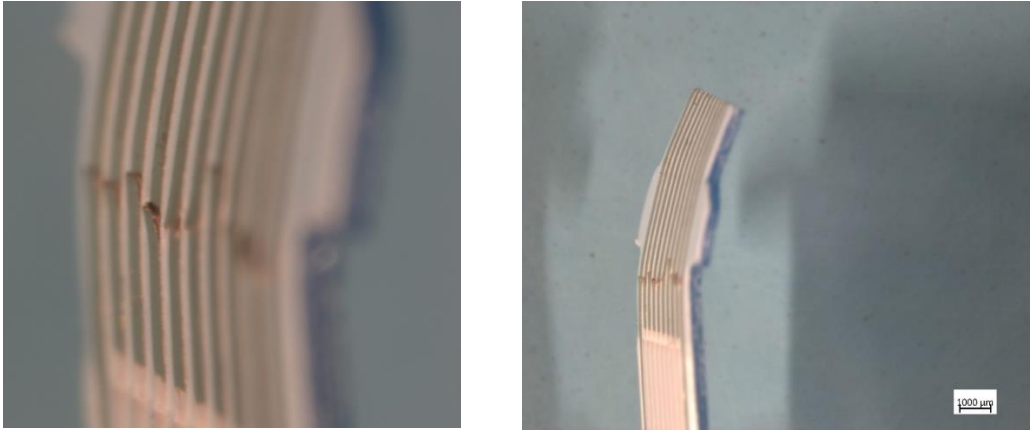


Figura 50 - Réplica do defeito "Broken Pads"

Ainda que o defeito estivesse parcialmente replicado, era necessário perceber como é que este era criado na produção da Bosch Braga, atravessando os inúmeros postos de inspeção, e revelando-se apenas em campo, no cliente final, em produtos com quilometragem. Para esse efeito, foi medida a condutividade dos contactos, como representado na Figura 51.



Figura 51 - Medição de condutividade na foil com defeito

Foi registada a existência de condutividade em todos os contactos, contrariamente ao expectável. A *foil* foi inserida no ambiente produtivo e foi montada segundo as condições de qualquer outra peça. O esperado seria que não passasse nos testes subjetivos, de ligação de imagem. No entanto, a unidade com a *foil* da Figura 50 passou todos os testes sem qualquer tipo de erro, o que permitiu perceber que estava perante o fenómeno dos defeitos vistos em campo.

Concluiu-se assim que o defeito era originado no ambiente produtivo da Bosch Braga, através de "*bending*" na montagem. Como os contactos continuavam a tocar uns nos outros, a ligação existia e a unidade passava as inspeções, chegando ao nosso cliente final. Com as condições de campo, vibrações mecânicas e variações de temperatura, os contactos moviam-se, podendo deixar de tocar-se, momento esse em que acontecia o defeito identificado. Esta suposição foi confirmada

com a ajuda de dois testes de fiabilidade, que replicavam as condições de campo. As condições dos testes podem ser conferidas no Apêndice II.

#### 4.2.5 Defeito *Foil* mal montada

A presente subsecção constitui o trabalho desenvolvido no sentido de solucionar o defeito proveniente da *foil* mal montada. Para esse fim, a metodologia DMAIC, a par com a melhoria contínua foram essenciais.

O defeito *foil* mal montada refletia:

- Conectores abertos/entreabertos;
- *Foil* montada com abas (*poke-yoka*) fora do conetor;
- *Foil* montada diagonalmente.

##### 4.2.5.1. Define

A etapa resumiu-se à definição do problema/oportunidade de melhoria, os objetivos do projeto e o foco. Para suportar a definição do problema, recorreu-se à ferramenta *Turtle Diagram* (Figura 52). Esta permite apresentar, de forma esquematizada, os *inputs* e *outputs* do projeto, a equipa, os métodos usados, o objeto em estudo, os indicadores de desempenho e de satisfação.

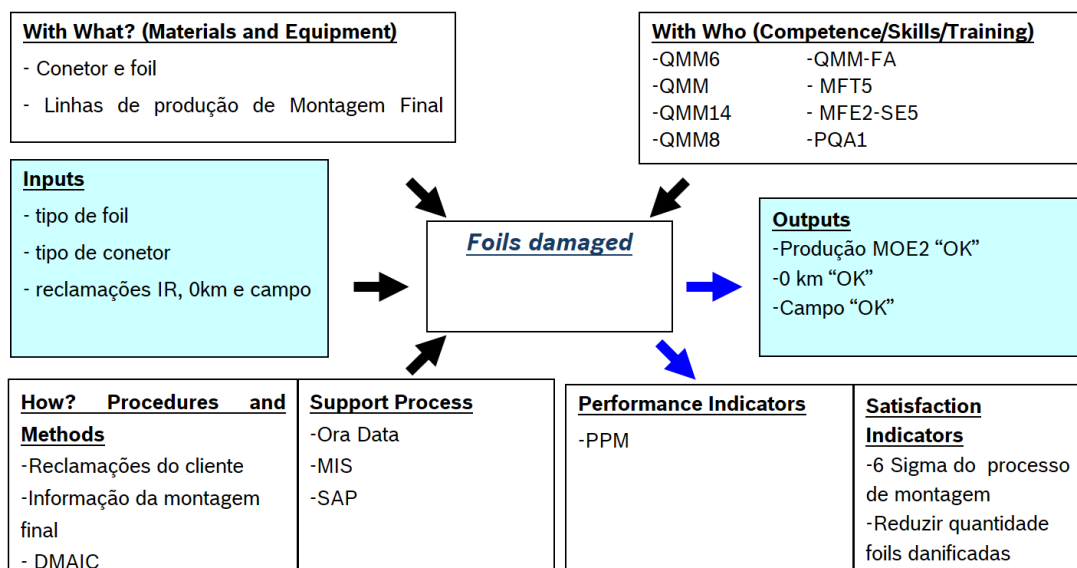


Figura 52 - Turtle Diagram: Foil mal montada

Uma análise factual foi desenvolvida. Nesta, foi possível verificar a quantidade registada de falhas internas e externas, como representado na Figura 53.

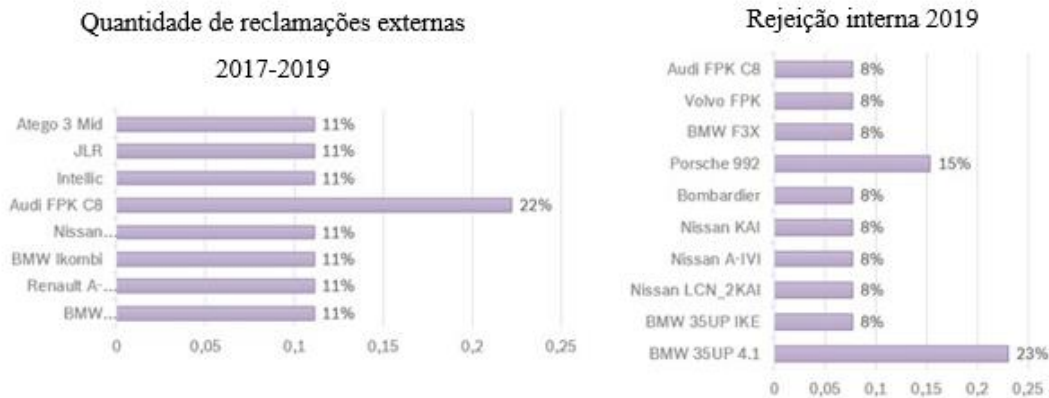


Figura 53- Representação percentual de reclamações internas e externas causadas pela má montagem da foil

#### 4.2.5.2. Measure

Na fase *Measure*, a equipa conheceu os processos. A prioridade residiu em visitar primeiramente as linhas onde já tinham sido detetados defeitos do género para tentar perceber o risco do processo. Assim que estas se realizaram, as *Line Walks* continuaram, semanalmente, em outras linhas, com o intuito de perceber as diferenças críticas que não permitiam o defeito ocorrer.

Posteriormente, foi elaborada uma verificação crítica ao diagrama de *Ishikawa* geral, do qual surgiu o seguinte, categorizado e apresentado na Figura 54.

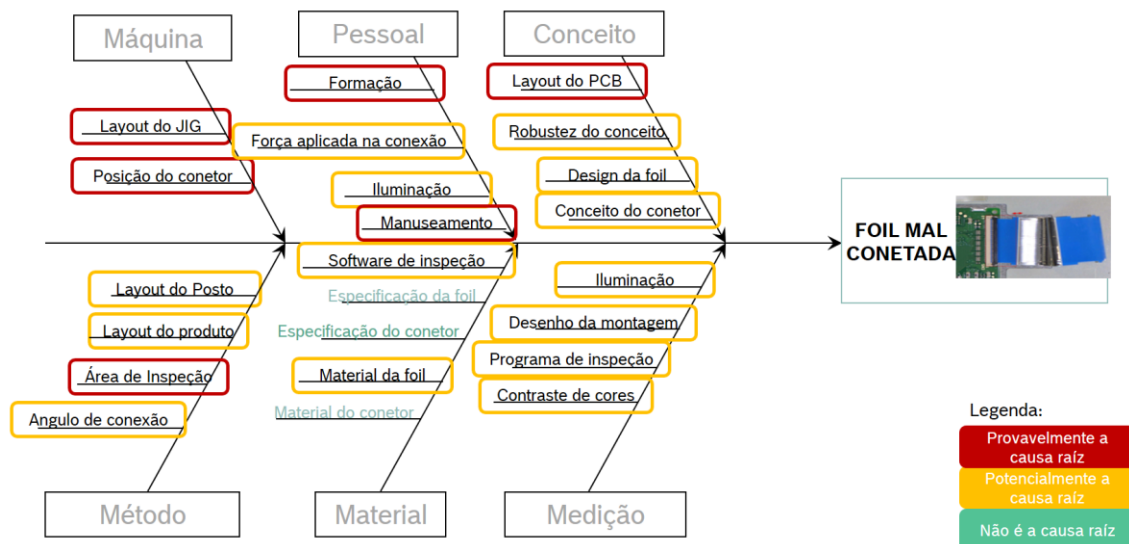


Figura 54 - Causas para o defeito Foil mal montada representada no diagrama Ishikawa

Destacam-se como mais relevantes o *layout* do jig e do PCB, a posição do conetor, a área de inspeção, a formação das pessoas e o manuseamento da unidade.

#### 4.2.5.3. Analyze

A análise do processo para determinar a causa *raiz* do baixo desempenho e aparecimento de defeitos foi realizada, através das atividades da Tabela 13.

Tabela 13 - Atividades realizadas para encontrar a causa raiz

Número	Descrição de Atividade	Categoria <i>Ishikawa</i>
1	Novo software de inspeção e <i>Yokoten</i>	Medição
2	Análise de <i>foil</i> de refugo	Material / Método
3	<i>Attribute Agreement Analysis</i>	Medição

Durante as *line walks* foi possível observar colaboradores a ajustarem a *foil*, após a sua conexão. Isto devia-se ao facto de a camara rejeitar unidades bem conectadas, por excesso de reflexos e falta de contraste entre materiais. O processo de ajustar a *foil* pode acarretar mais defeitos na mesma, uma vez que potencia arrastamentos e, consecutivamente, riscos e contaminações. Daqui percebeu-se que o sistema de medição teria de ser melhorado para que os resultados dos testes fossem fiáveis e confiáveis.

Nesse sentido, a equipa responsável, redesenhou um sistema mais capaz que não permitia aos colaboradores ajustar a unidade, nem tirar e voltar a colocar a *foil*, o que internamente, nas linhas de produção, era proibido, pois fragilizava a *foil*. Assim, o novo sistema permitia testar três vezes na linha, com a máscara fechada e, portanto, sem margem para intervenção humana; se após esses testes a unidade continuasse a falhar, o colaborador devia dirigir-se ao técnico, localizado perto da linha, onde seria feita uma averiguação da falha e, se necessário, a *foil* seria reconectada.

Antes da implementação deste novo método de inspeção, por pressão das chefias, medo de ser repreendido, ou por falta de material, muitas *foil* eram reconectadas, o que não permitia ter uma noção exata do número de *foil* em refugo, ou de más conexões nas linhas. Uma vez aprovado o novo software de inspeção, foi promovido o *Yokoten* do mesmo, isto é, a partilha da boa prática para linhas de produção semelhantes.

Além do anteriormente mencionado, foram coletadas *foil* de refugo dos modelos BMW 4.1 e Nissan LCN 2 KAI, durante uma semana. Através das mesmas, com o intuito de averiguar se existia alguma tendência, foram analisadas em laboratório as seguintes variáveis:

- Número de picagens da *foil*,
- Anomalias anormais,
- Largura,
- Altura.

A Figura 55 ilustra visualmente as variáveis em estudo. A largura e altura foram posteriormente comparados com os valores presentes nas especificações.

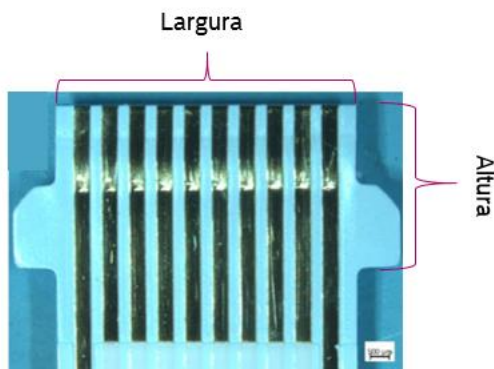


Figura 55 - Descrição visual das variáveis em estudo

Uma semana de recolha de *foil* de refugo culminou em 1250 *foil* da BMW35UP 4.1 e 3 da NissanLCN2kai. A amostra analisada foi de 100 *foil* no total, retiradas aleatoriamente do conjunto. Da amostra, os defeitos mais recorrentes foram os representados na Figura 56.

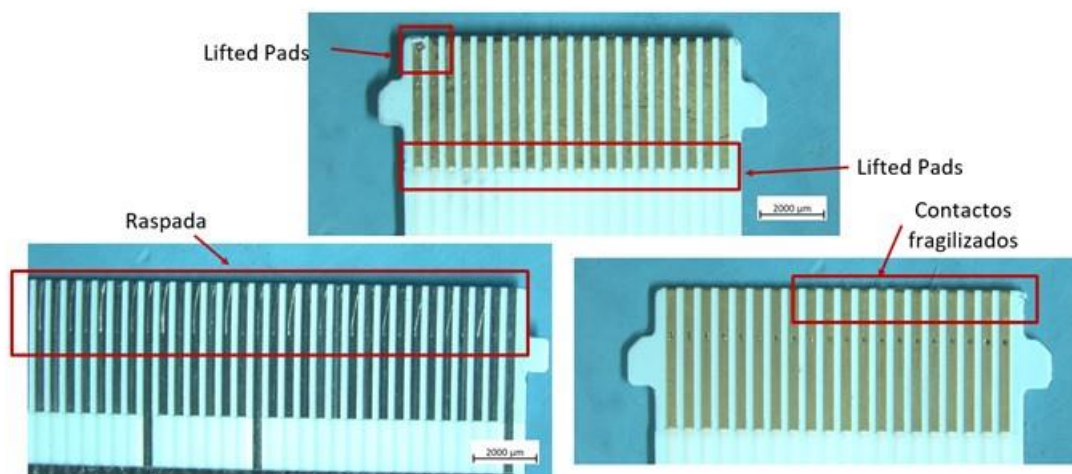


Figura 56- Análise de foil de refugo

Ao encontrar *Lifted Pads* durante a análise, uma outra atividade foi disputada no âmbito desse defeito (ver secção 4.2.3). Realçam-se, ainda, as *foil* fragilizadas nas extremidades e raspadas desde a zona de conexão até à extremidade. Este arraste permite perceber que a *foil* está a ser retirada do conetor sem que o mesmo seja aberto primeiro. Este ato não só danifica a *foil*, como também o conetor. É comum surgirem reclamações externas de dispositivos com defeito devido a contaminações na conexão, sendo algumas destas contaminações com resíduos da própria *foil*. Retirar a *foil* sem abrir o conetor pode ser um potencial influenciador destes defeitos.

Relativamente às medições feitas, algumas análises foram concebidas, como ilustrado nas Figura 57, Figura 58, Figura 59 e Figura 60.

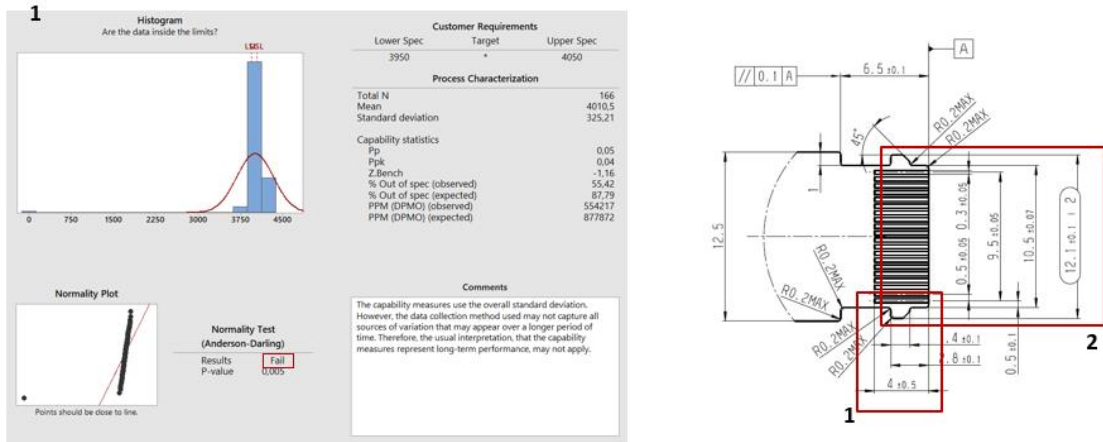


Figura 57 - Análise foil de refugo - Foil tipo 1, medição 1

Na *foil* tipo 1, que tem por base a medição 1, representada à direita na Figura 57, as unidades analisadas encontravam-se fora dos limites de especificação.

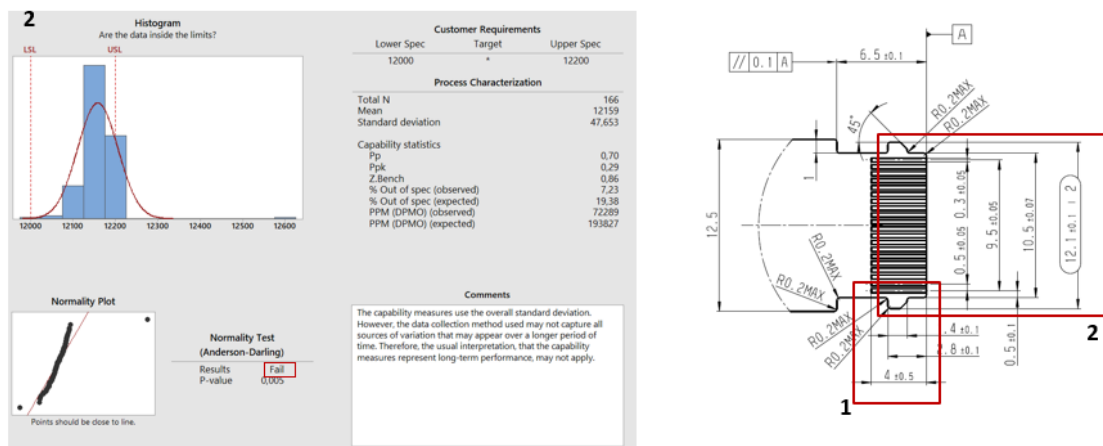


Figura 58 - Análise foil de refugo - Foil tipo 1, medição 2

Na *foil* tipo 1, que tem por base a medição 2, representada à direita, na Figura 58, as unidades analisadas encontravam-se fora dos limites de especificação, ainda que não tão drasticamente como na medição anterior.



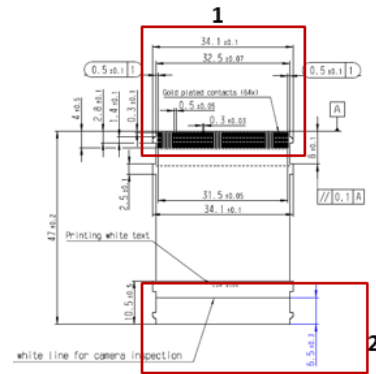
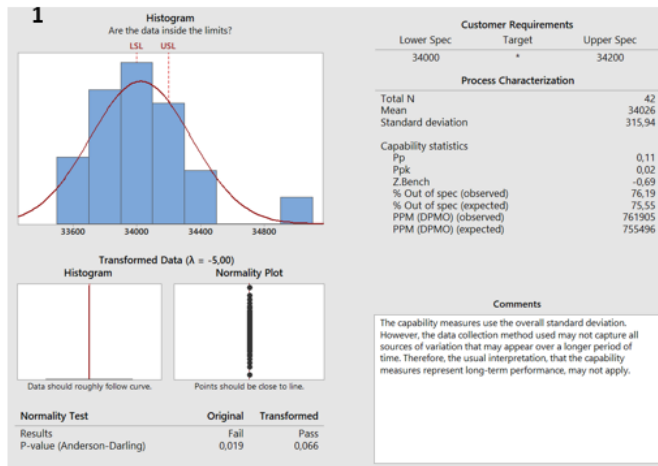


Figura 59 - Análise foil de refugo - Foil tipo 2, medição 1

Na foil tipo 2, que tem por base a medição 1, na Figura 60, as unidades analisadas encontravam-se maioritariamente fora dos limites de especificação.

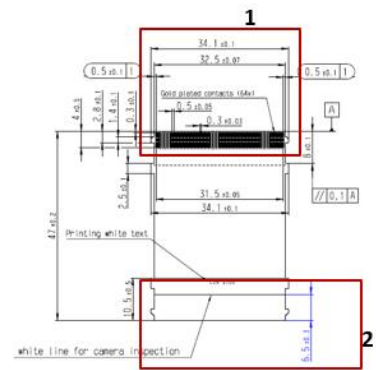
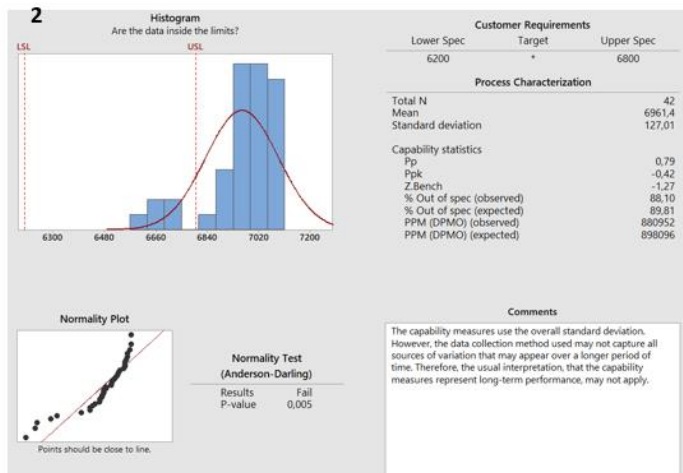


Figura 60 - Análise foil de refugo - Foil tipo 2, medição 2

Na foil tipo 2, tem por base a medição 2, na Figura 60, as unidades analisadas encontravam-se, quase na sua totalidade, fora dos limites de especificação.

Ainda que grande parte dos resultados estivessem fora de especificação, atendendo ao modo de medição pouco exata (em microscópio) e à grandeza das medidas, os resultados poderiam ser ilusórios. De qualquer forma, ficava o destaque feito para a necessidade de realização deste tipo de medições sempre que fosse recebida uma reclamação.

Sendo a montagem de foil um posto crítico e manual, refletiu-se sobre as dificuldades dos colaboradores e uma formação orientada ao detalhe. A possibilidade desta ação ser feita, levou a equipa a desenhar um *Attribute Agreement Analysis*. Este foi feito, primeiramente, a um produto e, tendo por base esses resultados, seria extrapolado para outros gradualmente. O modelo



escolhido foi a BMW 4.1 e o estudo foi efetuado aos 75 colaboradores pertencentes ao turno 1 e

2. O estudo consistiu em reunir 30 unidades/vídeos nos quais se encontrava:

- Unidades bem montadas;
- Unidades mal montadas;
- Vídeos da montagem correta;
- Vídeos da montagem incorreta.

Para a preparação dos vídeos e unidades, procedeu-se ao estudo e coleta de todos os modos de falha e má montagem, reunindo desde casos extremos a casos dúbios. As unidades e vídeos foram assinaladas com números, sendo registado, num documento à parte, se estava, ou não, corretamente montado e caso não estivesse, qual seria o modo de falha, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - Gage R & R-Setup

Estado	Descrição do erro	Estado	Descrição do erro
1.MAU	LCM Side colocado na extremidade contrária	16.MAU	Montar com contactos virados para cima
2.BOM		17.MAU	Tocar nos contactos
3.MAU	Montado diagonalmente com aba de fora	18.MAU	Montar sem luvas
4.MAU	Montado diagonalmente com abas dentro	19.BOM	
5.BOM		20.MAU	Tocar com contactos no conetor
6.MAU	Conetor aberto	21.MAU	Ajustar a <i>foil</i> depois de conetada
7.BOM		22.BOM	
8.MAU	Conetor entreaberto	23.MAU	Montada diagonalmente
9.MAU	Montagem invertida	24.BOM	
10.BOM		25.MAU	Conetor entreaberto
11.BOM		26.BOM	
12.BOM		27.BOM	
13.BOM		28.BOM	
14.BOM		29.MAU	Montada diagonalmente
15. MAU	Montada primeiro num dos lados e só depois no outro.	30.MAU	Montada primeiro num dos lados e só depois no outro

O *Attribute Agreement Analysis* avalia a consistência das classificações entre avaliadores, entre tentativas e versus um valor padrão ou conhecido. O estudo foi realizado tendo por base as configurações descritas de seguida.

Configuração do estudo:

- Cada unidade deve ser Boa (aceitável) ou Má (inaceitável);
- Os avaliadores deveriam avaliar aproximadamente o mesmo número de unidades boas e más;
- Estabelecer o padrão conhecido para o estudo;
- Os avaliadores devem avaliar cada peça pelo menos duas vezes.

O estudo seguiu as seguintes etapas:

- Os avaliadores deviam classificar os produtos em condições típicas;

- Os avaliadores deviam classificar os produtos numa ordem aleatória para minimizar o *bias*;
- Reserva de tempo suficiente entre as classificações repetidas para minimizar a classificação pela memória.

Assim, a atividade foi realizada em ambiente produtivo, fora da linha, para que, sem parar a produção, se mantivesse ao máximo um ambiente semelhante ao normal. Cada operador foi chamado individualmente e avaliou como boa ou má a unidade por ordem aleatória de unidades. Este processo aconteceu três vezes para cada colaborador. O *output* esperado do estudo seria:

- Perceber se o colaborador era correto com o padrão e entender quais seriam os casos em que deveria incidir uma posterior formação;
- Perceber se o colaborador era correto com os outros colaboradores, isto é, se todos avaliavam a mesma peça da mesma forma. Por exemplo, se todos avaliarem de forma errada a mesma unidade, podiam simplesmente ter recebido regras erradas por parte das chefias;
- Perceber se o colaborador era coerente consigo mesmo ao longo do tempo, isto é, se nas três vezes que era chamado avaliava da mesma forma cada peça. Este parâmetro permitiria perceber se o colaborador estaria confuso em relação ao que seria bom ou mau.

Ainda neste estudo, foram correlacionadas variáveis tais como a idade, anos de experiência e gênero com o intuito de perceber se existiam tendências.

O estudo não foi feito para avaliar os colaboradores, mas sim o processo e sensibilização existente, de forma a desenvolver uma formação mais prática e que vá de encontro às necessidades dos colaboradores.

Uma vista geral dos dados pode ser vista na Figura 61.

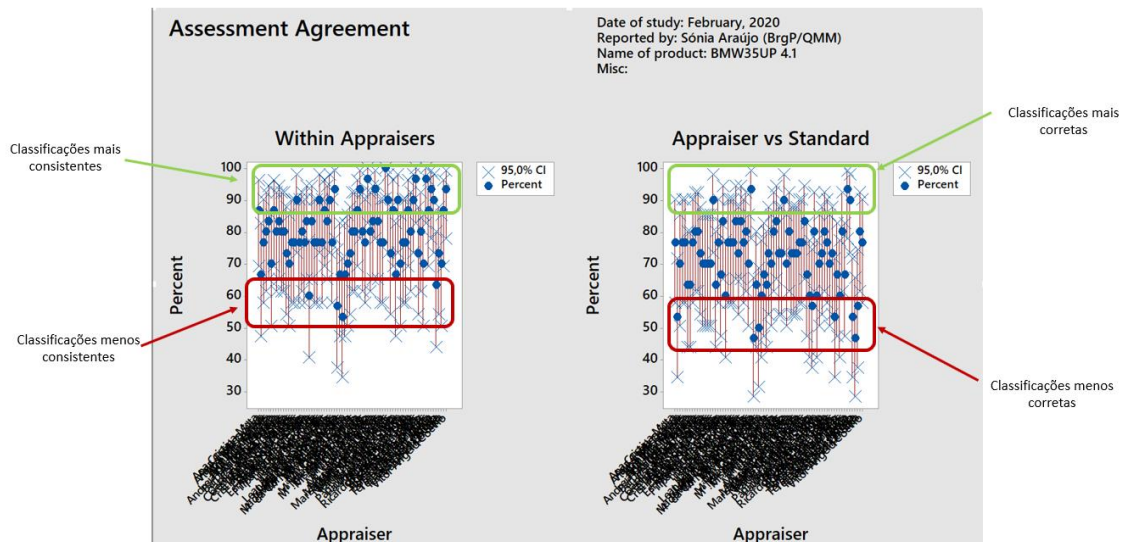


Figura 61 - Vista geral do Attribute Agreement Analysis

Paralelamente foram relacionadas as variáveis idade, gênero e experiência com os resultados obtidos. Desta relação, Figura 62, surgiram as seguintes conclusões:

- No campo do gênero, os homens revelaram ser os melhores na consistência e correção.
- No campo da idade, 41-50 anos obtiveram-se os melhores resultados a nível de respostas corretas, no entanto, os colaboradores com idades compreendidas entre 18 e 30 anos também foram bem-sucedidos.
- No campo da experiência, o destaque foi para os colaboradores com menos experiência (1-10 anos de experiência) que excederam quer na consistência, quer na correção.

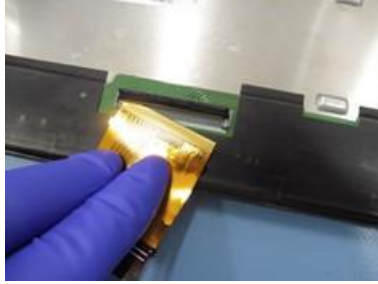
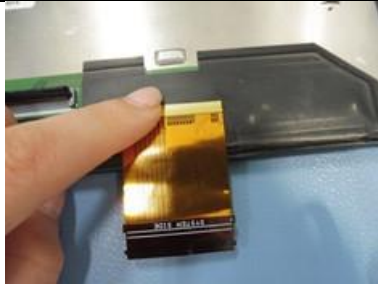

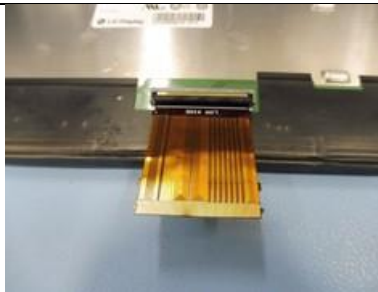
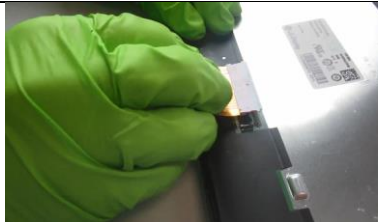
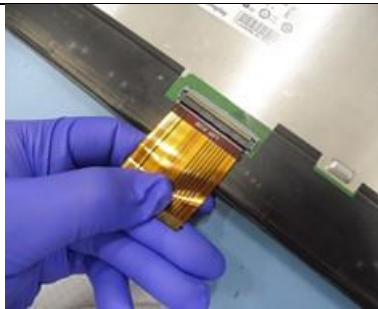
Nota: É de recordar que a consistência indica se as avaliações dos colaboradores são consistentes, mas não revela se essas mesmas avaliações estão de acordo com a avaliação correta. Isto é, avaliações consistentes não são necessariamente corretas. No entanto, para uma avaliação ser considerada correta, teve de ser consistente.

	Gender		Age				Experience		
	Men	Women	18-30	31-40	41-50	>50	1-10	21-30	31-40
<b>Consistency</b>	25,1	24	25,1	24,75	24,4	22,3	24,8	23,16	22,5
<b>Correctness</b>	22,1	21,4	22,3	20,02	22,5	18,9	22,3	20,2	20

Figura 62 - Relação gênero, idade e experiência nos resultados do Attribute Agreement Analysis

Os principais casos de peças que estavam más e foram consideradas boas são os presentes na Tabela 15.

Tabela 15 - Principais casos de "MAU" avaliado como "BOM"

<p>Colocar primeiro de um lado e só depois do outro.</p>	
<p>Tocar nos contactos aquando da montagem.</p>	
<p>Conectar a <i>foil</i> sem luvas.</p>	
<p>Montagem feita com o conetor semiaberto.</p>	
<p>Raspar os contactos antes de conetar.</p>	
<p>Puxar a <i>foil</i> depois de conetada.</p>	

A análise detalhada por linha e turno pode ser vista no Apêndice III. Por motivos de proteção de dados, os nomes dos colaboradores foram ocultados. Os resultados do estudo permitiram

perceber os lapsos de conhecimento existentes. Foi possível averiguar que a padronização inexistente na montagem de *foils*, aliada à falta de informação detalhada sobre a mesma, são a causa raiz da má montagem de *foils*.

### 4.3 Síntese de Problemas

A elevada quantidade de *foil* de refugo, assim como o crescente número de reclamações externas, ilustrado no projeto pelos três defeitos mais comuns (*Lifted Pads*, *Broken Pads* e *Foil* mal montada), mostrou ser o reflexo dos problemas sumariados na Tabela 16.

Tabela 16 - Síntese de Problemas, desperdícios e consequências

<b>Problema</b>	<b>Desperdício Inerentes</b>	<b>Consequências</b>
Falta de padronização e orientação ao detalhe no processo de montagem de <i>foil</i> ;	Sobreprocessamento e Defeitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempos de ciclo do processo imprevisíveis;</li> <li>• Origem de defeitos de vários tipos;</li> <li>• <i>Foil</i> de refugo em quantidades avultadas</li> <li>• Livre-arbítrio na montagem de <i>foils</i></li> </ul>
Falta de robustez do conceito/design das <i>foils</i>	Defeitos e Esperas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prejuízo ambiental;</li> <li>• Entregas não conformes</li> </ul>
Processo de coleta de dados moroso e pouco fiável	Esperas, Sobreprocessamento, Defeitos e Movimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inconsistência e incoerência de dados entre colaboradores/secções;</li> <li>• Decisões baseadas em dados errados;</li> <li>• Elevado tempo investido na coleta de dados;</li> </ul>

## 5. APRESENTAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA

Após descobrir a causa raiz dos defeitos abordados, a equipa decidiu criar soluções genéricas que mitigassem ou resolvessem os casos supramencionados. Neste capítulo são descritas as propostas de melhoria apresentadas, bem como o processo de escolha e pensamento até chegar às mesmas. Este capítulo debruça-se, ainda, sobre a padronização de coleta de dados, uma vez que fora uma grande limitação ao estudo do caso da dissertação, assim como de outros realizados na empresa. Para elaborar as propostas de melhoria de conceito/design, do processo de montagem e da própria *foil*, recorreu-se à metodologia TRIZ, a reuniões com fornecedores para entender boas práticas e recomendações e a discussões permanentes com o departamento de desenvolvimento da empresa. Uma vez elaboradas as sugestões, utilizaram-se ferramentas adequadas para a priorização da implementação das mesmas.

O capítulo 5 representa a fase *Improve* e *Control* do DMAIC. Na Tabela 17, com o suporte da ferramenta 5W2H, apresenta-se um plano de ações a serem estudadas e, se gerarem uma poupança, serão implementadas.

Tabela 17 - Plano de Ação de Melhorias

What?	5W				2H	
	Why?	Who?	Where?	When?	How?	How much?
<b>Padronização de coleta de dados</b>	Desorganização de dados e coleta de dados morosa e incoerente;	Sónia Araújo, Envolvimento de todas as áreas influenciadas: MOE1, MOE2, QIM e QMM	Bosch Braga (medida geral)	Nov. 2019 - Ago. 2020	Criação de clusters - aglomeração de códigos de defeito por tópicos gerais; Criação de uma dashboard em Tableau com análises dos defeitos internos e externos;	-
<b>Curso Montagem de Foils</b>	Ausência de padronização na montagem de foils - uso de sensibilidade por parte dos colaboradores e não de instruções detalhadas;	Sónia Araújo (prova de conceito com mais de 100 pessoas); Sustentabilidade: QMM-OE (pessoa orientada ao training on the job);	Montagen Final (MOE2)	Jul.2020 - ...	Curso dado a todos os colaboradores. 1x por ano, com avaliação diagnóstica e final (teórica e prática);	-
<b>Redefinição do conceito/design da montagem de foils através da metodologia TRIZ</b>						
<b>Robustez das Peças: Conector com dois pontos de contacto</b>	Reclamações externas relativas a foils/conectores contaminados somam um prejuízo de 135 000€ ao longo de 2018 e 2019;	Sónia Araújo, Equipas de desenvolvimento do produto, gestores do projeto e análises químicas;	MFE (Manufacturing Engineering), QMM (Quality Management and Methods)	Jul.2020	Substituição do conector de 1 ponto de contacto por um de dois pontos de contacto. Avaliação do conceito do conector e análise de desempenho com diferentes contaminações;	Preço médio por peça: 0,33€
<b>Robustez das Peças: Substituição das foils FFC</b>	Fragilidade da peça e consequente aumento das reclamações externas por danos na foil;	Sónia Araújo, Equipa de Qualidade do Produto, desenvolvimento do produto, gestores de projeto;	MFE, QMM	Jul.2020	Substituição da foil menos robusta por uma menos frágil. Avaliação do desempenho das foils substituídas;	Preço médio por peça: 0,35€
<b>Precisão do processo: Inspeção a robot</b>	Inspeção precária e sem variáveis necessárias pré-estabelecidas, inspeção definida por tentativa-erro;	Sónia Araújo, MFE3 (Sistema de Teste), Centro de competências de montagem, MFE2 (Planeamento da Montagem Final);	MFE, QMM, MFE3	Jul.2020 - Dez.2020	Substituição do sistema de inspeção atual (cameras ou robot AOI) por inspeção a Laser; MSA (Measurement System Analysis) do sistema sugerido;	Preço médio do Posto de Trabalho sugerido: 53 810€
<b>Precisão do processo: Montagem Automática</b>	Elevada margem de erro humano e falta de controlo de variáveis críticas (ex.: ângulo de inserção)	Sónia Araújo, MFE3 (Sistema de Teste), Centro de competências de montagem, MFE2 (Planeamento da Montagem Final);	MFE, QMM	Jul.2020 - Fev.2020	Introdução do sistema de montagem automático de foils;	Preço médio do Posto de Trabalho sugerido: 54 350€

Para estas propostas foi realizada pela equipa uma matriz de impacto/esforço para priorizar as ações e ajudar no processo de tomada de decisão. A Figura 63 sumariza as opções de melhoria categorizadas pela matriz impacto/esforço.

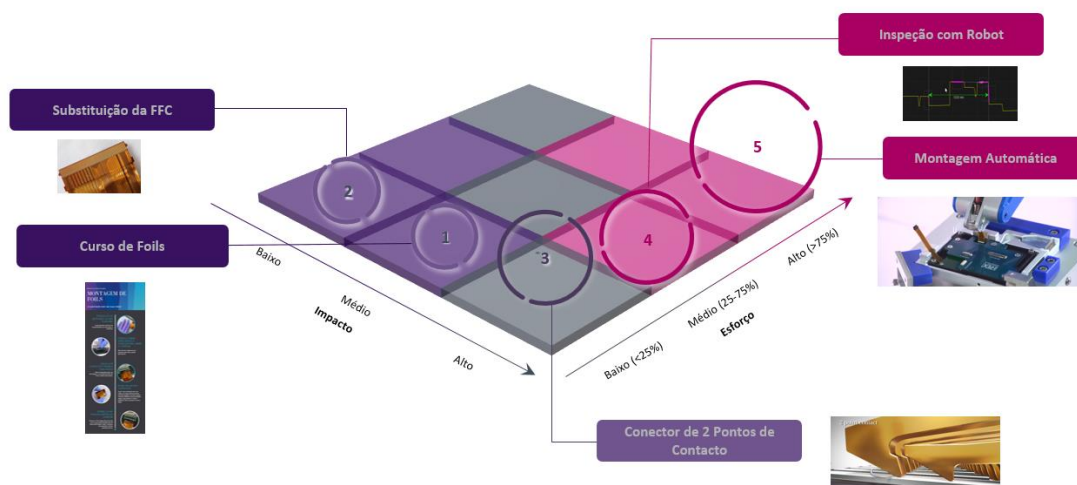


Figura 63 - Matriz Impacto/Esforço das propostas de melhoria

Perante as análises feitas, a equipa atribuiu à substituição das FFC um baixo impacto e um baixo esforço; ao curso de *foils*, um médio impacto e baixo esforço; à introdução do novo conceito de conector espera-se um baixo esforço e elevado impacto; para a inspeção com robot, o esforço seria médio e o impacto alto; e, por último, para a montagem automática requereria muito esforço, mas alcançaria, proporcionalmente, um elevado impacto. Desta análise subjetiva, conseguiu-se aferir que, se existissem restrições de tempo ou monetárias, a opção mais viável seria a introdução do conector com dois pontos de contacto. No entanto, dada a variedade de produtos e consequentes tipos de defeito, faria sentido estender a análise criteriosa a cada equipa de projeto, onde foram averiguados quais as melhorias a serem introduzidas face à situação das *foil* no produto em questão.

## 5.1 Padronização da coleta de dados

A padronização da coleta de dados surgiu do moroso processo de recolha dos mesmos, bem como da incoerência de resultados, como descrito na secção 4.2.2.1. Processo lento e pouco fiável na recolha de defeitos

### 5.1.1 Improve

Para atingir um melhor sistema de coleta de dados, foi reunida uma equipa multifacetada que, através de reuniões semanais, procedeu à atualização da tabela de categorização atualmente utilizada para catalogar defeitos em toda a empresa, culminando num total de 296 códigos (Figura 64).



Organization	Flaw group	Flaw	Cluster_level2
avaliação	24 - Teste	24.99 - Teste - Testes TEF7 / MFE3	
avaliação	24 - Teste	24.106 - Teste - Testes TEF8 / MFE-MTN	
avaliação	24 - Teste	24.123 - Teste - Blind Test	
avaliação	24 - Teste	24.124 - Teste - Poka Yoke	
avaliação	24 - Teste	24.126 - Teste - Peel off	
avaliação	24 - Teste	24.133 - Teste - Estação Reparação / Análise	
Desenvolvimento	1 - Conceito	1.109 - SW / programacao	
Desenvolvimento	1 - Conceito	1.110 - Mecanico	
Desenvolvimento	1 - Conceito	1.111 - Funcao bloqueada	
Desenvolvimento	1 - Conceito	1.112 - HW / componentes	
Em Analise	18 - Departamento	18.83 - QMM	
Em Analise	18 - Departamento	18.87 - TEF / MFE	
Em Analise	18 - Departamento	18.102 - MFI2 / MFE1-COS	
Em Analise	18 - Departamento	18.124 - QMM8-LAB Mecânico	
Em Analise	18 - Departamento	18.125 - MOE-OLAB / QMM8-LAB Eletrico / Iluminação	
Inserção	12 - Glue Dispensing	12.12 - Componente em Falta - Ponto de cola em falta ou pequeno	
Inserção	12 - Glue Dispensing	12.20 - Cola Deslocada - Cola Deslocado (x, y)	
Inserção	12 - Glue Dispensing	12.94 - Fora Especificação - Excesso de cola	
Inserção	13 - SMD Radial	13.11 - Componente em Falta - Falta de Componentes	
Inserção	13 - SMD Radial	13.26 - Componente Deslocado - Polaridade	
Inserção	13 - SMD Radial	13.60 - Falhas THT - Curto	
Inserção	13 - SMD Radial	13.81 - Falhas THT - Não Inserido	
Inserção	13 - SMD Radial	13.82 - Contaminação - Limalha	Contaminação
Inserção	13 - SMD Radial	13.84 - Falhas THT - Comprido	
Inserção	13 - SMD Radial	13.85 - Número Peça Errado - Número de Peça Errado	
Inserção	13 - SMD Radial	13.91 - Outros Erros - Componentes danificados	Componentes Danificados
Inserção	20 - SMD Placement	20.11 - Componente em Falta - Falta de Componentes	
Inserção	20 - SMD Placement	20.21 - Componente Deslocado - Deslocado (x, y)	
Inserção	20 - SMD Placement	20.22 - Componente Deslocado - Componente rodado	
Inserção	20 - SMD Placement	20.23 - Componente Deslocado - Montagem invertida (face para baixo)	
Inserção	20 - SMD Placement	20.24 - Componente Deslocado - Billboarding (montagem de lado)	
Inserção	20 - SMD Placement	20.26 - Componente Deslocado - Polaridade	
Inserção	20 - SMD Placement	20.27 - Componente Deslocado - Componente empilhado	
Inserção	20 - SMD Placement	20.85 - Número de Peça Errado	
Inserção	20 - SMD Placement	20.91 - Outros Erros - Componentes danificados	Componentes Danificados
Inserção	20 - SMD Placement	20.93 - Outros Erros - Componentes a mais	
Inserção	20 - SMD Placement	20.94 - Fora Especificação - Outras placas mal fresadas	
Inserção	20 - SMD Placement	20.132 - Código Barras/2D - Ilegível / Fora de Posição	
Material	2 - Mecanismo	2.2 - Ruído - Leitura	
Material	2 - Mecanismo	2.3 - Ruído - Inserção	
Material	2 - Mecanismo	2.4 - Ruído - Ejeção	
Material	2 - Mecanismo	2.34 - Função - Leitura	
Material	2 - Mecanismo	2.35 - Função - Inserção	

Figura 64 - Nova tabela de codificação de defeitos utilizada em toda a empresa

Uma vez cobertos todos os defeitos na empresa, procedeu-se à criação de *clusters*. Estes serviriam de suporte à *dashboard* posteriormente criada. Sem os *clusters*, cada colaborador podia ter o seu entendimento sobre um determinado defeito, isto é, perante problema de *foil*, para obter o número de casos em 2019, podia pesquisar pelo código referente às *foil*/FFC danificadas e não incluir, por exemplo, o código relativo às *foil* FPC danificadas. Para que, num mesmo assunto, todos os colaboradores acessem ao mesmo número, sem recorrer à sua interpretação pessoal, criaram-se *clusters* para os problemas “*top*” da empresa. Estes podiam ser atualizados conforme necessidade. A definição de cada *cluster*, isto é, o estabelecimento de que códigos entram em que *cluster*, foi também decidido com a equipa constituída por representantes das várias áreas (Figura 65).

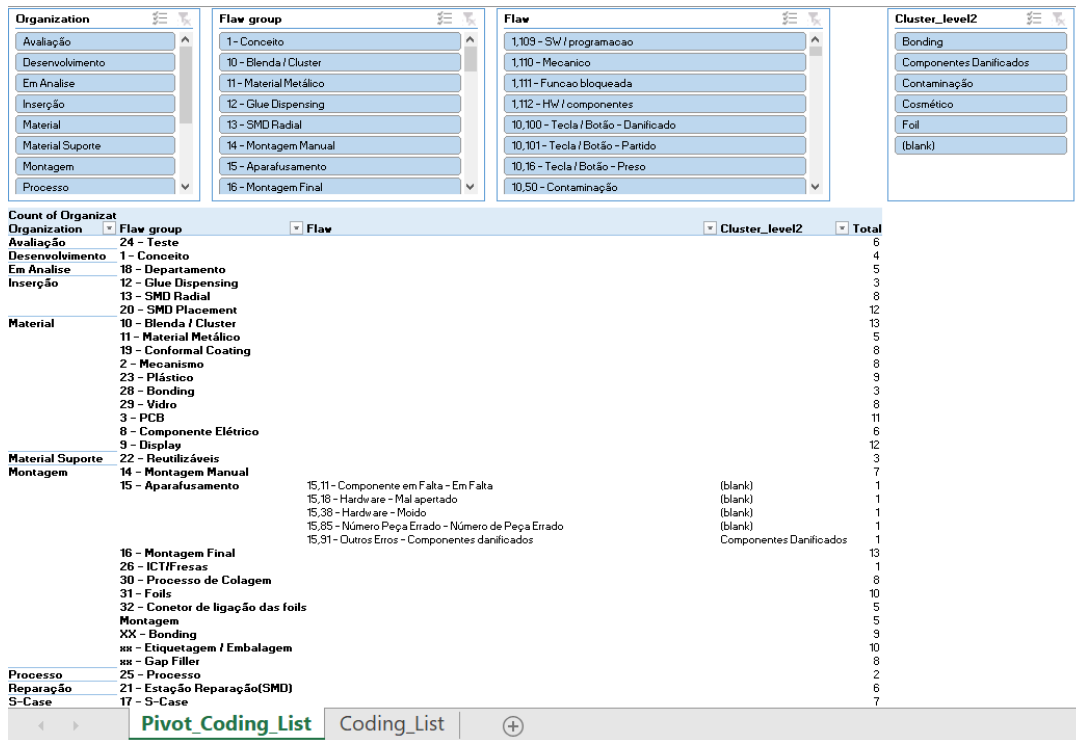


Figura 65 - Clustering da nova tabela de codificação de defeitos

Posteriormente, foi criada uma *dashboard*, com opção de pesquisa, delimitação da janela temporal e tipo de produto (Figura 66). Esta estaria conectada à base de dados central da empresa, o que veio permitir obter, em poucos minutos, dados históricos, visualmente apresentados. Para que o processo se tornasse sustentável, a pesquisa passou a ser feita através dos *clusters* definidos. A informação passaria a ser apresentada como apresentada na Figura 66.

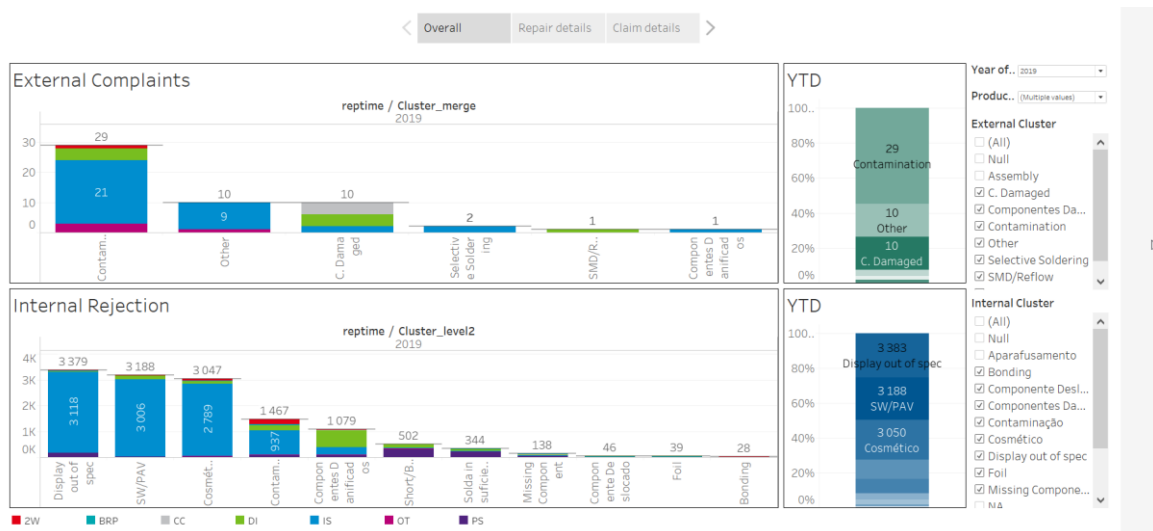


Figura 66 - Vistas de dashboard: Geral

Na vista geral, Figura 66, eram apresentados dois gráficos: o da parte superior da figura relativo às reclamações externas e a parte inferior relativo às reclamações internas. Paralelamente, dois gráficos são apresentados com o *Year To Date* (YTD), isto é, dados correspondentes ao ano atual, com dados até ao momento. À direita, encontrava-se uma barra de filtros. Nesta, tornava-se

possível definir o ano em análise, o produto ou conjunto de produtos, bem como o(s) cluster(s) em análise. Conforme o filtro feito na vista geral, caso o interesse seja investigar as rejeições internas, é sugerido avançar, nas três opções disponíveis na parte superior, para “Repair details” (Figura 67). Nesta, todos os dados são relativos a reclamações internas, o que torna o estudo mais simples e objetivo.



Figura 67 - Vistas de dashboard: Detalhes de rejeição interna

O mesmo pode ser feito caso o interesse seja analisar a rejeição externa (Figura 68). Nesse caso, recomendava-se o uso da terceira aba superior – “Claim details”- onde teria apenas acesso a informação relativa a produtos não conformes encontrados no cliente.

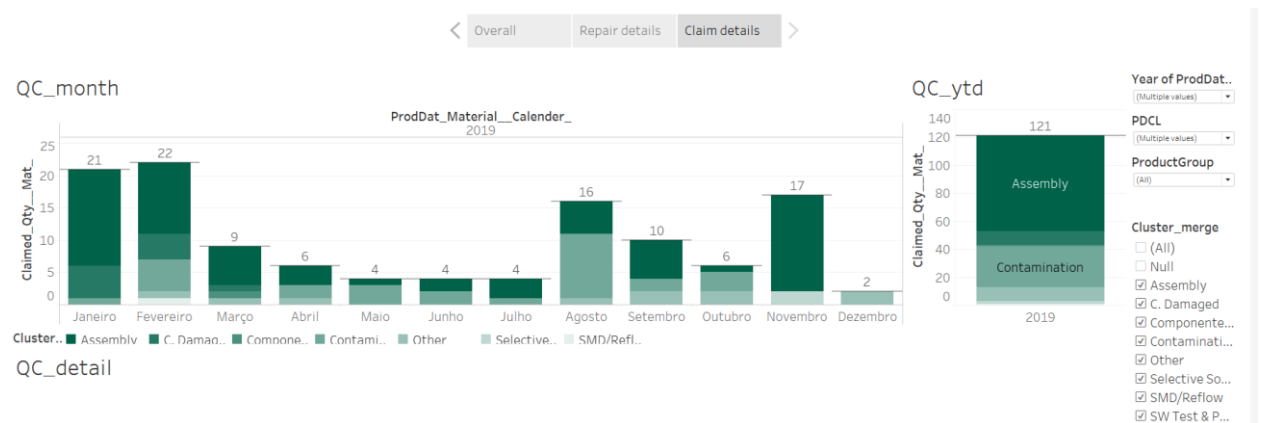


Figura 68 - Vistas de dashboard: Detalhes de rejeição externa

Com isto, gerou-se um ganho de tempo na ordem dos 99,31% na coleta de dados, bem como coerência e consistência dentro da empresa e fiabilidade dos dados. A obtenção dos dados demoraria, assim, cerca de 5 min a ser obtida, o que constituiu uma grande vantagem face ao sistema convencional. Para além disso, a dashboard criada permitiu a gestão visual de gráficos e análises pré-feitas, através do uso de diferentes filtros. A prova desta melhoria ter sido vantajosa é refletida no presente projeto. Na fase inicial, com essa mesma coleta de dados precária, encontrou-se 48 casos de rejeição interna em 2019. Este resultado mostrou-se, mais tarde, errado

com a implementação do novo sistema de coleta de dados, que viria a ilustrar 189 casos de rejeição interna.

### 5.1.2 Control

A implementação do sistema seria feita com a ajuda de um *flyer* digital (Figura 69), que passaria também com uma demonstração da *dashboard* e das utilidades da mesma.

The flyer is divided into three main sections. The left section, titled 'SUSTAINABILITY', explains that the clustering system is user-centric and will be updated based on top defects. Below this is a 'SPECIFIC CASES' section listing various defect types like 'Bad Assembly', 'Uniformity out of spec', 'Bonding', 'Component Damaged', 'Component Displaced', 'Component Inverted', 'Component Missing', 'Contamination', and 'Cosmetics'. The middle section, 'ADVANTAGES', lists benefits such as consistency in data, improved performance in manual search, and greater scalability. The right section, 'WHAT IS YOUR RELATION WITH DATA?', features a large question mark and the title 'Clustering in a nutshell'.

Figura 69 - Flyer Clustering (excerto)

O *flyer* referia ainda como seria a sustentabilidade do *Clustering* na empresa. Assim, com esta proposta pretendia-se que um colaborador que encontrasse um tópico crítico na empresa e de grande escala, abordasse a equipa QMM6, que, por sua vez, poderia fazer as devidas alterações com o suporte dos representantes dos departamentos envolvidos. O mesmo aconteceria com a possível necessidade de adição de análises gráficas e/ou filtros no *dashboard*.

## 5.2 Curso de Montagem de Foil

Atendendo aos problemas descritos na secção 4.2.5.3 e sendo a montagem de *foil* um processo manual, e para o qual a sensibilidade imperava até então, surgiu a necessidade de debruçar o olhar sobre o assunto.

### 5.2.1 Improve

Para melhorar o desempenho da montagem de *foils*, foi programado um curso de montagem de *foils*, pela primeira vez a descrever o respetivo processo detalhadamente. Para conseguir esta melhoria, foi definido um curso dividido em três fases distintas, como apresentado a seguir

A primeira fase consistiu em realizar a atividade *Attribute Agreement Analysis* já descrita na secção 4.2.5.3 aos chefes de linha, operários e técnicos de linha: esta atividade permitiu à equipa de qualidade obter dados para caracterizar a amostra em estudo. A partir dos dados obtidos, o curso foi ajustado, dedicando mais tempo àquelas que eram as maiores dúvidas da população em estudo.

A segunda fase consistiu em realizar uma atividade de formação didática descrita nesta secção. Esta atividade de formação foi dividida em etapas:

- Contextualização: abordar a evolução dos diferentes processos na empresa, com referência à automatização e conseqüente menor margem humana na produção, Figura 70.

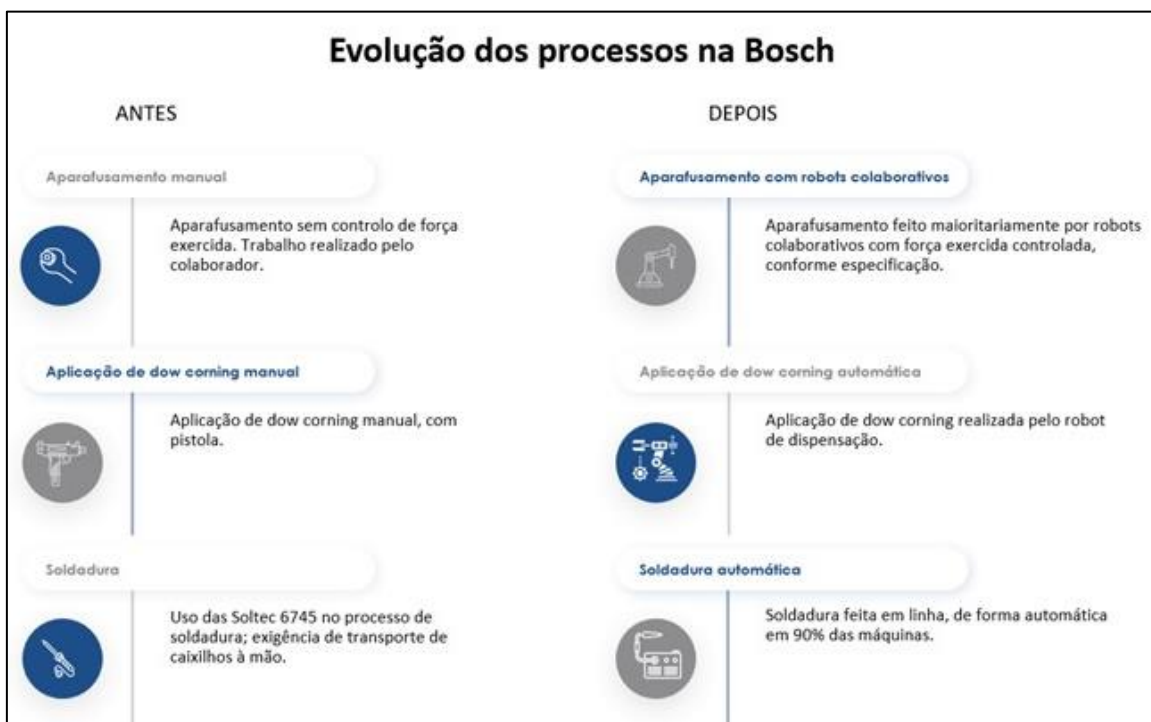


Figura 70- Evolução dos processos na empresa

- Reflexão: refletir sobre o facto de as *foil* ainda exigirem uma maior sensibilidade e concentração, por não serem um processo automatizado.

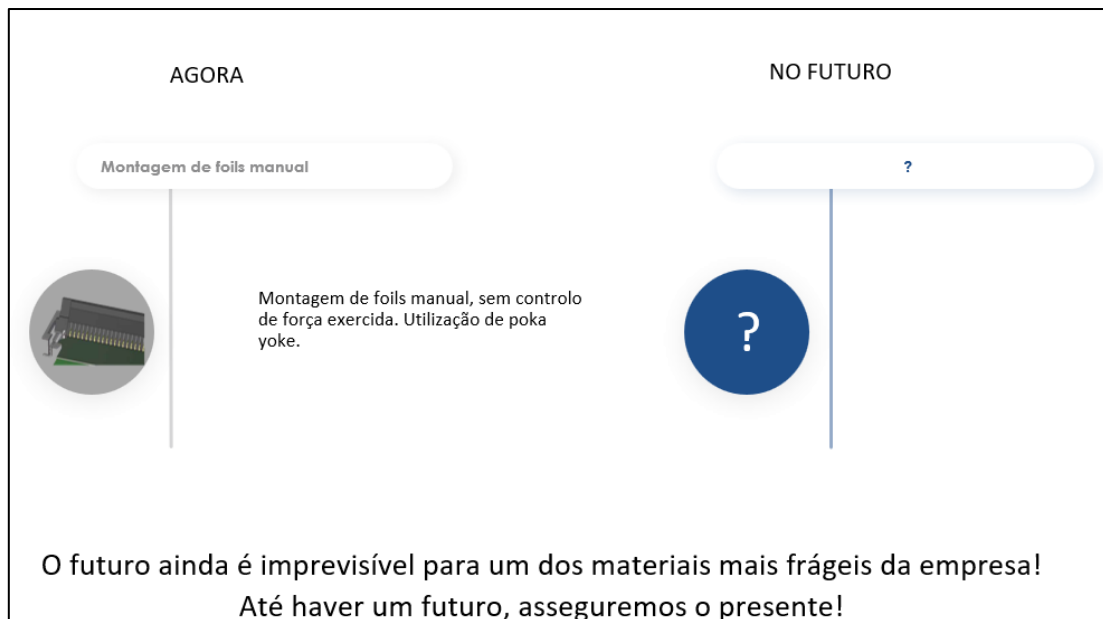


Figura 71 - A posição das foil na evolução e automatização de processos

- Atividade a pares – “Eu no papel do outro”: a introdução de atividade dinâmicas surge da adaptação ao público alvo. Numa primeira fase, sentados em círculo, recebem uma *foil* e um conector e é-lhes pedido para memorizarem o teor da atividade até ao final da formação. Cada participante é convidado a partilhar com o colega à sua esquerda, como deve ser feita a montagem da *foil*, a seu ver, incluindo todos os detalhes de que se lembrar. O colega deve decorar e tirar notas do processo descrito pelo colega. Assim que a partilha termina, todos trocam aleatoriamente de lugares para que não se saiba quem partilhou a informação com quem. A atividade termina com uma breve apresentação da montagem da *foil* procedida conforme o colega lhe sugeriu, sem revelar a identidade da pessoa que o aconselhou e sem tecer comentários corretivos (Figura 72).

## Atividade a pares – eu no papel do outro

Para a atividade, os participantes devem estar sentados em roda. No final da atividade, cada um tem de se lembrar até ao final da formação da informação que o colega à esquerda lhe forneceu.

### 01

#### Distribuição de Material

Cada participante deve ter uma foil e um conetor.

### 02

#### Partilha de conhecimento

Cada participante partilha com o colega à sua esquerda como ele acha que deve ser feita a inserção da foil, descrevendo. O parceiro deve decorar e tirar notas do processo feito pelo colega.

### 03

#### Troca de lugares

Os participantes devem trocar aleatoriamente de lugares.

### 04

#### Apresentação

Cada participante desloca-se, à vez, à frente e apresenta a montagem de foil exatamente como o colega lhe descreveu e não como ele acha que deve ser feito. Não são reveladas as entidades da pessoa emitida.

Figura 72 - Atividade a pares - eu no papel do outro

- Situação Atual: Nesta etapa foram partilhados os tipos de defeitos mais comuns que podem advir do processo de montagem. Refletiu-se, igualmente, sobre a importância da montagem da foil (Figura 73).

## Situação atual – somos todos responsáveis

#### Contactos levantados

Contactos levantados nas extremidades. Fazem com que haja um curto circuito e a imagem da unidade falhe.



#### Foil mal montada

Montagem mal feita: conetores abertos ou entreabertos, foils colocadas na diagonal,...



#### Contaminação

Resíduos no conetor ou na foil.



#### Foils cortadas

A foil apresenta rasgo ou corte.



Um contacto levantado, uma foil mal montada, uma contaminação ou uma foil cortada são o suficiente para o ecrã do nosso cliente não funcionar. Se não fizermos isto bem, de que valem os restantes processos?

Figura 73 - Situação atual - somos todos responsáveis

Ainda nesta fase, foi partilhado o valor estimado de prejuízo para a empresa em foils mal montadas, numa determinada janela temporal e o seu valor transposto para uma realidade mais próxima (ex.: o salário de uma pessoa comum):

- Componente Teórica: esta parte foi composta por indicações e cuidados a ter na montagem da foil. Começou com um vídeo que conta com a explicação geral e, posteriormente, desdobrou-se em detalhadas orientações (Apêndice IV).
- Atividade a Pares - Avaliação e Reflexão: cada participante foi convidado a relembrar o processo que apresentou de montagem de foil, e desta vez, refletir sobre o que fez mal no papel do outro. O que mudaria? O processo inicial repete-se e, agora, cada um deve, uma vez mais,

explicar ao colega à esquerda como faria a montagem, referindo todos os pormenores e demonstrando. Cada colega vai à frente apresentar, no papel do outro, a montagem das *foil* após a formação.

- Atividade da comunicação: cada participante poderia ser um agente com um contributo benéfico na passagem de conhecimento acerca da montagem de *foil*. No entanto, para que o fizessem da forma correta, foi crucial entenderem a importância da objetividade no processo de explicação. Para isso, elaborou-se a atividade da comunicação. É pedido a cada participante que pense num conselho que daria acerca da montagem de *foils*. Cada participante tem o número de folhas igual ao número de pessoas a participar. Na folha de cima, cada pessoa escreve, sem que os outros vejam, uma frase que descreve o conselho que deseja dar. O conjunto de folhas é passado ao colega, no sentido dos ponteiros do relógio. O colega lê a frase, coloca a folha com a frase atrás do bloco de folhas e faz um desenho representativo do que leu. Passa ao colega seguinte. Este colega só tem acesso ao desenho e não à primeira frase. Com base no desenho, tenta formular uma frase que o represente. Passa ao colega seguinte e assim sucessivamente até percorrer toda a gente. No final, compara-se a frase inicial com o que se encontra no último papel. É possível que as ideias sejam díspares. Quanto maior for esforço de cada um para ser objetivo, menos distorção de ideias existirá.
- Suporte: Na etapa final da formação, são distribuídos documentos de suporte à montagem de *foil*, como os seguintes plastificados.



Bosch Car Multimedia

# MONTAGEM DE FOILS

A qualidade está nas tuas mãos!

**UTILIZA LUVAS AJUSTADAS AO TEU TAMANHO**  
Luvas grandes retiram-te sensibilidade ao manusear o produto!

**UTILIZA O DEDO INDICADOR E POLEGAR PARA ABRIR O CONETOR**  
Não forces a abertura do conetor para trás, podes danificá-lo!

**COLOCA OS CONTACTOS VIRADOS PARA BAIXO**  
Não te esqueças que, na montagem, os contactos têm de ficar virados para baixo!

**NÃO TOQUES NOS CONTACTOS**  
Tocar nos contactos com as mãos ou luvas podem provocar contaminações, um dos nossos maiores defeitos na empresa! Evita também raspar essa área em todo e qualquer sítio, porque é muito frágil!

**INSERE A FOIL PARALELAMENTE AO CONETOR**  
Colocar a foil diagonalmente faz com que a extremidade da foil fica danificada. Assim, sempre que possível, coloca paralelamente!

**PROTEGE OS CONTACTOS DA FOIL DURANTE A MONTAGEM**  
Os contactos são a zona mais frágil da foil, evita raspá-los! A zona inferior do conetor consegue criar grandes defeitos se a forçares a tocar lá!

**ASSEGURA QUE DEIXASTE O CONETOR BEM FECHADO**  
Não deves exercer força extra ao fechar, porque pode partir! Mas podes passar levemente o dedo por cima após fechado para te certificares.

**ASSEGURA QUE A FOIL ESTÁ PARALELA AO CONETOR**  
Alguns foils têm uma riscas branca que auxiliam este processo!

**APÓS FECHAR O CONETOR, NENHUM AJUSTE PODE SER FEITO**  
Puxar a foil para ver se está bem conectada ou ajustá-la para combater os reflexos da inspeção não são uma boa prática e podem danificar a foil.

**SE DEU MAL NA INSPEÇÃO...**  
A tendência é que queiras tirar a foil e voltar a colocar, mas não podes! Esse é o papel do reparador da linha.

**AJUSTA A FOIL AO POKA-YOKE**  
A montagem da foil é auxiliada por um dispositivo anti-erro, ajusta as abas laterais ao poka-yoke sem sobrepôr o mesmo.

Figura 74- Auxiliares de memória - montagem de foil

Estes auxiliares de memória serviram para que cada um dos formandos conseguisse, de forma rápida, detalhada e objetiva, ensinar uma pessoa que viesse de outro produto ou que não montasse foils há algum tempo, sem que para isso tivesse de recorrer à subjetividade. Serviu também para que pudessem relembrar, sempre que necessário, o processo. Os flyers foram cuidadosamente desenhados, de forma a caberem nas pequenas malas das quais os colaboradores se fazem sempre acompanhar.

A terceira fase consistiu na Atividade *Attribute Agreement Analysis*: novamente aos operários, chefes de linha e técnicos de linha, com margem de, pelo menos, uma semana após a formação. Esta atividade teve como intuito principal avaliar os colaboradores e perceber as melhorias estabelecidas após a formação. Serviu ainda para perceber se o curso estava ou não, a surtir efeitos ou, por outro lado, se o conteúdo do mesmo devia ser alterado.

De realçar que o conteúdo detalhado do curso teve em consideração as boas práticas sugeridas pelos diferentes fornecedores de *foils* e conectores. Todos os formandos são convidados a dar feedback e contribuir com sugestões de melhoria. Este processo de melhoria contínua, através do feedback, contribuiu para que:

- Fossem adicionados diferentes tipos de *foils* (físicas) à formação;
- Diferentes modelos fossem montados com as várias *foils*;
- Fossem criados grupos de formação mais pequenos.

Uma vez que este inclui uma avaliação diagnóstica e final, no mesmo formato, se tornasse fácil perceber se surte, ou não, o efeito desejado nos colaboradores.

Os resultados a seguir apresentados, Tabela 18, correspondem a um estudo feito com mais de 100 colaboradores, com a nota mínima de aprovação de 80%, nota essa em que o colaborador é considerado apto para desempenhar a tarefa.

*Tabela 18 - Resultados do curso de foils*

<b>Avaliação Diagnóstica</b>	<b>Avaliação Final</b>	<b>Ganhos</b>
Reprovação: 46,1%	Reprovação: 6,1%	<b>13,7%</b>
Nota média: 76,8%	Nota média: 90,5%	<b>40%</b>

Na avaliação diagnóstica, 46,1% dos colaboradores reprovaram e a nota média rondava os 77%. Após a formação, com algumas semanas de desfasamento para obter um melhor entendimento da situação dos colaboradores, apenas 6,1% reprovaram, o que significa que, após a formação, cerca de 40% dos colaboradores tornaram-se aptos para proceder à montagem. Seguindo a mesma tendência, aumentou a nota média dos mesmos em cerca de 14%. Espera-se que estes valores sejam refletidos na redução de defeitos internos e externos a curto e longo prazo.

### 5.2.2 Control

Devido à importância do tópico e aos resultados positivos do curso, a sustentabilidade do mesmo foi abordada com várias chefias. A conclusão do tópico deu-se com a iniciativa de criar uma posição na empresa apenas dedicada ao *training on the job*, também apelidado de *training within industry*, sendo este alavancado com o curso de *foils*, mas com o intuito de, ao longo do tempo, se juntarem outros processos críticos a este.

No caso específico das *foils*, o curso seria obrigatório para qualquer colaborador que pudesse vir a exercer a função. Tem uma nota mínima para aprovação de 80% e deveria ser renovado anualmente.

## 5.3 Redefinição do conceito/design da montagem de *foils* através da metodologia TRIZ

Uma vez concluído o estudo do componente, os seus vários modos de falha e fragilidades, a equipa avançou para a resolução dos problemas detetados. Para isso, uma das estratégias usadas foi a utilização da metodologia TRIZ, já que após várias tentativas de resolução de problemas, nunca uma solução foi eficaz o suficiente com as ferramentas até então utilizadas. A TRIZ surgiu nesta fase do projeto como alicerce à criatividade e foco da equipa.

Nesse sentido, a equipa foi introduzida à TRIZ, através de uma formação de 1h30, focada, sobretudo, nos 40 princípios inventivos e na matriz de contradições. Nessa mesma reunião, a equipa foi desafiada a pensar em soluções para os problemas que havia vindo a acompanhar relacionadas com *foil*, através da TRIZ, pensando fora da caixa, sem receios de gerar, numa primeira fase, ideias irrealistas. Um aspeto fundamental neste desafio foi o facto de a equipa ser composta por diversas áreas, que, ainda que inconscientemente, tentariam sempre arranjar uma solução que atendesse aos problemas com os quais mais conviviam diariamente. Assim, a equipa *core* manteve-se a inicialmente formada:

- Um representante de análises químicas, que se debruçou, principalmente, sobre o problema das contaminações;
- Um elemento de análises cosméticas, focado em reduzir os defeitos cosméticos da *foil* (ex.: danos causados pela fragilidade da mesma);
- Membro da equipa de especialistas de montagem eletrónica e responsável pelas regras de montagem e desenho das especificações das *foil*, que viria a focar-se no processo de

montagem como um todo, bem como nas especificações de montagem e de desenho da peça;

- Um representante da área de qualidade do produto na montagem, em representação dos colaboradores e das suas dificuldades técnicas e rejeições internas;
- Um responsável pelos sistemas de teste e inspeção, que se viria a debruçar na melhoria do sistema de inspeção atual.

O processo foi iterativo e sinérgico entre todas as partes. Foi pedido a cada um dos elementos que utilizasse a matriz de contradições, ferramenta que relaciona as contradições técnicas entre características que são alvo de melhorias e as características que são afetadas adversamente através da aplicação de princípios inventivos (Tabela 30). Deste modo, cada um dos colegas, selecionou, entre os 39 parâmetros (Tabela 31), os que gostava de manter no produto, e, por outro lado, os que gostava de melhorar, chegando aos princípios inventivos que os viriam a ajudar a alcançar a solução genérica, que, por sua vez, seria convertida numa solução específica.

Numa primeira abordagem, partindo da matriz de contradições geral (Figura 134), chegou-se aos princípios inventivos sublinhados no seguinte excerto de matriz de contradições (1, 2, 4,6, 10, 11, 15, 23, 26, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37, 39 e 40) - Figura 75.

		Parâmetro que piora							
Parâmetros	11: Tensão ou pressão	12: Forma	28: Precisão de medida	29: Precisão de manufatura	33: Conveniência de uso	35: Adaptabilidade ou versatilidade	37: Complexidade do controlo	39: Nível de Automação	
Parâmetro que melhora	11: Tensão e Pressão	*	35 4 15 10	6 28 25	3 35	11	35	2 36 37	10 14 35 37
	12: Forma	34 15 10 14	*	28 32 1	32 30 40	32 15 26	1 15 29	15 13 39	17 26 34 10
	23: Perda de substância	3 36 37 10	29 35 3 5	16 34 31 28	35 10 24 31	32 28 2 24	15 10 2	35 18 10 13	28 35 10 23
	28: Precisão de medida	6 28 32	6 28 32	*	-	1 13 17 34	13 35 2	26 24 32 28	10 34 28 32
	29: Precisão de manufatura	3 35	32 30 40	-	*	1 32 35 23	-	-	10 18 32 39

Figura 75 - Excerto da matriz de contradições aplicada ao projeto

Destes princípios, surgiram as seguintes ideias de melhoria:

1. Retirar abas das *foil*;
2. Usar radiação ultravioleta ou semelhante na inspeção de forma a ser mais objetivo;
3. Aplicar *coating* nos conectores para facilitar a inspeção;
4. Converter num processo automático de montagem de *foil*;
5. Evitar componentes perto da zona do conetor;
6. Substituir FFC por FPC;

7. Criar dispositivo anti erro – *foil* de diferentes cores para diferentes sítios da unidade;
8. Ajustar tamanho da *foil*;
9. Introduzir linha magnética para a *foil* permanecer no sítio correto;
10. Usar conectores transparentes;
11. Conector com pinos de limpeza;
12. Material em gel nas pontas da *foil* para proteger os contactos.

Com o avançar das reuniões e dos consequentes *brainstormings*, que refletiram um investimento de cerca de 8h por parte de cada membro, divididos em sessões que se perpetuaram num mês, algumas ideias foram ganhando maturidade, enquanto outras foram, gradualmente, eliminadas do processo. Assim, dividiram-se as soluções geradas em dois grupos: robustez das peças, que engloba a substituição das *foil* FFC (6) e dos conectores de apenas um ponto de contacto (11), e precisão do processo, que abrange a introdução de um novo sistema de inspeção por robot (1) e a montagem automática de *foil* (4). Nas subsecções seguintes, são descritas a fase de *Improve e Control*, na qual consta a descrição de cada melhoria em estudo, bem como a sua análise custo/benefício na respetiva prova de conceito. Inicialmente, foi ponderado proceder ao cálculo do *Return On Investment* para cada uma das melhorias, mas, uma vez que a empresa não tem um patamar mínimo desse indicador, a partir do qual aceita introduzir melhorias, não adicionaria valor a este projeto calcular o mesmo.

#### 5.3.1 Robustez das peças: Substituição das *foil* FFC

Como mencionado anteriormente, existem dois tipos de *foil* abrangidas no projeto: as FFC (*Flat Flexible Cable*) e as FPC (*Flexible Printed Circuit*). Internamente, as duas grandes diferenças entre as duas são a versatilidade que a FPC tem em relação à FFC, e a margem de 0,3mm existente entre o final dos contactos e o final da *foil* nas *foil* FPC (Figura 76). Como já havia sido referido, esta margem é crucial no desempenho das FPC, uma vez que se tornam muito mais robustas, já que esse recuo dos contactos oferece proteção aos mesmos.

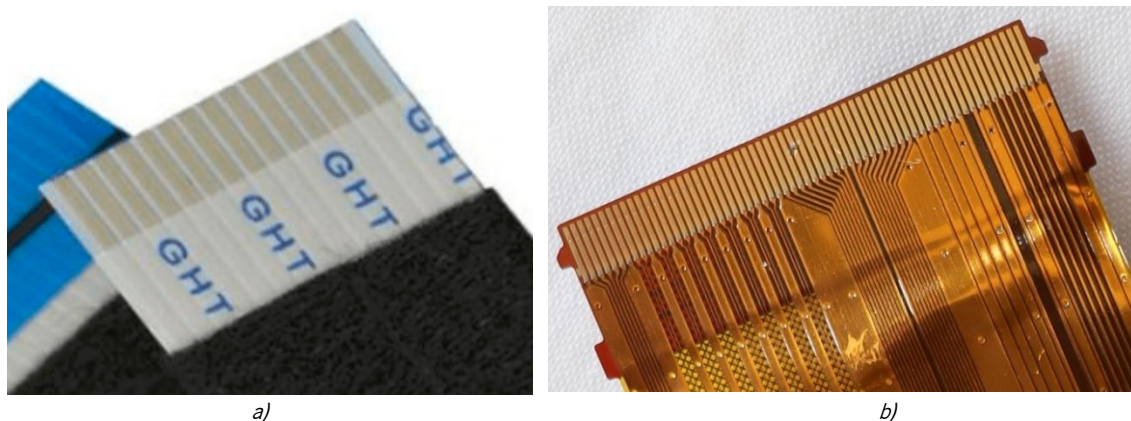


Figura 76 – Tipos de foils: a) Foil FFC, b) foil FPC

### 5.3.1.1 Improve

Surgiu como primeira abordagem, a criação dessa mesma margem nas *foil* FFC, a qual foi rejeitada pelos fornecedores, visto tratarem-se de sistemas produtivos muito distintos para esta produção e, no qual, o da FFC estaria impossibilitado de criar essa margem. Assim, a primeira melhoria estudada foi, na impossibilidade de criar a margem nas FFC, a substituição de *foil* FFC por *foil* FPC.

Para avaliar esta medida, foi usado como prova de conceito um modelo com grandes quantidades produzidas/mês. O nome do mesmo não é apresentado, devido às políticas de privacidade. Neste âmbito, a substituição das *foil* críticas atuais pelas em estudo significaria um investimento de 0,29UM/unidade (Figura 77).

	BP2020	Alteração do MAT
MAT	170,38	170,66
Mat risk	3,02	3,03
Moh var	2,02	2,03
Pdc Var	12,62	12,62
Pdc Var add	0,12	0,12
Pdc risk var	0,04	0,04
Pdc ratio var	-1,67	-1,67
Pdc fix	6,77	6,77
Moh fix	2,86	2,86
Pdc fix add	2,99	2,99
PAC fix	2,46	2,46
PPC	201,62	201,91

Figura 77 - Custo por peça atual vs Custo por peça com a substituição da foil FFC

Neste mesmo produto, tendo em conta todo o tempo de vida do mesmo, o prejuízo associado a reclamações externas devido à robustez das *foil*, tem um impacto de 0,03UM/unidade produzida. Assumindo uma prevenção de 100% de reclamações por robustez da *foil* neste produto, esta melhoria ainda significaria um custo de 0,26UM por unidade produzida. Este valor fez a equipa acreditar que, monetariamente, a melhoria em estudo não seria viável. De notar que variáveis

intangíveis, tais como a relação a longo prazo com o cliente, bem como a imagem da empresa perante o mesmo, entraram, e devem sempre entrar, na equação aquando da tomada deste tipo de decisões.

#### 5.3.1.2 Control

É importante realçar que, ainda que na prova de conceito usada, o investimento não constituísse, numericamente, uma poupança, cada caso deve ser avaliado singularmente. Para isso, e uma vez que as mudanças de peças são extremamente difíceis de fazer a meio do tempo de vida do produto, a abordagem da equipa debruçou-se sobre a fase de desenho do produto. Nesta, os critérios seguintes foram tidos em consideração na avaliação do uso das *foil*/FPC em detrimento das *foil*/FFC:

- Necessidade de funções só desempenhadas por *foil*/FPC;
- Histórico de produtos semelhantes com reclamações associadas à robustez da *foil*;
- Quantidade de componentes perto da área do conector e risco inerente;
- Previsão de análise custo/benefício na substituição do componente.

O estudo deveria ser feito pela equipa multifacetada reunida na fase de *Design for Manufacturing Assessment* (DFMA).

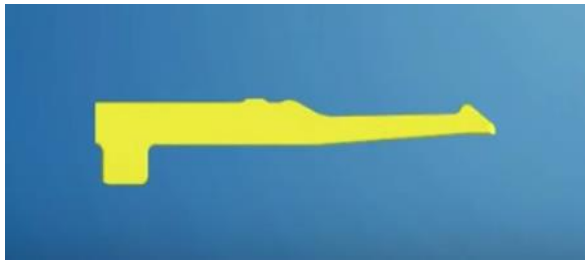
#### 5.3.2 Robustez das peças: Conector com dois pontos de contacto

Ao longo dos últimos dois anos, a empresa apresentou um prejuízo de cerca de 135 000UM relativos a reclamações externas associadas a contaminações nas *foil*/conectores. Estes números fizeram a equipa debruçar-se sobre o assunto e criar uma solução que minimizasse, ou até eliminasse, os defeitos externos por contaminação neste componente.

##### 5.3.2.1 Improve

Após reunir com fornecedores, e tendo por base os princípios inventivos da TRIZ, nomeadamente o princípio 1 e 3, surgiu a ideia de introduzir o conector com dois pontos de contacto, em detrimento do atualmente utilizado, com apenas um ponto de contacto. A Figura 78, a) representa o conector atual com apenas um ponto de contacto por *pad* da *foil*, e b) representa o conector sugerido com dois pontos de contacto alinhados por cada *pad*.





a)



b)

Figura 78 – Conectores: a) Com um ponto de contacto (usado atualmente), b) Com dois pontos de contacto

Esta tecnologia com dois pontos de contacto permite a limpeza de corpos estranhos presentes na *foil*. Esse segundo contato aumenta drasticamente as chances de fazer conexões limpas, apesar da presença comum de substâncias estranhas que contaminam a ligação. Os conectores que usam contato de dois pontos são altamente confiáveis e tolerantes a erros de montagem. Caso o corpo estranho fosse solto, o contacto da frente simplesmente “varreria” o resíduo para longe do ponto de conexão, como demonstrado na Figura 79.

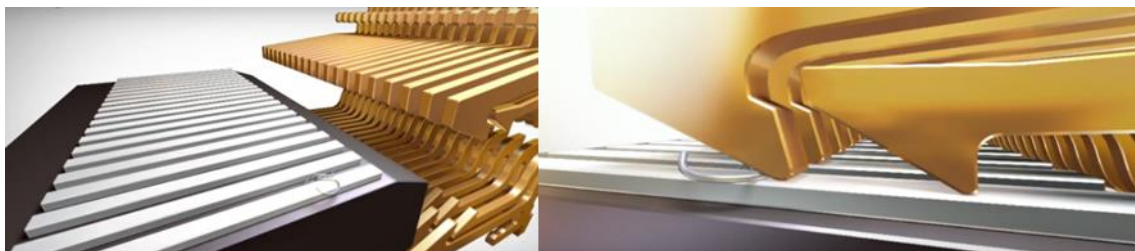


Figura 79 - Conector com dois pontos de contacto a "varrer" o corpo estranho solto

Pelo contrário, se o corpo estranho estivesse preso ao *pad*, um dos pontos de contacto ainda conseguiria conectar perfeitamente, salvo raras exceções em que o resíduo ocupasse o espaço dos dois pontos de conexão (Figura 80).

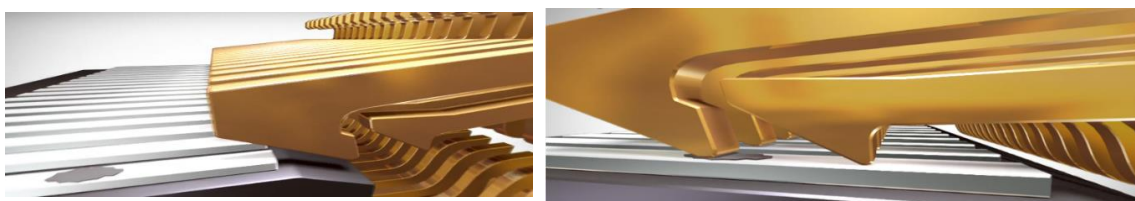


Figura 80 - Conector com dois pontos de contacto a conectar com o corpo estranho preso ao pad

Para a análise custo/benefício, usou-se como prova de conceito o mesmo modelo selecionado para a melhoria anterior. Nesse mesmo modelo, o preço por unidade atual é de 201,62UM. Com a introdução do novo conector, o preço sofreria um aumento de 0,22UM, passando para 201,84UM, como demonstrado na Figura 81.



	BP2020	Alteração do MAT
MAT	170,38	170,59
Mat risk	3,02	3,03
Moh var	2,02	2,03
Pdc Var	12,62	12,62
Pdc Var add	0,12	0,12
Pdc risk var	0,04	0,04
Pdc ratio var	-1,67	-1,67
Pdc fix	6,77	6,77
Moh fix	2,86	2,86
Pdc fix add	2,99	2,99
PAC fix	2,46	2,46
PPC	201,62	201,84

Figura 81 - Custo por peça atual vs Custo por peça com a substituição do conector

Uma vez que esta melhoria surgiu do aumento de reclamações externas e do consequente aumento de prejuízo associado ao tópico, foi calculado o valor de prejuízo, em média, por unidade produzida, na janela temporal de 2018 e 2019. Isto somou um total de 0,04UM/peça, o que reduz o investimento para 0,18UM/unidade produzida, assumindo que as reclamações externas seriam inexistentes com este conector. Uma vez mais, monetariamente, não seria viável, não devendo, de qualquer forma, serem menosprezadas as variáveis intangíveis.

O mesmo estudo foi repetido para um outro produto, com menos quantidade produzida, mas também altamente crítico no que concerne as contaminações. Neste modelo, o investimento seria, no pior dos cenários, adicionar 0,66UM ao custo atual; a poupança em reclamações de contaminação, assumindo uma prevenção de 100%, seria de 0,95UM/unidade. Neste modelo, a introdução do novo conceito de conector significaria sempre uma poupança. No tempo de vida do produto em questão, se a introdução do conector com dois pontos de contacto tivesse sido feita na fase de desenho do mesmo, a poupança total teria sido de 4029,80UM.

O conector em questão atravessou um processo de estudo de desempenho com diversas contaminações, no qual primou pela qualidade do conceito.

### 5.3.2.2 Control

Similarmente à melhoria em estudo da substituição de *foil* FFC, para assegurar que o novo conceito de conector continuaria a ver uma proposta de análise para cada novo produto, a fase *Control* passa por monitorizar a oportunidade de poupança numa fase inicial do produto. Assim, os critérios a ter em conta na DFMA seriam:

- Histórico de produtos semelhantes com reclamações associadas à contaminação da *foil*/conector;
- Previsão de análise custo/benefício na substituição do componente.

### 5.3.3 Precisão do Processo: Inspeção com robot

A inspeção atual, descrita na secção 4.1, era precária, particularmente por depender de variáveis que não estavam definidas. Por esse mesmo motivo, o que acontecia é que os limites dessas mesmas variáveis eram ajustados por tentativa-erro. Portanto, se num dia, num produto, muitas unidades com a *foil* mal montada estivessem a passar a inspeção sem dar “MAU”, o técnico iria ao posto de inspeção e diminuiria os limites dessa variável. Se, pelo contrário, muitas unidades boas não estivessem a passar na inspeção, o técnico faria o oposto, alargando os limites. Isto acontece em *loop*, até encontrar o ponto certo, sendo que, muitas vezes, esse ponto não chega a ser encontrado no tempo de vida útil do produto.

Somado a isto, o controlo de ambiente era crucial nestes postos de montagem, uma vez que a luz interferia com a medição, criando reflexos nas *foil* e não permitindo às câmeras dissociar os diferentes materiais conector-*foil*. Isto gerava frustração nos colaboradores, por saberem que a *foil* estaria bem montada e não passaria na inspeção por excesso de brilhos/reflexos, o que os levava a ajustar a *foil* de forma a reduzir os mesmos, e inadvertidamente, criavam novos defeitos, como conectores entreabertos ou *foil* raspadas devido aos ajustes na *foil*.

#### 5.3.3.1 Improve

A melhoria passou pela introdução de inspeção feita por um robot, a laser. A inspeção final da montagem de *foil*, na empresa, era feita de duas formas distintas, dependendo do produto:

- por camaras, geralmente uma por conexão de *foil*;
- Ou por um robot AOI.

Assim, o custo do posto inspeção de *foil* poderia variar entre 17 790UM e 48 590UM, se a inspeção for feita com câmeras, como descrito na Tabela 19. No caso do uso do robot AOI, o custo da estação de trabalho era de 66 000UM.

Tabela 19 - Custo atual de um posto de inspeção feito por câmeras

Inspeção feita por câmeras					
Componente do PT	Custo				
	PT com 1 câmara	PT com 2 câmara	PT com 3 câmara	PT com 4 câmara	PT com 5 câmara
Posto ASY Montagem Final (inclui PC, Monitor, etc)	7 940,00UM	7 940,00UM	7 940,00UM	7 940,00UM	7 940,00UM
Câmeras de 5MP, cognex 8405	7 700,00UM	15 400,00UM	23 100,00UM	30 800,00UM	38 500,00UM
Scanner M400	2 150,00UM	2 150,00UM	2 150,00UM	2 150,00UM	2 150,00UM
<b>Total</b>	17 790,00UM	25 490,00UM	33 190,00UM	40 890,00UM	48 590,00UM

Com a inspeção feita por robot, seriam necessários os seguintes elementos constituintes do PT (posto de trabalho) – Robot colaborativo, câmara de laser e ferramentas de extração de dados (Figura 82). O conjunto de elementos foi selecionado após contactar dois fornecedores distintos. Sendo este um processo pouco conhecido no mercado e, uma vez que o estudo se encontra numa fase embrionária, o objetivo passaria por testar amostras dos conectores e desenvolver uma estratégia a par com o crescente conhecimento sobre o processo e ferramentas.

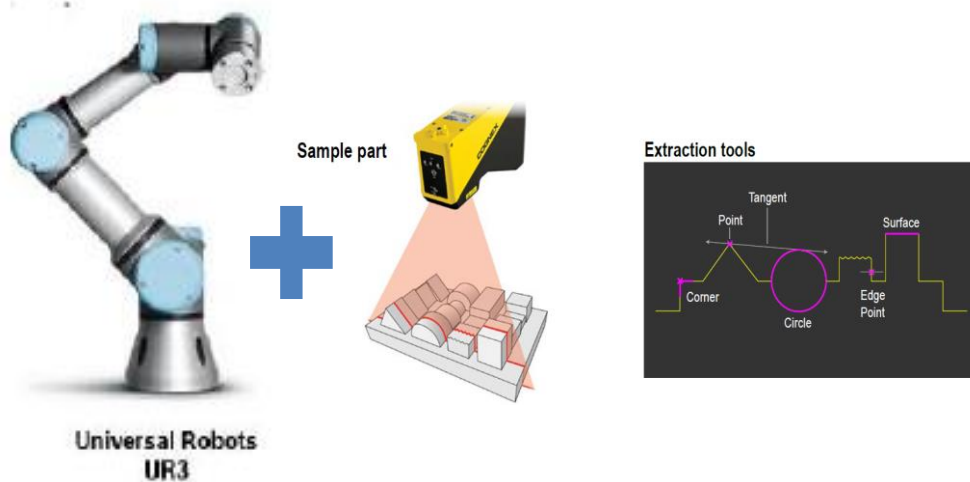


Figura 82 - Elementos necessários para o PT de inspeção com robot

Os resultados desta inspeção seriam obtidos no formato da Figura 83.

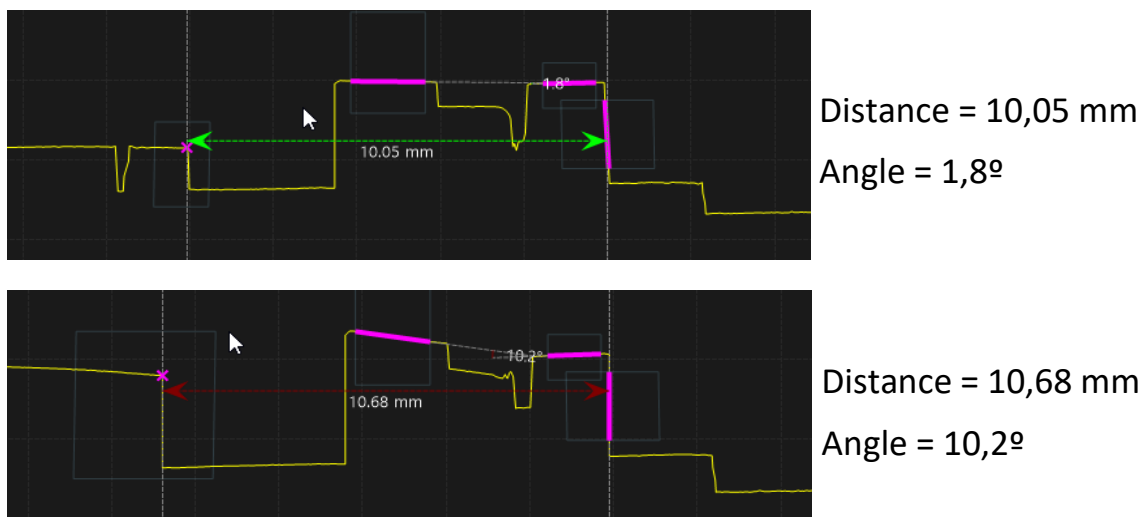


Figura 83 - Resultados obtidos a partir da inspeção com robot

A Figura 83, representaria a vista lateral da *foil*/montada como se encontra na Figura 84.

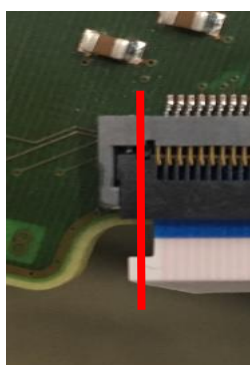


Figura 84 - Vista lateral analisada na inspeção

Este tipo de inspeção não necessitaria de variáveis que são desconhecidas ao processo e teria um custo por posto de montagem de 53 810UM, como mencionado na Tabela 20.

Tabela 20 - Custo do posto de inspeção com robot

<b>Inspeção com robot</b>		
<b>Componentes do PT</b>	<b>Custo</b>	<b>Documentos base</b>
<b>Workbench Asi/Ed.09</b>	7 940,00UM	R&D – 117/18 – JE Rev03
<b>Robot Colaborativo UR3E (Suportes; barreiras; montagem)</b>	27 000,00UM	
<b>Laser linear com SW</b>	16 720,00UM	Cotação Inovasense 2246
<b>Scanner M400</b>	2 150,00UM	
<b>Total</b>	53 810,00UM	

A prova de conceito utilizada foi um produto em fase de amostras, que só em 2021 alcançará o estado de produção em massa. Neste, o preço por produto sofreria um aumento de 0,02€ com a introdução do novo sistema de inspeção, como demonstrado na Figura 85.

	Atual	Cenário 2	Desvio
Material	220,98 €	220,98 €	
MAT Risks	4,90 €	4,90 €	
MAT (with Mat Risks)	225,88 €	225,88 €	
MOH Var	2,60 €	2,60 €	
PDC Var	15,69 €	15,69 €	
PDC Var add	0,15 €	0,15 €	
PDC Risks	0,14 €	0,14 €	
PPC Var	18,58 €	18,58 €	
MOH Fix w/o Supplier Tools	3,19 €	3,19 €	
PDC Fix	13,81 €	13,83 €	0,02 €
PDC Fix add	6,19 €	6,20 €	0,01 €
PAC Fix	2,94 €	2,94 €	
PPC Fix	26,13 €	26,15 €	0,02 €
PPC	270,59 €	270,62 €	0,02 €
PDC TOTAL	35,99 €	36,01 €	0,02 €

Figura 85 - Custo por peça atual vs Custo por peça com a substituição do sistema de inspeção

Uma vez que esta melhoria surgiu do aumento de reclamações externas, o passo seguinte passaria por analisar o desempenho do sistema de medição, de forma a perceber a fiabilidade do mesmo, bem como a quantidade de unidades reclamadas que poderiam ter sido evitadas. O modelo utilizado nesta prova de conceito utiliza o sistema de inspeção por câmeras, sendo essa uma das razões para nesta análise primária a introdução do novo sistema de medição se refletir num investimento em vez de numa poupança. Assim, é possível que a análise venha a assinalar uma poupança imediata noutros produtos.

Adicionalmente às possíveis vantagens monetárias, seguem ainda as seguintes:

- Detetaria mais objetivamente o ângulo do conector (detetando conectores abertos e entreabertos);
- Seria adaptável, uma vez que pode ser usado em diferentes produtos;
- Seria versátil, uma vez que pode analisar diferentes variáveis para além da montagem da *foit*;
- Seria robusto;
- O ambiente e fundo deixariam de ser fatores tão críticos;
- A luz laser utilizada não seria prejudicial para a saúde dos colaboradores;
- O posto de trabalho pode ser reutilizado ao longo dos anos (nas cameras normais isso não acontece, uma vez que se tornam obsoletas mais rapidamente);

O ponto em aberto relativamente a este tópico é a concretização do MSA (*Measurement System Analysis*) para comprovar o desempenho do sistema. Se as medições são usadas para orientar as

decisões, então é lógico que quanto mais erro houver nas medições, mais erro haverá nas decisões com base nessas medições. O objetivo do MSA é qualificar um sistema de medição para uso, quantificando a sua exatidão, precisão e estabilidade. Diferentes sistemas de medição são submetidos a diferentes testes, consoante as suas características. Para saber exatamente quais os testes a executar, o trabalho futuro passará por analisar as *guidelines* descritas no *booklet* interno da Bosch que diz respeito a este tema.

#### *5.3.3.2 Control*

A longo prazo, uma vez comprovada a fiabilidade do sistema de inspeção, este deve ser alvo de uma análise custo/benefício para cada novo projeto da empresa. Em cada caso, deve ainda ser considerada a oportunidade de inclusão de outras variáveis críticas a analisar.

O processo de inspeção a robot, deveria ser monitorizado, trimestralmente, ao longo do primeiro ano de uso, para seguir o desempenho do mesmo e, caso os resultados fossem positivos, planejar estender o conceito para outras Bosch *Plants*.

#### 5.3.4 Precisão do Processo: Montagem Automática

A margem de erro humano existente no processo de montagem é, notoriamente, um desafio com o qual a empresa se deparou. Sendo este um processo crítico, que envolve um produto frágil e sem regras bem estabelecidas de montagem, muito facilmente existiam defeitos dele derivados. A força e o ângulo de inserção da *foil* eram duas das distintas variáveis que, com o processo manual, não existia oportunidade de controlar. Foram criados os dispositivos anti erro já mencionados na secção 4.1 (abas laterais e linha branca), mas não pareciam atenuar os efeitos.

##### *5.3.4.1. Improve*

Surgiu, assim, a última melhoria decorrente da metodologia TRIZ, a montagem automática de *foil*. O sistema de montagem automático é visto por muitos como algo inalcançável. Ao longo dos anos, o assunto não foi debatido por falta de informação, por não se acreditar que existissem sistemas capazes e/ou por se olhar para este sistema como um investimento que a empresa não poderia suportar. Por estes motivos, decidiu-se realizar o estudo desta melhoria, com o intuito de partilhar factualmente se valeria ou não o investimento, sem grandes expectativas, apenas com o intuito de, se o assunto voltasse a surgir, justificar a decisão de investir ou, pelo contrário, viver com a margem de erro humano, com base em números e factos, em vez de suposições.

Depois de contactar vários fornecedores, foi possível chegar a um fio condutor das várias hipóteses que havia no mercado. Para a montagem automática seriam necessários os seguintes componentes para o posto de trabalho – robot colaborativo, braço automático e câmara ou sensor (Figura 86). A estratégia na seleção de elementos, teve a mesma orientação que seguiu a inspeção com robot. Sendo este um processo ainda mais desconhecido no mercado, optou-se por trabalhar juntamente com os poucos fornecedores, no sentido de atingir o objetivo em causa.

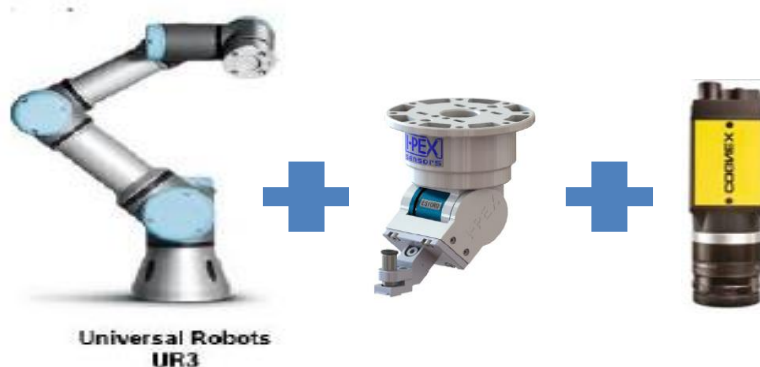


Figura 86 - Elementos necessários para um posto de montagem automática

A análise custo/benefício foi realizada, tendo por base um produto em fase de amostras, que tem início de produção previsto para fevereiro de 2021.

O custo dos postos de trabalho atualmente utilizados na montagem automática, como mostrado anteriormente, podem representar de 17 790UM a 48 590UM, se forem usadas câmeras, ou 66 000UM, se for usado um robot AOI.

O custo do posto de montagem automática é de 54 350UM, estando os cálculos representados na Tabela 21.

Tabela 21 - Custo do PT com montagem automática

<b>Montagem Automática Com Robot Colaborativo</b>		
<b>Componentes do PT</b>	<b>Custo</b>	<b>Documentos base</b>
<b>Workbench Asi/Ed.09</b>	7 940,00UM	R&D – 117/18 – JE Rev03
<b>Robot Colaborativo UR3E (Suportes; barreiras; montagem)</b>	27 000,00UM	
<b>I-PEX gripper- montagem de foil</b>	9 200,00UM	Quotation CR-FR20097 I-Pex Connectors
<b>Câmera 5M (posicionamento, leitor 2D)</b>	7 560,00UM	
<b>Scanner M400</b>	2 150,00UM	
<b>Jig – alinhamento de foil</b>	500,00UM	
<b>Total</b>	54 350,00UM	

No projeto usado como prova de conceito, a substituição do convencional posto de montagem e inspeção de *foil* pela montagem automática, tendo em conta um rebalanceamento da linha, dada a diminuição de tempo de inserção manual e aumento do tempo automático, resultaria numa poupança de 0,07UM por unidade (Tabela 22).

Tabela 22- Custo por peça atual vs Custo por peça com a montagem automática

	Atual	Foils	Desvio
Material	220,98 €	220,98 €	
MAT Risks	4,90 €	4,90 €	
MAT (with Mat Risks)	225,88 €	225,88 €	
MOH Var	2,60 €	2,60 €	
PDC Var	15,69 €	15,61 €	- 0,08 €
PDC Var add	0,15 €	0,15 €	
PDC Risks	0,14 €	0,14 €	
PPC Var	18,58 €	18,50 €	- 0,08 €
MOH Fix w/o Supplier Tools	3,19 €	3,19 €	- €
PDC Fix	13,81 €	13,82 €	0,01 €
PDC Fix add	6,19 €	6,20 €	
PAC Fix	2,94 €	2,93 €	- 0,01 €
PPC Fix	26,13 €	26,14 €	0,01 €
PPC	270,59 €	270,52 €	- 0,07 €

Os cálculos não englobavam as poupanças geradas pelas possíveis reclamações externas evitadas, nem *foils* de refugo. Contrariamente às expectativas criadas, a transição do manual para o automático geraria poupanças significativas. No produto utilizado como prova de conceito estimou-se uma poupança geral de 20 894UM, sem contabilizar as poupanças em reclamações externas. Para além dos visíveis proveitos monetários, o sistema automático de *foil* acarretaria ainda uma série de vantagens:

- Deixaria de ser necessário ter um posto de inspeção final;
- Seria adaptável, uma vez que poderia ser usado em qualquer produto;
- Seria versátil, já que num futuro próximo poderia ser configurado para montar outras peças que não fossem *foil*, e procederia à montagem nos diversos tipos de *foil* e conectores;
- Seria robusto;
- O controlo do fundo e do ambiente deixaria de ser necessário;
- Eliminaría da margem de erro humana – processo mais preciso;
- Teria um aumento da repetibilidade;
- A probabilidade de falha diminuiria drasticamente;
- A Bosch Braga seria o primeiro edifício Bosch com o sistema automático de *foil*.



Ao longo dos próximos meses, espera-se que o sistema seja montado com amostras de diferentes fornecedores, configurado e avaliado. O objetivo é a concretização desta melhoria já no produto usado como prova de conceito, por isso é expectável que o estudo termine antes de fevereiro de 2021.

#### *5.3.4.2. Control*

O responsável pela melhoria em questão será a o *Center of Competence* (CoC) de montagem na Bosch. Isto fará com que, se os resultados forem os esperados, este sistema seja instalado nos restantes novos produtos de Braga, assim como nos das outras *plants* da Bosch. Os resultados devem ser avaliados, tendo por base os indicadores: rejeição interna e rejeição externa.

## 6. DISCUSSÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados referentes às propostas de melhoria expostos no capítulo 5. Esta análise tem como objetivo destacar os principais resultados obtidos, procurando sempre quantificá-los. Das propostas apresentadas, salienta-se que somente o curso de *foil* e a padronização da coleta de dados foram implementados. No entanto, espera-se que a montagem automática de *foils* seja implementada pela primeira vez em fevereiro de 2021, resultado deste projeto. A inspeção a laser, substituição de FFC e introdução do conector de dois contactos serão implementados com a introdução de novos produtos, quando assim se justificar.

### 6.1 Redução do tempo e fiabilidade da coleta de dados

Atendendo à proposta apresentada na secção 5.1., obtiveram-se ganhos visíveis, através das seguintes melhorias:

- Introdução de *clusters* representantes dos problemas “*top*” da empresa;
- Redefinição da tabela de codificação de defeitos;
- Criação da *dashboard* com análises estatísticas, coerentes e coesas.

Estas melhorias permitiram uma redução drástica no tempo de coleta de dados, passando de uma média de 12h para cerca de 5h, refletido num ganho de 99,31% (Tabela 23).

Tabela 23 - Redução de tempo médio na coleta de dados

Variável	Antes	Depois	Ganho
Tempo médio de coleta de dados	12h	5 min	99,31%

Somam-se a estes ganhos, variáveis intangíveis, tais como a tomada de decisões passar a ser feita com base em dados verídicos e coerentes entre departamentos. O facto da *dashboard* dispor de análises gráficas, faz com que o utilizador não despenda tempo a fazê-lo (cerca de 5 min por gráfico), caso necessite, criando uma poupança a nível de tempo e formação. Pelas palavras de Stephen W. Hawking, “O custo de maus dados é a ilusão de conhecimento”, e essa foi, realmente, a poupança com esta melhoria.

### 6.2 Redução de defeitos internos e externos

O objetivo inicial debruçava-se sobre a passagem de 24,3 para 12,1 DPMO, o que refletiria uma redução esperada de 50%. Para atingir este objetivo, diversas variáveis foram estudadas,

abordando o t3pico de diferentes 3ngulos para que fosse poss3vel obter esta redu3o nos diferentes produtos com diferentes tend3ncias de defeitos e especificidades.

Seguem-se as melhorias obtidas e os respetivos resultados alcan3ados/expectados. 3 de real3ar que os valores presentes na Tabela 24 pertencem a produtos diferentes, utilizados nas variadas provas de conceito mencionadas no cap3tulo 5.

Tabela 24 - Redu3o de defeitos

Melhoria	Defeitos sem melhoria	Defeitos Estimados com melhoria	Redu3o de DPMO
Montagem Autom3tica*	17672	2986	83%
Conector com 2 Pontos de Contacto	6136	6126	0,2%
Substitui3o da <i>foil</i> FFC	37565	18787	50%

Na montagem autom3tica, uma vez que a prova de conceito usada 3 um modelo em fase de amostras, os valores de defeitos sem melhoria s3o estimados, tendo por base os defeitos m3dios, numa quantidade de produ3o m3dia, num grupo de produtos semelhantes.

Assim, com a montagem autom3tica, 3 expect3vel obter uma redu3o de DPMO de 83%. Com a introdu3o dos dois pontos de contacto, uma vez que estes apenas evitam reclama3oes associadas a contamina3oes, a redu3o 3 de apenas 0,2% em termos de quantidade, no entanto, sendo este um defeito geralmente encontrado externamente, a redu3o monet3ria ter3 uma maior propor3o.

A substitui3o da *foil* FFC por *foil* FPC, por sua vez, representaria uma redu3o de 50% dos defeitos, o que, comparando quantidades, representa grande parte dos defeitos, mas, uma vez que previne sobretudo defeitos internos, monetariamente, o impacto n3o 3 t3o dr3stico.

Relativamente ao impacto do curso das *foils*, apesar de ser expect3vel uma redu3o de defeitos, a obten3o do valor do mesmo 3 muito vari3vel, pelo que n3o foi poss3vel fazer uma liga3o direta entre o aumento de pessoas aptas e a redu3o de defeitos. Este estudo ser3 feito posteriormente, comparando os dados de 2020 face aos de 2021, altura em que todos os colaboradores ter3o o curso feito. O mesmo aconteceu com a introdu3o do novo sistema de inspe3o. Sendo este um sistema de medi3o ainda em fase embrion3ria, apenas com o desenvolvimento do MSA ao sistema, conseguir-se-ia ter acesso 3s percentagens de defeitos externos evitados. Este valor ser3 calculado aquando da realiza3o do MSA.

### 6.3 Redu3o de custos

A redu3o de custos foi um dos objetivos sobre o qual o projeto se debru3ou. As melhorias mencionadas no cap3tulo 5, nas quais a prova de conceito mostrou ser uma poupan3a, s3o as

mencionadas nesta secção: Montagem Automática e conector com dois Pontos de Contacto. A substituição da *foi*/FFC refletiu-se num investimento, pelo que não será adereçada nesta secção. Esta traria benefícios na diminuição de defeitos, ainda assim, não seria o suficiente para compensar o investimento. No entanto, a melhoria continua válida e, noutras provas de conceito, isto é, noutros produtos, pode representar uma poupança. De notar que o curso de *foils* e a inspeção com robot geram poupanças através da redução de defeitos, ainda que seja desafiante calcular o seu valor. A redução de custos é apresentada nas secções seguintes traduzindo-se em ganhos obtidos em redução de tempos e redução de reclamações.

### 6.3.1 Montagem Automática

Os ganhos na montagem automática são refletidos na eliminação da margem de erro humana.

Na prova de conceito usada, os ganhos esperados são os seguintes (Tabela 25):

*Tabela 25 - Ganhos na montagem automática*

<b>Variáveis</b>	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>	<b>Ganho</b>	<b>Ganho %</b>
<b>Tempo de Ciclo (seg/peça)</b>	150,4	134,5 se	<b>15,9</b>	<b>10,57%</b>
<b>Tempo manual do operador (UM)</b>	5 545 944	5 522 065	<b>23 879</b>	<b>1%</b>
<b>Custo do Posto (UM)</b>	4 122 146,9	4 125 131,8	<b>-2 984,9</b>	<b>-0,07%</b>
<b>Reclamações* (UM)</b>	50 598	6 791	<b>43 808</b>	<b>86,6%</b>

\*valores estimados (cálculos detalhados no apêndice V)

Desta forma, a montagem automática vem impactar diferentes variáveis, entre elas o tempo de ciclo, que sofre uma redução de 15,9 segundos por peça, que se reflete num ganho de 10,57% de tempo. Tendo em conta o tempo de vida útil de produção, o tempo manual do operador sem montagem automática custaria à empresa um total de 5 545 944UM. Esta variável sofre uma redução de 1%, que corresponde a uma poupança de 23 879UM. No que diz respeito ao posto de trabalho, o investimento feito é referente a uma perda de 2 984,9UM, correspondente a um aumento de investimento de 0,07% do custo do posto inicialmente previsto.

O cálculo de reclamações externas e internas previstas sem a melhoria foi efetuado com base na média de reclamações por unidade produzida num grupo de modelos semelhantes ao da prova de conceito. Assumindo uma quebra na taxa de reclamações internas e externas, taxa essa que deverá diminuir em futuros projetos em que o conceito tenha mais maturidade, dá-se uma diminuição de cerca de 86,6% de prejuízo com reclamações, o que refletiu uma poupança de cerca de 43 808UM. Com esta melhoria, estima-se uma redução de defeitos por milhão de oportunidade de cerca de 83% (Apêndice V), ultrapassando o objetivo de reduzir 50%. O ganho na

prova de conceito atingiria as 64 702,1UM e este valor aumentará com a introdução da melhoria noutros produtos e, a longo prazo, noutras *Plants* também.

### 6.3.2 Conector de dois pontos de contacto

A substituição de conectores de um ponto de contacto por um de dois pontos de contacto será utilizada somente quando a troca traz benefício para o produto em questão. O mesmo acontecerá com a substituição de *foil* FFC. Se essa mesma troca não for efetuada, significa que é mais vantajoso viver com a percentagem de defeitos do que mitigá-la/eliminá-la. Sendo este um valor imprevisível, uma vez que depende de caso para caso, seguem apenas os valores da prova de conceito do conector de dois pontos de contacto em que se mostrou ser vantajoso o uso do novo conceito (Tabela 26). Os valores são correspondentes a toda a quantidade produzida no modelo em questão.

*Tabela 26 - Ganhos na introdução do conector no modelo usado na prova de conceito*

<b>Variável em análise</b>		<b>Ganho</b>
<b>Investimento no conector</b>	<b>Poupança reclamações externas</b>	<b>49 029,80 UM</b>
33 970,20UM	83 000UM	

É expectável que este ganho aumente com a utilização do novo conceito nos lançamentos de próximos produtos. É de notar que esta troca pode ser feita a par com a melhoria da montagem automática, ainda que a poupança gerada não seja tanta, uma vez que a montagem automática já reduzirá quase por completo os problemas relacionados com robustez da *foil*, má montagem e alguns de contaminação. A razão pela qual a introdução do conector com dois pontos de contacto e a montagem automática poderão surtir bons efeitos, quando juntos, deve-se ao facto de algumas contaminações não serem geradas no sistema produtivo, mas pelo contrário, virem com a matéria prima, do fornecedor. Nesses casos, o novo conector poderá ser uma boa adição à montagem automática.

## 7. CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e as propostas para trabalho futuro.

### 7.1. Considerações finais

O projeto presente na dissertação foi criado, devido à alta taxa de rejeição do componente eletrónico *foil*, e, conseqüentemente, à entrega de produtos não conformes. O projeto teve a sinergia entre duas metodologias: DMAIC e TRIZ, tendo subjacente a filosofia Lean Thinking. Através das mesmas, o trabalho seguiu, de forma estruturada, num ciclo orientado à resolução de problemas.

Na fase *Define*, foi estabelecido o problema, através da ajuda da análise exploratória de dados, da formação da equipa, do foco do projeto, bem como do objetivo do mesmo. Com o *Define*, percebeu-se que tipos de defeitos, associados à peça, existiam e, que o prejuízo associado a *foils* em 2019 havia sido 156 189€. Nas fases seguintes *Measure* e *Analyze*, foi possível conhecer os processos de montagem, listar detalhadamente os vários fatores que contribuíam para o dano/má montagem da *foil*, medir o processo e testar até encontrar a causa raiz de cada um dos problemas mais críticos. O *output* fulcral destas fases foi a obtenção das causas raízes.

A par com estas e atendendo às fases seguintes do DMAIC, surgiram ainda o curso de montagem de *foils* e a padronização da coleta de dados. A padronização da coleta de dados veio permitir uma poupança na ordem dos 99,3% de tempo gasto a reunir dados que se pode somar às inúmeras vantagens de coerência e consistência de dados. O curso de montagem de *foils* permitiu que cerca de 40% dos formandos se tornasse apto para desempenhar a tarefa no posto, contribuindo para uma redução de defeitos, e conseqüentemente de custos.

O *Improve* deu-se ainda com a junção da matriz das contradições e os princípios inventivos da TRIZ. A união destas metodologias foi frutiva, resultando em quatro melhorias que passariam pela redefinição do conceito/design da montagem de *foils*: substituição de FFCs, uso do conector com dois pontos de contacto, inspeção com robot, e montagem automática. Para cada uma das melhorias foi feita uma prova de conceito, com um produto específico, para entender se os resultados geravam ou não valores positivos. Todas as provas de conceito foram bem-sucedidas, excetuando a substituição de *foils* FFC.

Relativamente ao conector com dois pontos de contacto primou pela qualidade do conceito, e provou reduzir cerca de 0,2% de DPMO (defeitos associados a contaminação no produto usado na prova de conceito). No modelo usado na prova de conceito, esta percentagem representaria uma poupança de 49 029,80UM, no tempo de vida útil do produto.

A substituição da *foi*/FFC evidenciou uma redução de defeitos de cerca de 50%, ainda que atuasse sobretudo nos defeitos menos caros para a empresa. A inspeção com robot, apesar de trazer inúmeras vantagens, não foi possível quantificar as mesmas, devido à fase embrionária em que se ficou. A montagem automática demonstrou ser a maior conquista do projeto. Por ser um conceito relativamente recente no mercado, por eliminar a margem de erro humano no processo, por gerar poupanças de cerca de 64 702,1UM no tempo de vida de um produto e por reduzir em cerca de 83% os defeitos por milhão de oportunidade.

Quanto à gestão da equipa, o *Scrum* e a OPL tiveram um papel fundamental na monitorização de tarefas. O facto de ter por base a metodologia DMAIC, e as ferramentas subordinadas, fez com que a equipa conseguisse perceber em cada momento onde estava e qual era o passo seguinte. Esta coordenação conferiu confiança e motivação aos membros. Por outro lado, a fusão do *Lean Six Sigma* com a TRIZ vieram empoderar a criatividade da equipa, numa fase em que as ferramentas ao dispor não eram suficientes para atingir o solicitado. A TRIZ teve um papel fulcral no projeto e na motivação da equipa, por ser algo que desconheciam e no qual podiam depositar esperança. O facto de bastantes equipas, no passado, terem trabalho neste tópico sem chegarem a conclusões, criou um ceticismo na equipa. Ceticismo esse que continuaria a existir se, uma vez mais, o problema fosse abordado com a mesma estratégia. Assim, a introdução da TRIZ foi crucial no levantamento de melhorias de redefinição/design, como também no entusiasmo e comprometimento da equipa.

## 7.2 Trabalho futuro

Como proposta de trabalho futuro surgem tópicos relacionados com a montagem automática, inspeção com robot, curso de *foils* e desenvolvimento de um novo produto. Assim, no caso da montagem automática, será necessário proceder à realização de testes de configuração. Os mesmos deverão ser feitos até fevereiro de 2021.

No que concerne a inspeção com robot, deverá ser feito um *Gage R&R*, que seguirá as regras internas da Bosch para aprovação do sistema de medição.

O curso de *foils* tornar-se-à responsabilidade de uma pessoa unicamente orientada ao *training on the job*, posição que será criada em setembro de 2021. O mesmo será obrigatório, com repetição anual, e com nota mínima de aprovação de 80%.

Após finalizados os detalhes supramencionados em cada uma das melhorias, o trabalho futuro passará por, aquando do desenvolvimento de um novo produto, desenvolver análises custo/benefício e de risco para entender qual a melhoria que trará uma maior redução de defeitos e, conseqüentemente, de custos para o projeto em causa.

O passo seguinte será, após demonstrar indicadores positivos no uso das melhorias, fazer *Yokoten* das mesmas para outras fábricas Bosch no mundo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, J. (2020). Impact of total quality management on corporate sustainability through the mediating effect of knowledge management. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 244). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118806>
- Alfaro, C. R., Madrigal, G. B., & Hernández, M. C. (2020). Improving forensic processes performance: A Lean Six Sigma approach. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 90–94. <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.02.001>
- Alves, A. C., Leão, C. P., Maia, L. C., & Navas, H. V. G. (2016). Understanding if and how TRIZ is used in the Portuguese reality. *International Conference on Systematic Innovation, 1990*.
- Alves, Sousa, & Navas. (2020). Lean and TRIZ: From the Problems to Creative and Sustainable Solutions. *6th European Lean Educator*, 103–116.
- Amaro, A. P., & Pinto, J. P. (2007). *Criação de valor e eliminação de desperdícios*.
- Amaro, P., Alves, A. C., & Sousa, R. M. (2019). Lean thinking: A transversal and global management philosophy to achieve sustainability benefits. In *Lean Engineering for Global Development*. Springer Nature Switzerland AG 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_1)
- Andersson, R., Eriksson, H., & Torstensson, H. (2006). Similarities and differences between TQM, six sigma and lean. *TQM Magazine*, 18(3), 282–296. <https://doi.org/10.1108/09544780610660004>
- Anosike, A. I., & Lim, M. K. (2013). Integrating Lean, Theory of Constraints and Triz for Process Innovation. *Short Research Papers on Knowledge, Innovation and Enterprise*, 64–74.
- apcer. (2015). *Guia ISO 9001*.
- Arnheiter, E. D., & Maleyeff, J. (2005). The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*, 17(1), 5–18. <https://doi.org/10.1108/09544780510573020>
- ASQ. (2009). *Six Sigma - the DMAIC Methodology - ASQ*.
- Black, J. (2007). Design rules for implementing the Toyota Production System. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3639–36641. <https://doi.org/10.1080/00207540701223469>
- Bligh, A. (2006). The Overlap Between TRIZ and Lean. *Manufacturing Systems*, 1–10.
- Bloj, M.-D., Moica, S., & Veres, C. (2020). Lean Six Sigma in the Energy Service Sector: A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 46(2019), 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.051>

- Boangmanalu, E., Abigail, T., Sembiring, A., & Tampubolon, J. (2020). Minimizing damage of product using six sigma and triz methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 801(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012101>
- Boschma, R. A., & Wenting, R. (2007). The spatial evolution of the British automobile industry: Does location matter? *Industrial and Corporate Change*, 16(2), 213–238. <https://doi.org/10.1093/icc/dtm004>
- Cançado, T. O. de B., Cançado, F. B., & Torres, M. L. A. (2019). Lean Six Sigma and anesthesia. *Brazilian Journal of Anesthesiology (English Edition)*, 69(5), 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2019.09.004>
- Correia, M., Barbosa, J., Alves, A., Silva, L., & Seabra, E. (2015). Design for Lean Production on the improvement of a car component. *International Conference on Engineering*, 1761–1770.
- Coughlan, P., & Coghlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- De Mast, J., & Lokkerbol, J. (2012). An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 604–614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.035>
- Dean Jr., J. W., & Bowen, D. E. (1994). Management Theory and Total Quality : Improving Research and Practice through Theory Development Author ( s ): James W . Dean , Jr . and David E . Bowen Source : The Academy of Management Review , Vol . 19 , No . 3 , Special Issue : " Total Quality " Publ. *Academy of Management*, 19(3), 392–418.
- Doshi, P. J. A., Kamdar, J. D., Jani, P. S. Y., & Chaudhary, P. S. J. (2012). Root Cause Analysis Using Ishikawa Diagram For Reducing Radiator Rejection. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(6), 684–689. [www.ijera.com](http://www.ijera.com)
- Eye Witness History. (2005). *Henry Ford Changes the World*. <http://www.eyewitnesstohistory.com/ford.htm>
- Ford, H. (1926). *Today and Tomorrow* (G. Otterholt (ed.)). Generosity Press. EyeWitness to History [www.eyewitnesstohistory.com](http://www.eyewitnesstohistory.com)
- Freeman, R. E. E., & McVea, J. (2005). A Stakeholder Approach to Strategic Management. *SSRN Electronic Journal*, January. <https://doi.org/10.2139/ssrn.263511>
- Fritze, C. (2016). *The Toyota Production System: The Key Elements and the Role of Kaizen within the system*. January, 80.

- Ghinato, P. (1995). Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time. *Production*, 5(2), 169–189. <https://doi.org/10.1590/s0103-65131995000200004>
- Gleeson, F., Coughlan, P., Goodman, L., Newell, A., & Hargaden, V. (2019). Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean-six sigma methods. *Procedia CIRP*, 81, 641–646. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.169>
- Gonçalves, J. E. L. (2000). Processo, que processo? *Revista de Administração de Empresas*, 40(4), 8–19. <https://doi.org/10.1590/s0034-75902000000400002>
- Gordon, J. (2002). *Six Sigma Quality for Business and Manufacture* (1st ed.). [https://www.elsevier.com/books/six-sigma-quality-for-business-and-manufacture/gordon/978-0-444-51047-1?countrycode=ES&format=print&campaign\\_source=google\\_ads&campaign\\_medium=paid\\_search&campaign\\_name=portugalshopping&gclid=Cj0KCQiAOZHwBRCRARIsAKOTrou6dCT](https://www.elsevier.com/books/six-sigma-quality-for-business-and-manufacture/gordon/978-0-444-51047-1?countrycode=ES&format=print&campaign_source=google_ads&campaign_medium=paid_search&campaign_name=portugalshopping&gclid=Cj0KCQiAOZHwBRCRARIsAKOTrou6dCT)
- Hackman, J. R., & Wageman, R. (1995). Total Quality Management: Empirical, Conceptual, and Practical Issues. *Administrative Science Quarterly*, 40(2), 309. <https://doi.org/10.2307/2393640>
- Harvin, H. (2019). *Six Sigma Implementation & its Benefits in Ford Motor Company*.
- Henny, H., Agnia, N., & Hardianto, H. (2019). Analysis Quality Control of Carded and Combed Yarns Using Six Sigma Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 662(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/6/062008>
- Hilton, R. J., & Sohal, A. (2012). A conceptual model for the successful deployment of Lean Six Sigma. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 29(1), 54–70. <https://doi.org/10.1108/02656711211190873>
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to Evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.24 NO.
- Hines, Peter. (2012). *Toyota Production System in House Building*. 1–20.
- Hines, Peter, & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations and Production Management*, 17(1), 46–64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>
- Hidroğlu, D. (2019). Self- assessment Performance Measurement in Construction Companies: An Application of the EFQM Excellence Model on Processes and Customer Stages. *Procedia Computer Science*, 158, 844–851. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.122>

- Hsieh, H.-N., Chen, J.-F., & Do, Q. (2015). Applying TRIZ and Fuzzy AHP Based on Lean Production to Develop an Innovative Design of a New Shape for Machine Tools. *Information*, 6(1), 89–110. <https://doi.org/10.3390/info6010089>
- Hu, S. J. (2013). *Evolving Paradigms of Manufacturing: From Mass Production to Mass Customization and Personalization* (p. 6).
- Huang, C. T., Chen, K. S., & Chang, T. C. (2010). An application of DMADV methodology for increasing the yield rate of surveillance cameras. *Microelectronics Reliability*, 50(2), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2009.10.003>
- Imai, M. (1988). *Kaizen - The key to Japan's Competitive Success*.
- Indrawati, S., A'Azzam, E., Adrianto, E., Miranda, S., & Prabaswari, A. D. (2020). Lean Concept Development in Fast Food Industry Using Integration of Six Sigma and TRIZ Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 722(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/722/1/012044>
- Aplicação PDCA e diagrama de Ishikawa, (2010). <https://pt.scribd.com/document/56728747/Aplicacao-PDCA-e-diagrama-de-Ishikawa>
- Juran, J., & Godfrey, A. (1998). *Juran's Quality Handbook*.
- Juran, J. M. (1986). Quality Trilogy. *Quality Progress*, 19(8), 19–24. <https://doi.org/10.4135/9781483346366.n176>
- KaiNexus. (2016). *Six Sigma*.
- Kane, V. E. (1986). Process Capability Indices. In *Journal of Quality Technology* (Vol. 18, Issue 1, pp. 41–52). <https://doi.org/10.1080/00224065.1986.11978984>
- Kaplík, P., Pristavka, M., Bujna, M., & Viderňan, J. (2013). Use of 8D method to solve problems. *Advanced Materials Research*, 801, 95–101. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.801.95>
- Karlsson, C., & Hlström, P. (1996). Assessing changes towards lean production. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(2), 24–41. <https://doi.org/10.1108/01443579610109820>
- Kato, I. (1973). Original TPS Book. In *Art of Lean, Inc.*
- Impact of Manufacturing System Configuration on Performance, (1998).
- Korenko, M., Kročko, V., Ťitňák, M., Földešiová, D., Adamik, M., & Álló, Š. (2008). *Application 8D method for problems solving*. 49, 69–73.
- Lande, M., Shrivastava, R. L., & Seth, D. (2016). Critical success factors for Lean Six Sigma in

- SMEs (small and medium enterprises). *TQM Journal*, 28(4), 613–635.  
<https://doi.org/10.1108/TQM-12-2014-0107>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer* (C. P. Enterprises (ed.)).
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20.  
<https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Lindström, J., Nilsson, K., Parida, V., Sjödin, D. R., & Ylinenpää, H. (2015). Sustainable management of operation for functional products: Which customer values are of interest for marketing and sales? *Procedia CIRP*, 30, 299–304.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.131>
- Maarof, M. G., & Mahmud, F. (2016). A Review of Contributing Factors and Challenges in Implementing Kaizen in Small and Medium Enterprises. *Procedia Economics and Finance*, 35(October 2015), 522–531. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(16\)00065-4](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(16)00065-4)
- Magar, V. M., & Shinde, V. B. (2014). Application of 7 Quality Control ( 7 QC ) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4), 364–371.
- Maia, L. C., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2015). How could the TRIZ tool help continuous improvement efforts of the companies? *Procedia Engineering*, 131, 343–351.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.412>
- Marie, D., Simon, N., & Vaulot, D. (2005). Phytoplankton Cell Counting by Flow Cytometry. *Algal Culturing Techniques*, January, 253–267. <https://doi.org/10.1016/b978-012088426-1/50018-4>
- Martin, A. (2010). *TRIZ, Theory of Constraints and Lean*. 1–3.
- Martin, L. D., Rampersad, S. E., Low, D. K., & Reed, M. A. (2014). Revista Colombiana de Anestesiología Process improvement in the operating room using Toyota ( Lean ) methods &. *Colombian Journal of Anesthesiology*, 42(3), 220–228.  
<https://doi.org/10.1016/j.rcae.2014.05.006>
- McKeever, C. (2006). The *Project Charter* - Blueprint for success. *CrossTalk*, 19(1), 6–9.
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System - An integrated Approach to Just-in-Time* (3rd ed.). Industrial Engineering & Management Press.
- Nakagawa, M. (2014). Ferramenta: 5w2h – plano de ação para empreendedores. *Movimento*

- Empreenda*, 1–3. [http://cms-empreenda.s3.amazonaws.com/empreenda/files\\_static/arquivos/2014/07/01/5W2H.pdf](http://cms-empreenda.s3.amazonaws.com/empreenda/files_static/arquivos/2014/07/01/5W2H.pdf)
- Navas, H. (2013). *Triz. Guia de Empresas Certificadas, January 2013*.
- Navas, H., & Cruz-machado, V. (2015). Aplicação do Modelo TRIZ-Lean Numa Indústria Alimentar. In *12º Congreso iberoamericano de ingeniería mecánica* (Issue November). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1933.5763>
- Navas, H. V. G., & Cruz Machado, V. (2013). Systematic innovation in a lean management environment. *IIE Annual Conference and Expo 2013, May*, 2138–2147. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2046.4083>
- Navas, H. V. G., & Machado, V. A. C. (2015). “The lifeline” of technical systems in a TRIZ-LEAN environment. *Procedia Engineering*, 131, 232–236. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.383>
- O’Brien, R. (2001). An overview of the methodological approach of Action Research. In R. Richardson (Ed.), *Theory and Practice of Action Research* (pp. 1–15).
- Ohno, T. (1978). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. 32(May), 147–156.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system beyond large scale production*.
- Ong, Y. B. O., & Sfenrianto. (2019). Implementation of six sigma concept to improve software product quality at XYZ company. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(4), 1971–1977. <https://doi.org/10.35940/ijrte.D6786.118419>
- Ooi, K.-B. (2014). *TQM: A facilitator to enhance knowledge management? A structural analysis*. 41(11), 5167–5179.
- Othman, I., Norfarahhanim Mohd Ghani, S., & Woon Choon, S. (2019). The Total Quality Management (TQM) journey of Malaysian building contractors. *Ain Shams Engineering Journal*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.11.002>
- Pacheco, A., Salles, B., Garcia, M., & Possamai, O. (2008). O Cico PDCA na Gestão do Conhecimento; uma abordagem sistêmica. *Universidade Federal de Santa Catarina*, 1–10. <http://www.issbrasil.usp.br/pdfs2/ana.pdf>
- Palmer. (2001). *Mood and Modality* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Pamfilie, R., & Draghici, M. (2012). The Importance of Leadership in Driving a Strategic Lean Six Sigma Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 58, 187–196. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.992>
- Polat, G., & Ballard, G. (2004). Waste in Turkish Construction: Need for Lean Construction

- Techniques. *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 3–5.
- Poppendieck, M., & Llc, P. (2002). Principles of Lean Thinking: Tools & Techniques for Advanced Manufacturing. *System*, *D*(July), 1–7.  
<http://meidling.jypwien.at/uploads/media/LeanThinking.pdf>
- Pyzdek, T. (2000). The Six Sigma Revolution. *Six Sigma and Beyond*, Figure 1.  
<http://www.pyzdek.com/six-sigma-revolution.htm12/21/2000>
- Rai, A. T., Smith, M. S., Boo, S., Tarabishy, A. R., Hobbs, G. R., & Carpenter, J. S. (2016). The pit-crew model for improving door-to-needle times in endovascular stroke therapy: A Six-Sigma project. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, *8*(5), 447–452.  
<https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2015-012219>
- Raja Sreedharan, V., & Raju, R. (2016). A systematic literature review of Lean Six Sigma in different industries. *International Journal of Lean Six Sigma*, *7*(4), 430–466.  
<https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2015-0050>
- Rantanen, K., Conley, D. W., & Domb, E. R. (2017). Simplified TRIZ: New problem-solving applications for technical and business professionals: Third edition. *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Technical and Business Professionals: Third Edition*, 1–282.  
<https://doi.org/10.1201/b22111>
- Sabel, C., & Zeitlin, J. (1985). Historical alternatives to mass production: Politics, markets and technology in nineteenth-century industrialization. *Past and Present*, *108*(1), 133–176.  
<https://doi.org/10.1093/past/108.1.133>
- Sadraoui, T., & Fayza, J. (2014). Efficacité de la Méthodologie Six Sigma dans la Gestion de la Chaîne Logistique. *International Journal of Econometrics and Financial Management*, *2*(6), 220–235. <https://doi.org/10.12691/ijefm-2-6-2>
- Saja Ahmed Albliwi, J. A. and S. A. H. L. (2015). A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry. *Business Process Management Journal*, *21*(Unit 07), 1–5.
- Sangpikul, A. (2017). Implementing academic service learning and the PDCA cycle in a marketing course: Contributions to three beneficiaries. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, *21*, 83–87.
- Schneiderman, A. M. (1986). Optimum Quality Costs and Zero Defects: Are They Contradictory Concepts? *Quality Progress*, *19*(11), 28–31.
- Shahin, A. (2008). Design for Six Sigma (DFSS): Lessons learned from world-class companies.

- International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 4(1), 48–59.  
<https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2008.018420>
- Smart, N. (2013). *Lean Biomanufacturing*. <https://www.elsevier.com/books/lean-biomanufacturing/smart/978-1-907568-78-7>
- Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma – getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(1), 9–29. <https://doi.org/10.1108/20401461011033130>
- Soković, M., Jovanović, J., Krivokapić, Z., & Vujović, A. (2009). Basic quality tools in continuous improvement process. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 55(5), 1–9.
- Steere, L., Rousseau, M., & Durland, L. (2018). Lean Six Sigma for Intravenous Therapy Optimization: A Hospital Use of Lean Thinking to Improve Occlusion Management. *JAVA - Journal of the Association for Vascular Access*, 23(1), 42–50.  
<https://doi.org/10.1016/j.java.2018.01.002>
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>
- Sunder, M. V., Ganesh, L. S., & Marathe, R. R. (2018). A morphological analysis of research literature on Lean Six Sigma for services. *International Journal of Operations & Production Management, Unit 07*, 1–5.
- Swedish Institute for Quality. (2019). *SIQ Management Model*.
- Taghizadegan, S. (2006). *Essentials of Lean Six Sigma*. Butterworth-Heinemann 2006.  
<https://www.elsevier.com/books/essentials-of-lean-six-sigma/taghizadegan/978-0-12-370502-0>
- Trad, S., & Maximiano, A. C. A. (2009). Seis sigma: fatores críticos de sucesso para sua implantação. *Revista de Administração Contemporânea*, 13(4), 647–662.  
<https://doi.org/10.1590/s1415-65552009000400008>
- Trueblood, R. P., Lovett, J. N., Trueblood, R. P., & Lovett, J. N. (2001). Control Charting. *Data Mining and Statistical Analysis Using SQL*, 181–228. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0855-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0855-6_6)
- Túlio, B. F. (2003). O Uso do Fluxograma Descritor e Projetos Terapêuticos para Análise de Serviços de Saúde, em apoio ao Planejamento: O caso de Luz -MG. *O Trabalho Em Saúde*, 1–30.
- Ungan, M. C. (2006). Standardization through process documentation. *Business Process*



- Management Journal*, 12(2), 135–148. <https://doi.org/10.1108/14637150610657495>
- Wang, C. N., Huang, Y. F., Le, T. N., & Ta, T. T. (2016). An innovative approach to enhancing the sustainable development of japanese automobile suppliers. *Sustainability (Switzerland)*, 8(5), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su8050420>
- Wibowo, E. W., Syah, T. Y. R., Darmansyah, D., & Pusaka, S. (2018). Implementation of Lean Concept in Start-up Engineering Service Provider. *Scientific Journal of PPI-UKM Social Sciences and Economics*, 5(1), 7–11. <https://doi.org/10.27512/sjppi-ukm/ses/a19012018>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*.
- Zaini, Z., & Saad, A. (2019). Business process reengineering as the current best methodology for improving the business process. *Journal of ICT in Education*, 6(1), 66–85.
- Zárraga-Rodríguez, M., & Álvarez, M. J. (2014). Does the EFQM Model Identify and Reinforce Information Capability? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 109, 716–721. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.535>

## APÊNDICES

## APÊNDICE I – LISTAGEM DE PRODUTOS, RESPECTIVAS FOIL E CONETORES

Tabela 27 - Excerto listagem produtos, respetivas foil e conetores (1)

Product		Foil			Connectors		
BMW4.1 10" 0263.745.203	Left	8613.012.769	FFC	-SEI Interconnect Products	8638.802.780	- KYOCERA ELCO CORPORATION - AVX LIMITED	
	Right	8613.012.770	FFC	- SEI Interconnect Product	8638.802.780	- Kyocera Fineceramics GmbH - Hirose Electric Europe B.V. - Robert Bosch Elektronika Kft.	
	Main PCB	Data foil	8613.012.257	FPC	- Meitec Europe Sales GmbH - Meitec Manufacturing Corp. (Zh) Ltd	8638.802.809	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH
		Backlight foil Display's PN: 8928.554.223		FPC	- Vem montada do fornecedor do display: LG Display Germany	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH
BMW4.1 12" 0263.745.201	Left	8613.012.927	FFC	- SEI Interconnect Products	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH	
	Right	8613.012.256	FFC	- SEI Interconnect Products	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH	
	Main PCB	Data foil	8613.012.257	FPC	- Meitec Europe Sales GmbH - Meitec Manufacturing Corp. (Zh) Ltd	8638.802.809	- Hirose Electric Europe B.V. - Robert Bosch Elektronika Kft.
		Backlight foil Display's PN: 8928.554.262		FPC	- Vem montada do fornecedor do display: LG Display Germany GmbH	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH
BMW I-Kombi 6.5" 0263.750.122	Main PCB	Data foil	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: Innolux	8638.802.304	- Hirose Electric Europe B.V.	
		Backlight foil Display's PN: 8928.554.224	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: Innolux	8638.802.808	- Hirose Electric Europe B.V. - Robert Bosch Elektronika Kft.	
KTM 0263.752.000	Main PCB	Data foil	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: Innolux	8638.802.304	- Hirose Electric Europe B.V.	
		Backlight foil Display's PN: 8928.554.224	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: Innolux	8638.802.808	- Hirose Electric Europe B.V. - Robert Bosch Elektronika Kft.	
KIG1 0263.739.008	Main PCB	Data foil Display's PN: 8928.554.114	FFC	- Vem montada dos fornecedores do display: Robert Bosch Elektronika Kft e JDI Europe GmbH	8638.802.397	- HIROSE Electric Europe B.V. - Bosch Automotive Products (Suzhou)	
BMW CHUD 0263.702.043	LED PCB	1036924876	FFC	- Alysium Tech GmbH	8638.802.575	- AVX LIMITED - Robert Bosch Car Multimedia - Kyocera Fineceramics GmbH	
	Main PCB	Display foil Display's PN: 8928.554.169	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: JDI Europe GmbH	8638.802.364	- Hirose Electric Europe B.V. - Robert Bosch Car Multimedia - Robert Bosch (Malaysia) Sdn Bhd - Bosch Automotive Products (Suzhou)	

Tabela 28 - Excerto listagem produtos, respetivas foil e conetores (2)

Nissan LCN 2KAI 7.513.750.241 / 255 / 257	Display-module	8618.005.896	FFC	- Alysium Tech GmbH - Robert Bosch (Malaysia) Sdn Bhd	8638.802.397	- HIROSE Electric Europe B.V. - Bosch Automotive Products (Suzhou)
	Display - 1	Display's PN: F039.550.008	-	- Vem montada do fornecedor do display: Sharp	8638.803.540	- Iriso Electronics Europe GmbH - IRS (S) PTE LTD
	Display - 2	Display's PN: F039.550.008	-	- Vem montada do fornecedor do display: Sharp	8638.803.540	- Iriso Electronics Europe GmbH - IRS (S) PTE LTD
Audi FPK2 CB 263.749.053	Display	Display's PN: 8928554228	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: JDI Europe GmbH	8638.802.809	- Hirose Electric Europe B.V. - Robert Bosch Elektronika Kft.
		Backlight foil Display's PN: 8928554228	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: JDI Europe GmbH	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH
	WL	8613.012.589	FFC	- Alysium Tech GmbH	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH
	CBB/temp PCB	8613.011.404	FFC	- Alysium Tech GmbH - SEI Interconnect Products	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH
CBB/fuel PCB	8613.014.963	FFC	- Alysium Tech GmbH	8638.802.780	- AVX LIMITED - Kyocera Fineceramics GmbH	
Renault Entry V2 7513.751.440	Display - Switch PCB	Display's PN: 8928550359	FPC	Vem montada do fornecedor do display: - LG Display Germany GmbH - Robert Bosch (Malaysia) Sdn Bhd	8638.802.415	- Robert Bosch Elektronika Kft. - Hirose Electric Europe B.V.
	Display - Switch PCB	Display's PN: 8928550359	FPC	- Vem montada do fornecedor do display: - LG Display Germany GmbH - Robert Bosch (Malaysia) Sdn Bhd	8638.802.800	- HIROSE Electric Europe B.V. - Robert Bosch Elektronika Kft. - Bosch Automotive Products (Suzhou) - Robert Bosch Car Multimedia GmbH
	Touchpanel - Switch PCB	8638.802.364	FPC	- HIROSE Electric Europe B.V. - Robert Bosch Car Multimedia - Robert Bosch (Malaysia) Sdn Bhd - Bosch Automotive Products (Suzhou) - Robert Bosch Car Multimedia GmbH	8638.803.490	- NMB-Minebea-GmbH
JLR 7.503.350.004	Foil - Mechanism foil	8613.950.023	FFC	- SEI Interconnect Products	8638.803.199	- MITSUMI ELECTRONICS EUROPE GMBH - NMB-Minebea-GmbH
Intelllic 8.613.013.656	Main PCB	Card's reader PN: 8613.013.681		- Vem montada do fornecedor do Card Reader	8627.007.535	- Iriso Electronics Europe GmbH
	Main PCB	Card's reader PN: 8613.013.681		- Vem montada do fornecedor do Card Reader	8627.007.535	- Iriso Electronics Europe GmbH

Tabela 29 - Excerto listagem produtos, respetivas foil e conetores (3)

## APÊNDICE II – CONDIÇÕES DOS TESTES DE REPLICAÇÃO DE CONDIÇÕES DE CAMPO

### Vibration test-GS 95003-3 – J2000271-02

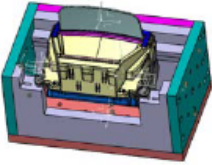
Purpose	To verify that the component or component/bracket assembly is capable of withstanding the effects of the vehicle vibration environment.																																																																																
Test Procedure	<p>Test is carried out according to BMW GS 95003-3 §4.1.</p> <p><b>Test setup:</b>  The test specimen is mounted on a clamping device and screwed on the original connecting points. Screws: M6 Torx with washer (diameter = 18mm). Tightening torque: 8 Nm.  The fixture must be identical with the fixture that was used during the release validation tests.  Position of the acceleration sensors: The acceleration sensors are placed directly beside the screw points. An average value (mean) is measured.  Each test specimen is to be checked in all 3 spatial axis. Testing period for each axis: 8 hours. Vibration profile broadband noise from BMW 95003-3: for mounting position A, see on the next page.  Temperature profile -40°C / +90°C: Temperature profile according previous temperature test, test 03 (Temperature cycling-GS 95003-4).  Operating condition of kinematic module: During the entire vibration test, the sample is not powered.  In this case the sample is not powered during test.</p> <table border="1" data-bbox="464 1032 1102 1238"> <thead> <tr> <th colspan="6">Raumachse / Spatial axis</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Horizontal-längs/Horizontal longitudinal</th> <th colspan="2">Horizontal-quer / Horizontal transversal</th> <th colspan="2">Vertikal / Vertical</th> </tr> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>s [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]</th> <th>f [Hz]</th> <th>s [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]</th> <th>f [Hz]</th> <th>s [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>0,2500</td> <td>5</td> <td>0,2000</td> <td>5</td> <td>1,0000</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>0,2000</td> <td>12</td> <td>1,7000</td> <td>9</td> <td>0,8000</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>2,5000</td> <td>20</td> <td>1,7000</td> <td>12</td> <td>2,2000</td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>2,5000</td> <td>200</td> <td>0,0400</td> <td>20</td> <td>2,2000</td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>0,7800</td> <td></td> <td></td> <td>200</td> <td>0,0400</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0,0440</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">σ<sub>RMS</sub> = 7,4 m/s<sup>2</sup></td> <td colspan="2">σ<sub>RMS</sub> = 8,5 m/s<sup>2</sup></td> <td colspan="2">σ<sub>RMS</sub> = 8,6 m/s<sup>2</sup></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1114 1032 1337 1238"> <thead> <tr> <th>t [min]</th> <th>Temp. [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>20</td></tr> <tr><td>60</td><td>-40</td></tr> <tr><td>120</td><td>-40</td></tr> <tr><td>150</td><td>-40</td></tr> <tr><td>210</td><td>20</td></tr> <tr><td>300</td><td>90</td></tr> <tr><td>350</td><td>90</td></tr> <tr><td>410</td><td>90</td></tr> <tr><td>480</td><td>20</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Test Conditions:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Test equipment: Vibration equipment, Climatic chamber.</li> <li>- Monitoring: Vibration, Temperature.</li> <li>- Test duration: 8h/axis (24h one sample)</li> </ul> <p><b>Number of samples: 01, group A.</b></p> 	Raumachse / Spatial axis						Horizontal-längs/Horizontal longitudinal		Horizontal-quer / Horizontal transversal		Vertikal / Vertical		f [Hz]	s [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]	f [Hz]	s [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]	f [Hz]	s [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]	5	0,2500	5	0,2000	5	1,0000	9	0,2000	12	1,7000	9	0,8000	12	2,5000	20	1,7000	12	2,2000	18	2,5000	200	0,0400	20	2,2000	24	0,7800			200	0,0400	200	0,0440					σ <sub>RMS</sub> = 7,4 m/s <sup>2</sup>		σ <sub>RMS</sub> = 8,5 m/s <sup>2</sup>		σ <sub>RMS</sub> = 8,6 m/s <sup>2</sup>		t [min]	Temp. [°C]	0	20	60	-40	120	-40	150	-40	210	20	300	90	350	90	410	90	480	20
Raumachse / Spatial axis																																																																																	
Horizontal-längs/Horizontal longitudinal		Horizontal-quer / Horizontal transversal		Vertikal / Vertical																																																																													
f [Hz]	s [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]	f [Hz]	s [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]	f [Hz]	s [(m/s <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> /Hz]																																																																												
5	0,2500	5	0,2000	5	1,0000																																																																												
9	0,2000	12	1,7000	9	0,8000																																																																												
12	2,5000	20	1,7000	12	2,2000																																																																												
18	2,5000	200	0,0400	20	2,2000																																																																												
24	0,7800			200	0,0400																																																																												
200	0,0440																																																																																
σ <sub>RMS</sub> = 7,4 m/s <sup>2</sup>		σ <sub>RMS</sub> = 8,5 m/s <sup>2</sup>		σ <sub>RMS</sub> = 8,6 m/s <sup>2</sup>																																																																													
t [min]	Temp. [°C]																																																																																
0	20																																																																																
60	-40																																																																																
120	-40																																																																																
150	-40																																																																																
210	20																																																																																
300	90																																																																																
350	90																																																																																
410	90																																																																																
480	20																																																																																

Figura 87 - Teste de vibração - Detalhe

## Mechanical Shock Test – J2000271-03

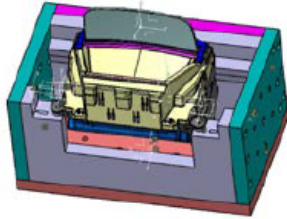
Purpose	To verify that the component is capable of withstanding mechanical shock impulses encountered during vehicle operation, shipment, towwing, etc.
Test Procedure	<p>Test is carried out according to BMW GS 95003-3 §5.</p> <p>Shock form = Half sine wave. Acceleration = 50g. Period = 11ms.</p> <p>Perform 10 shock per direction (+/-X, +/-Y, +/-Z: ) at RT. Total amount of shocks per sample = 60.</p> <p>In this case the sample is not powered during test.</p> <p>Test Conditions: - Test equipment: Vibration equipment. - Monitoring: Vibration shocks. - Test duration: 1h/axis (3h one sample)</p> <p>Number of samples: 01, group A.</p> 
Test Criteria	To be evaluated after test by requester (foil verification)
Test Result	<p>Started on 19.06.20, ended on 22.06.20</p> <p>Results: To be evaluated by requester after test.</p>

Figura 89 - Teste de Choque Mecânico – parte 1


Test Criteria	To be evaluated after test by requester (foil verification)
Test Result	<p>Started on 19.06.20, ended on 22.06.20</p> <p>Results: To be evaluated by requester after test.</p>
Pictures	
Analysis/Remarks	
Equipment	E2-16 - BMW CHUD, m90 - Shaker

Figura 88 - Teste Choque Mecânico - parte 2

## APÊNDICE III – ANÁLISE DETALHADA DO *ATTRIBUTE AGREEMENT ANALYSIS*

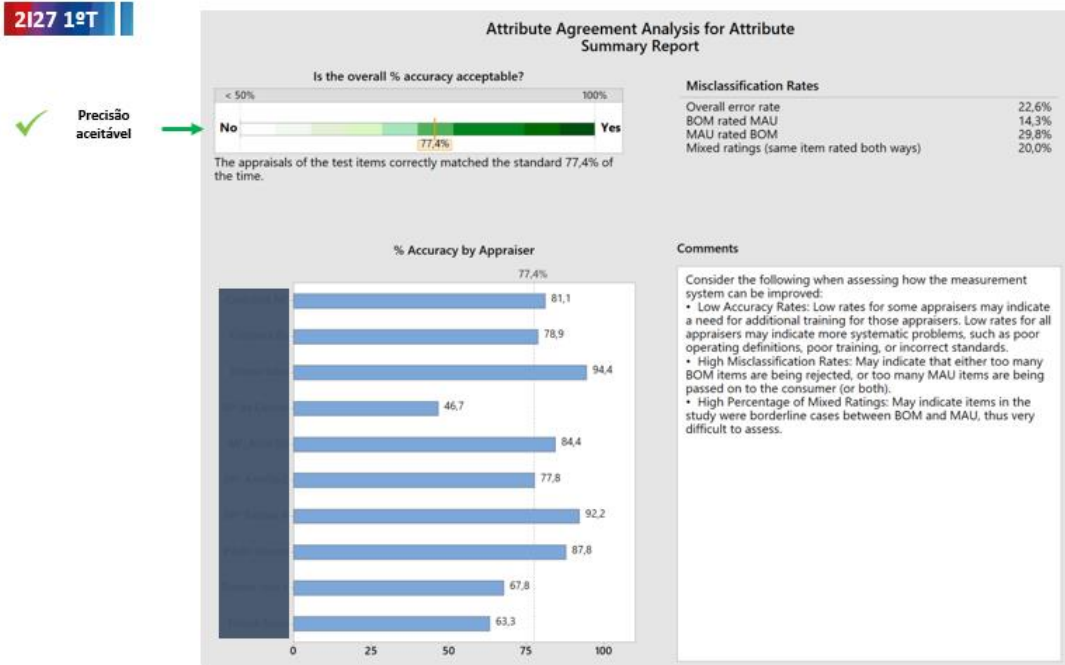


Figura 90 - Attribute Agreement Analysis: linha 2127 1ºT - Summary Report

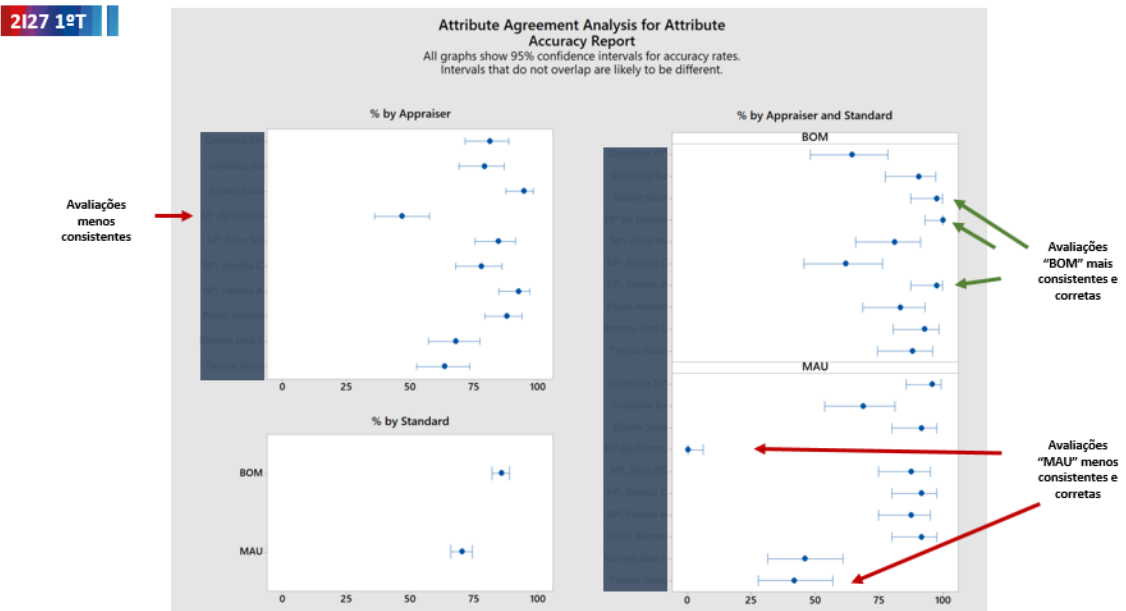


Figura 91 - Attribute Agreement Analysis: linha 2127 1ºT - Accuracy Report



Figura 92 - Attribute Agreement Analysis: linha 2127 1ºT - Misclassification Report

✓ Precisão aceitável

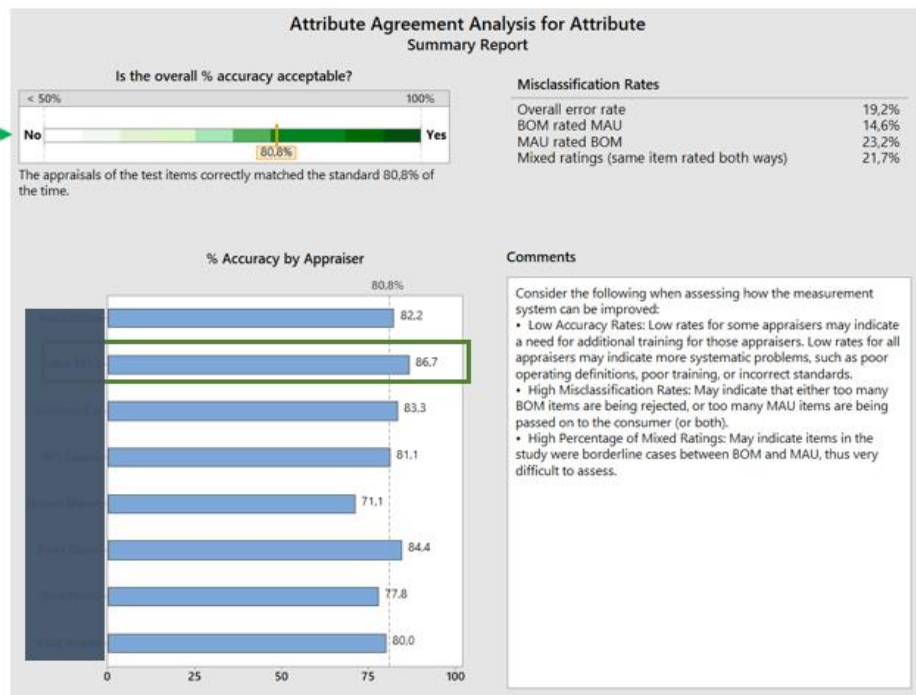


Figura 93 - Attribute Agreement Analysis: linha 2127 2ºT - Summary Report



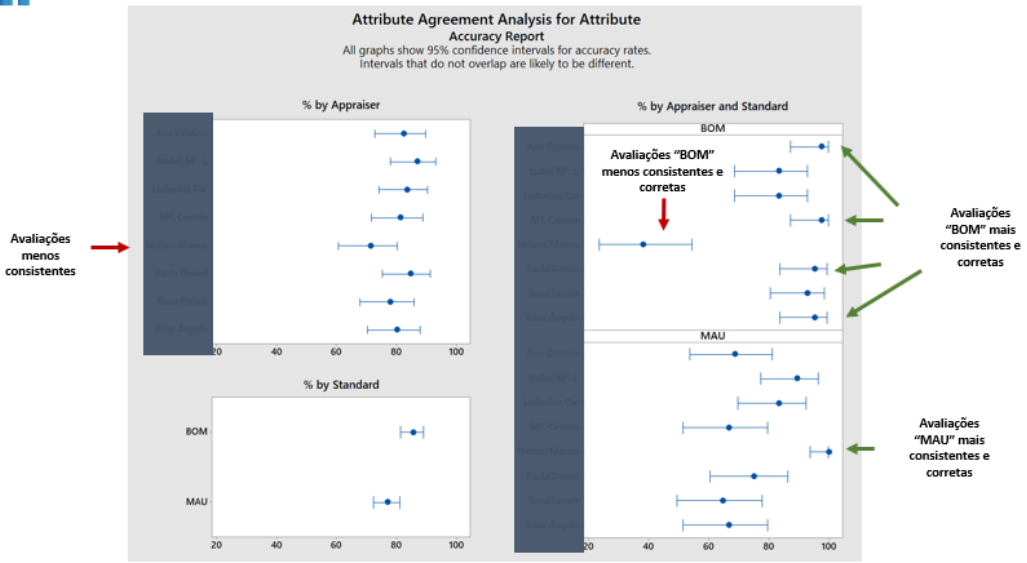


Figura 94 - Attribute Agreement Analysis: linha 2127 2ºT - Accuracy Report

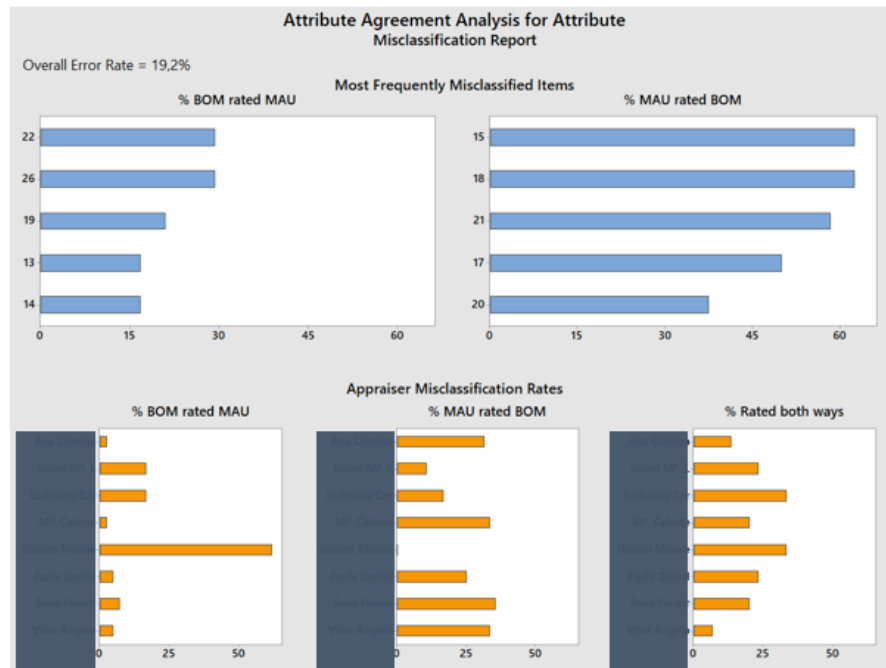


Figura 95 - Attribute Agreement Analysis: linha 2127 2ºT - Misclassification Report



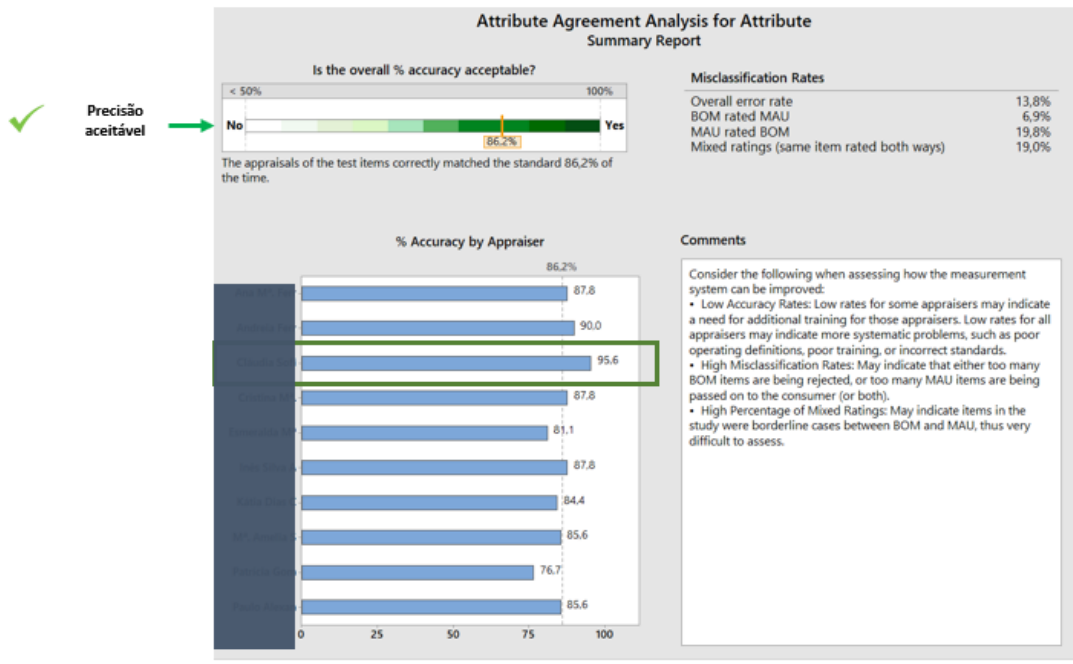


Figura 96 - Attribute Agreement Analysis: linha 2148 1ºT - Summary Report

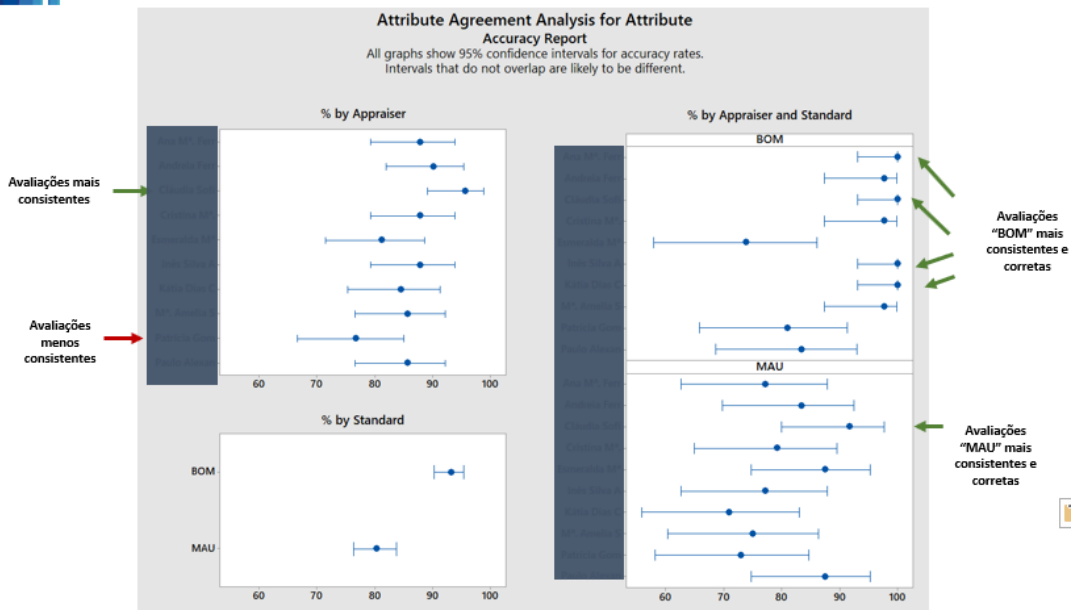


Figura 97 - Attribute Agreement Analysis: linha 2148 1ºT - Accuracy Report

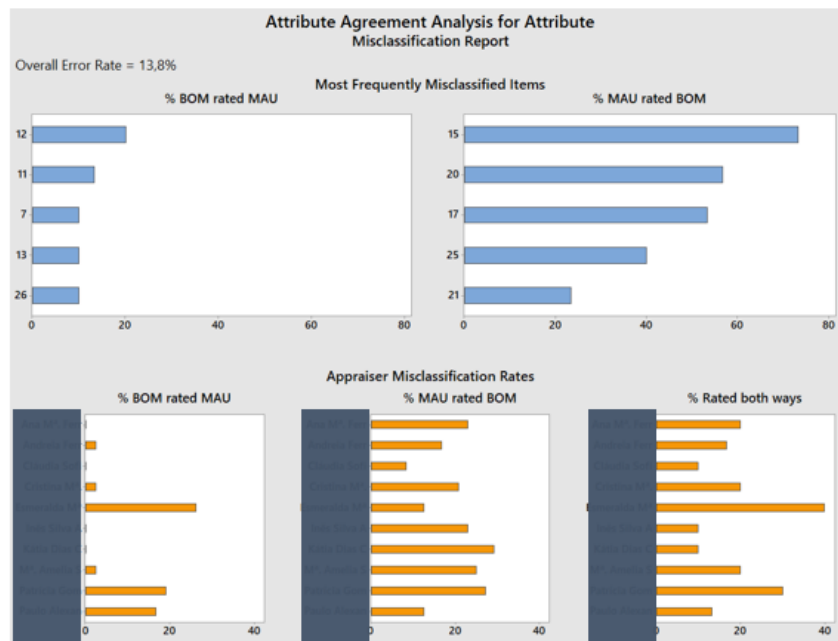


Figura 98 - Attribute Agreement Analysis: linha 2148 1ºT - Misclassification Report

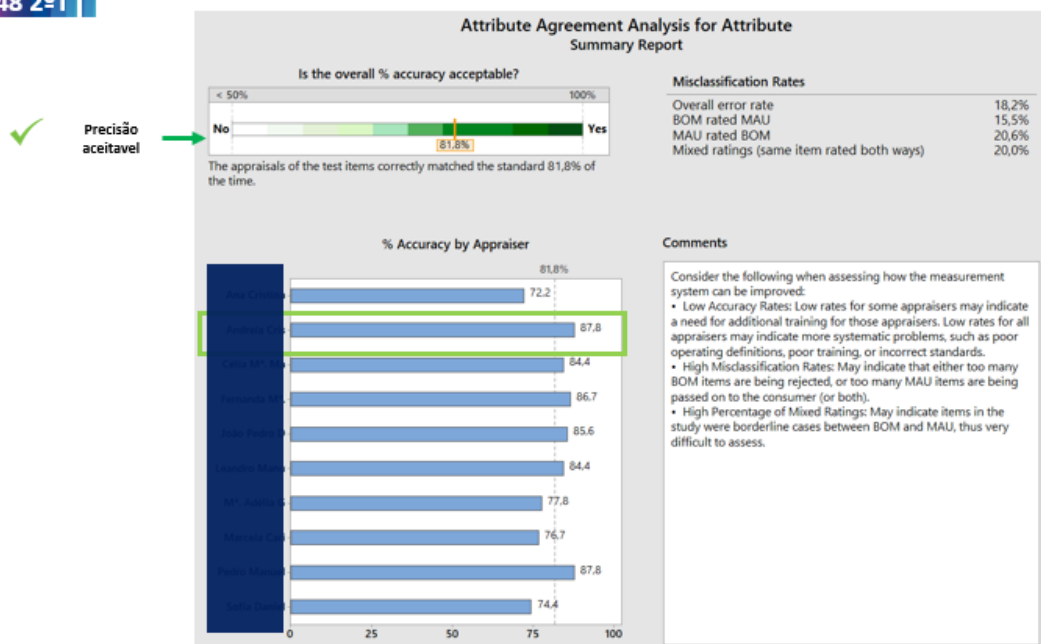


Figura 99 - Attribute Agreement Analysis: linha 2148 2ºT - Summary Report

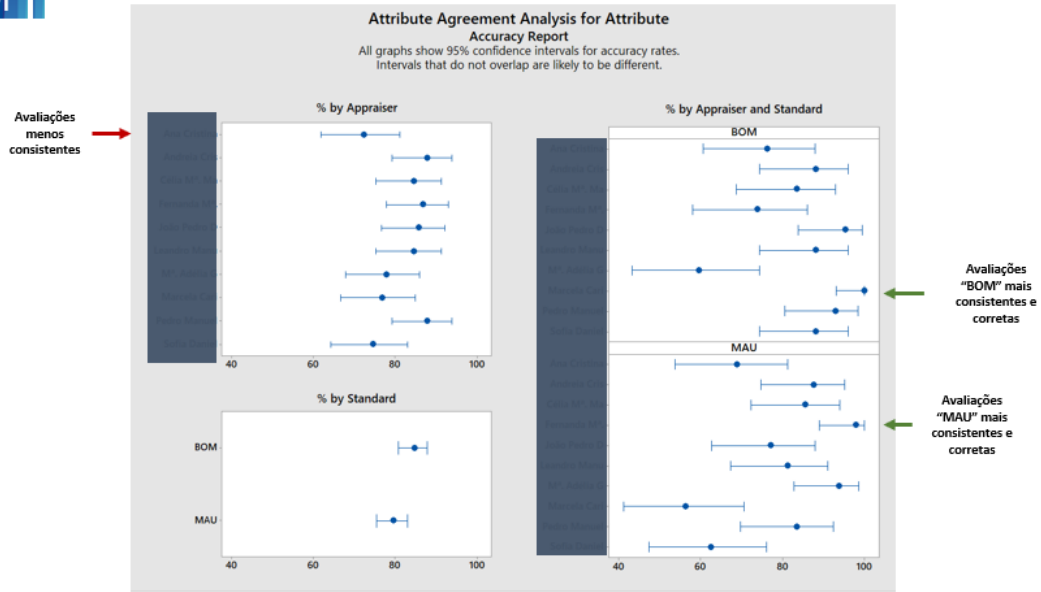


Figura 100- Attribute Agreement Analysis: linha 2148 2ºT - Accuracy Report

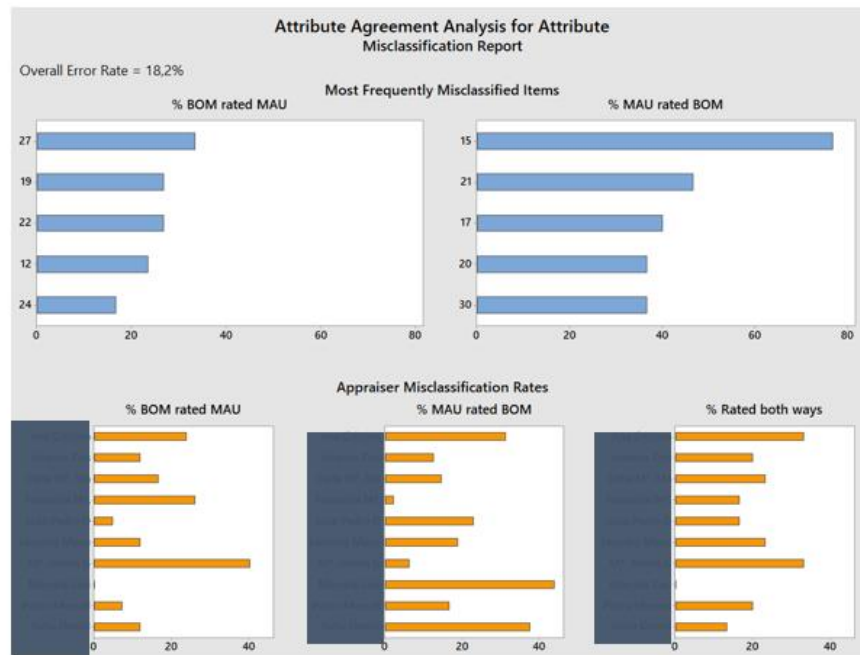


Figura 101 - Attribute Agreement Analysis: linha 2148 2ºT - Misclassification Report

✓ Precisão aceitável

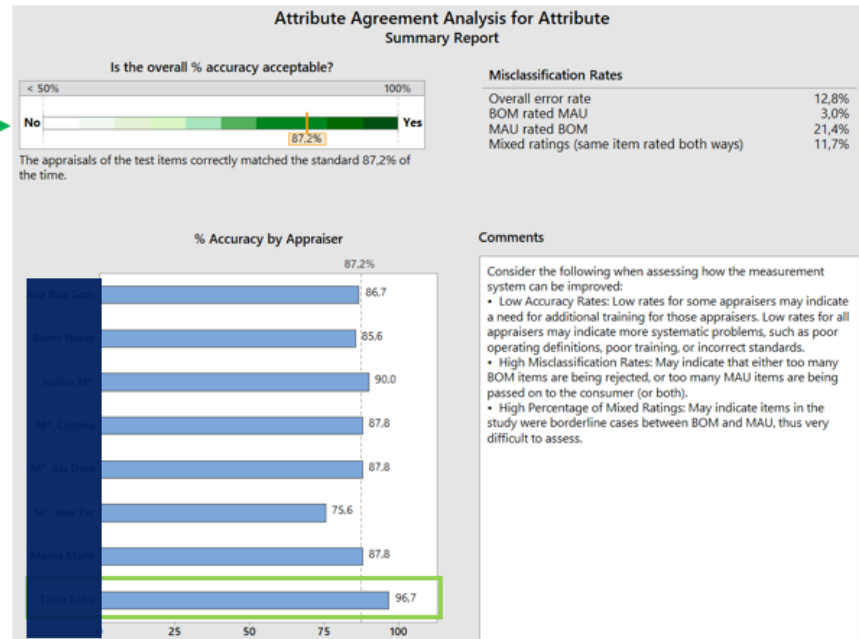


Figura 102 - Attribute Agreement Analysis: linha 2150 1<sup>o</sup>T - Summary Report

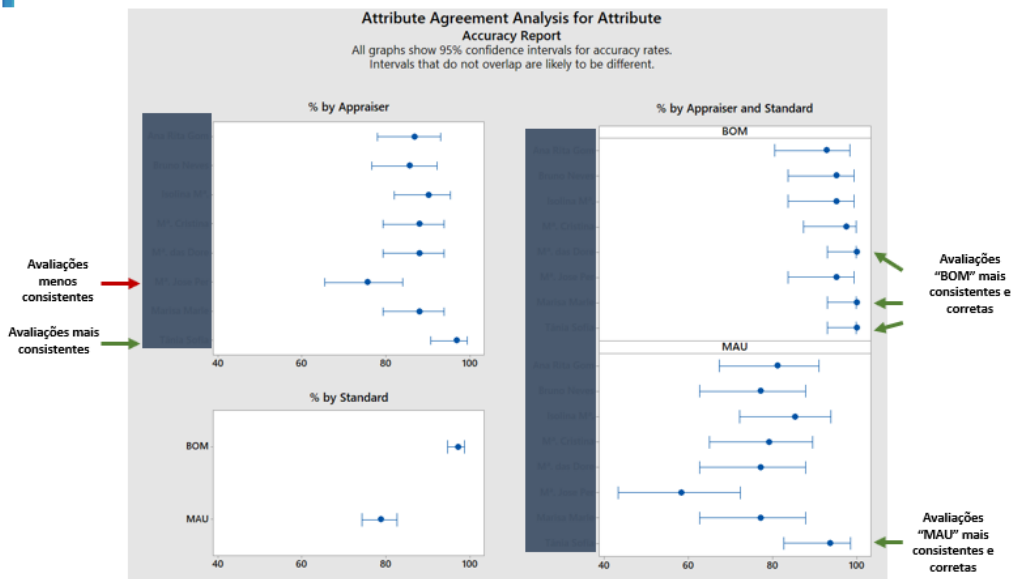


Figura 103 - Attribute Agreement Analysis: linha 2150 1<sup>o</sup>T - Accuracy Report

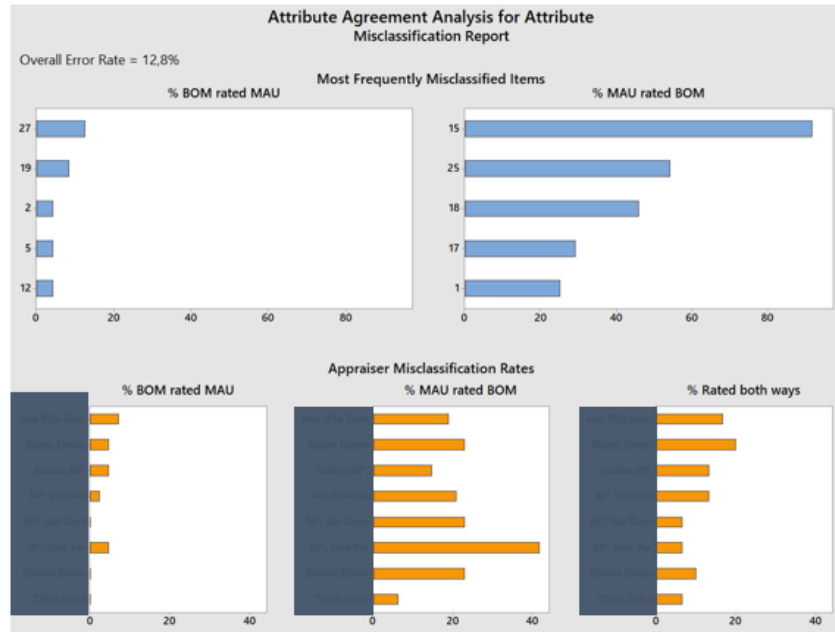


Figura 104 - Attribute Agreement Analysis: linha 2150 1ªT - Misclassification Report

✓ Precisão aceitável

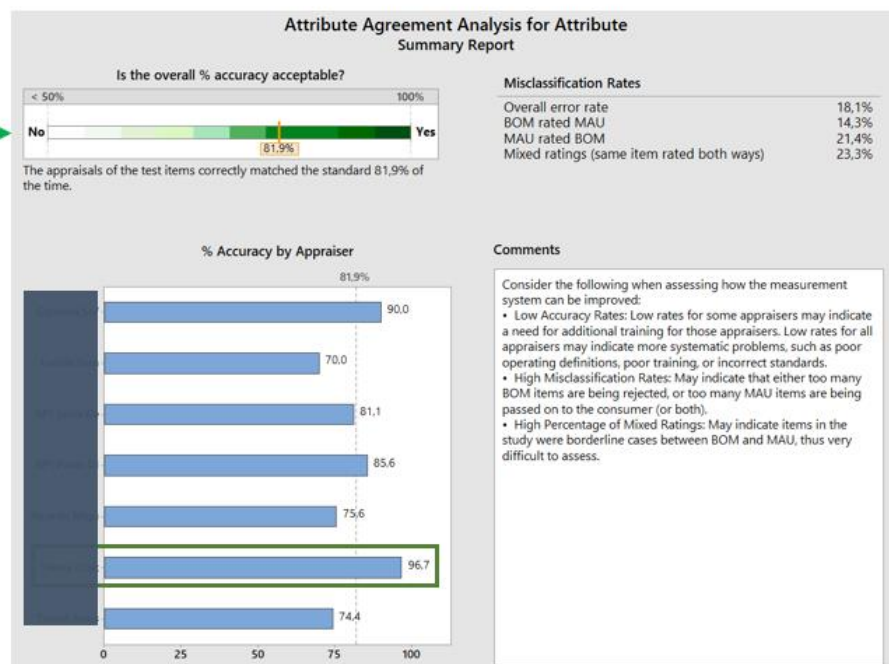


Figura 105 - Attribute Agreement Analysis: linha 2150 2ªT - Summary Report

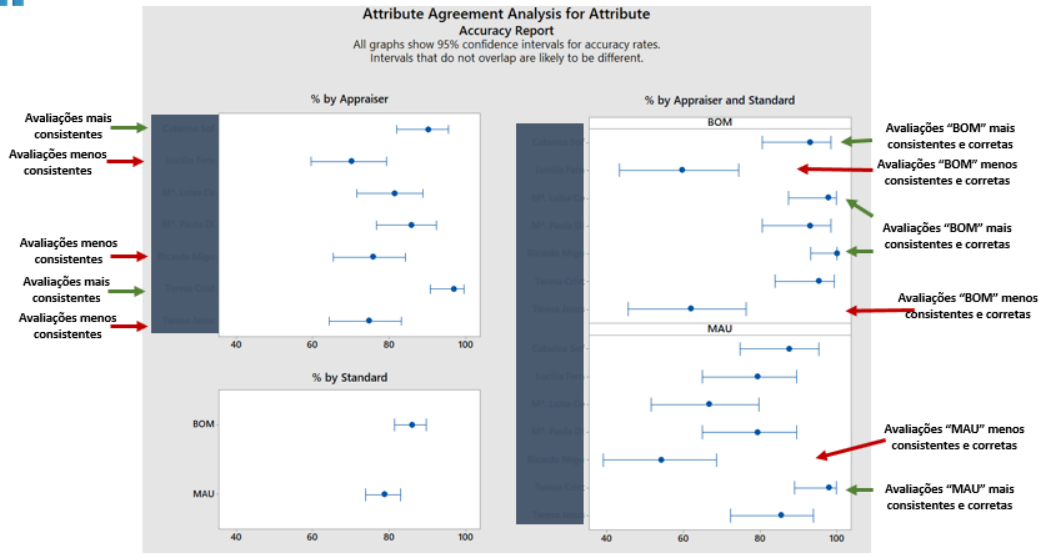


Figura 106 - Attribute Agreement Analysis: linha 2150 2ªT - Accuracy Report

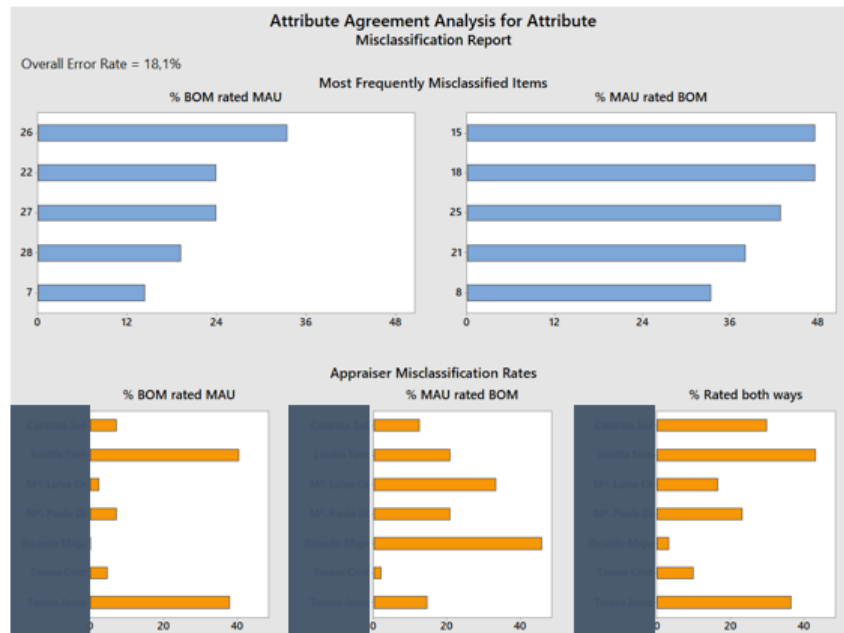


Figura 107 - Attribute Agreement Analysis: linha 2150 2ªT - Misclassification Report

✓ Precisão aceitável

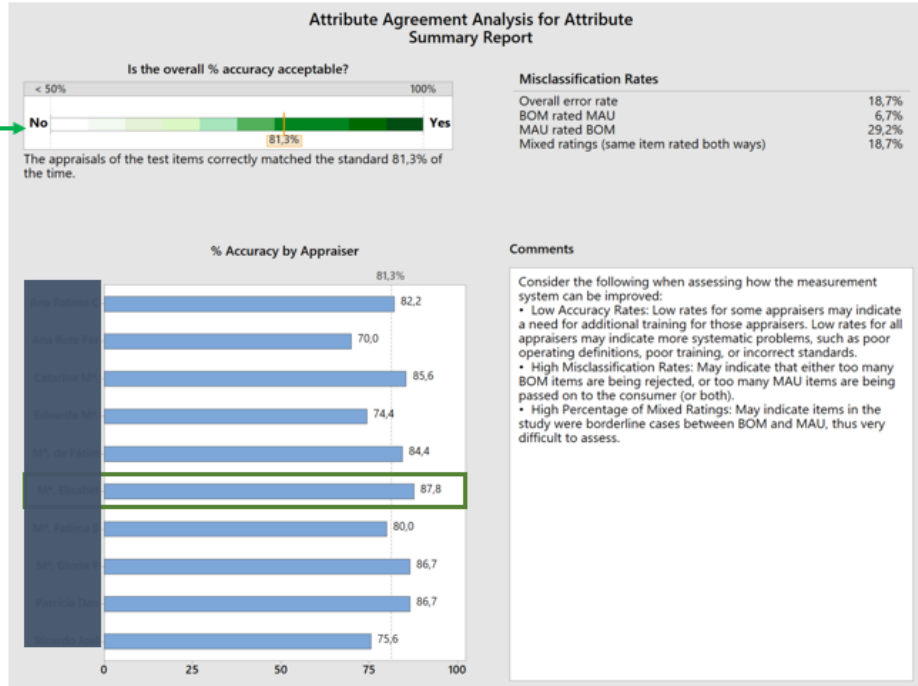


Figura 108 - Attribute Agreement Analysis: linha 2152 1<sup>o</sup>T - Summary Report

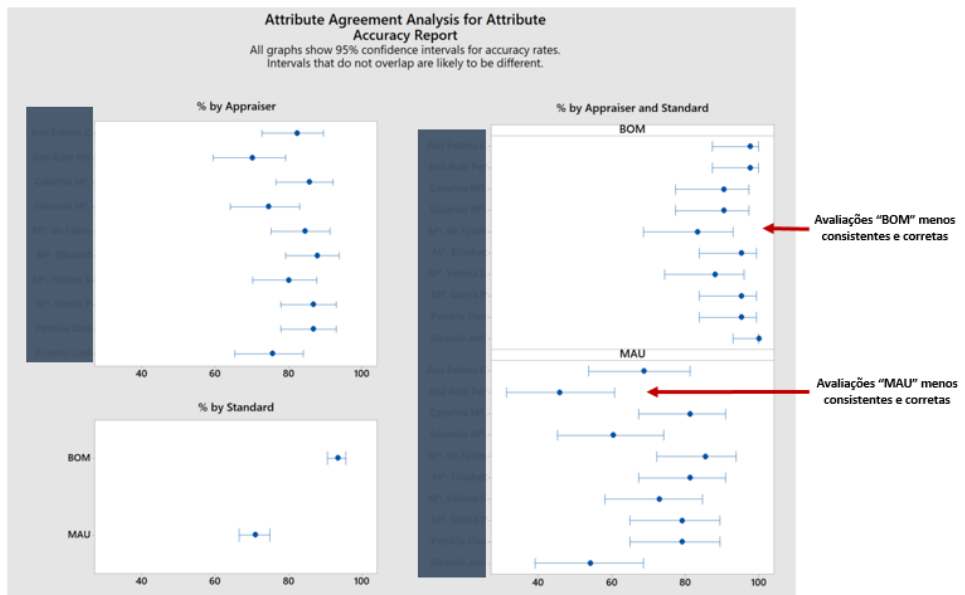


Figura 109 - Attribute Agreement Analysis: linha 2152 1<sup>o</sup>T - Accuracy Report

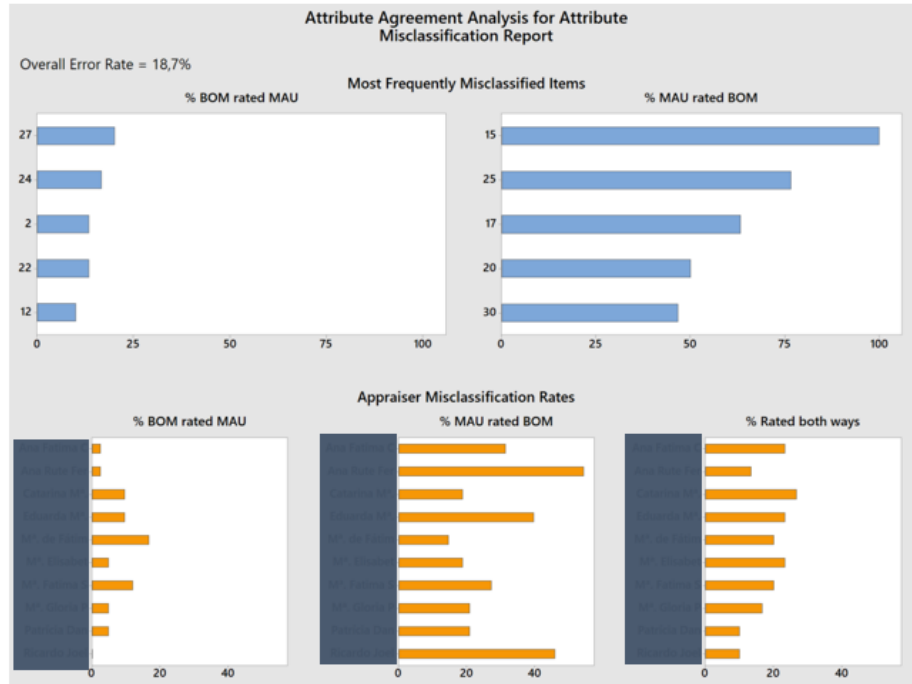


Figura 110 - Attribute Agreement Analysis: linha 2152 1ºT - Misclassification Report

✓ Precisão Aceitável

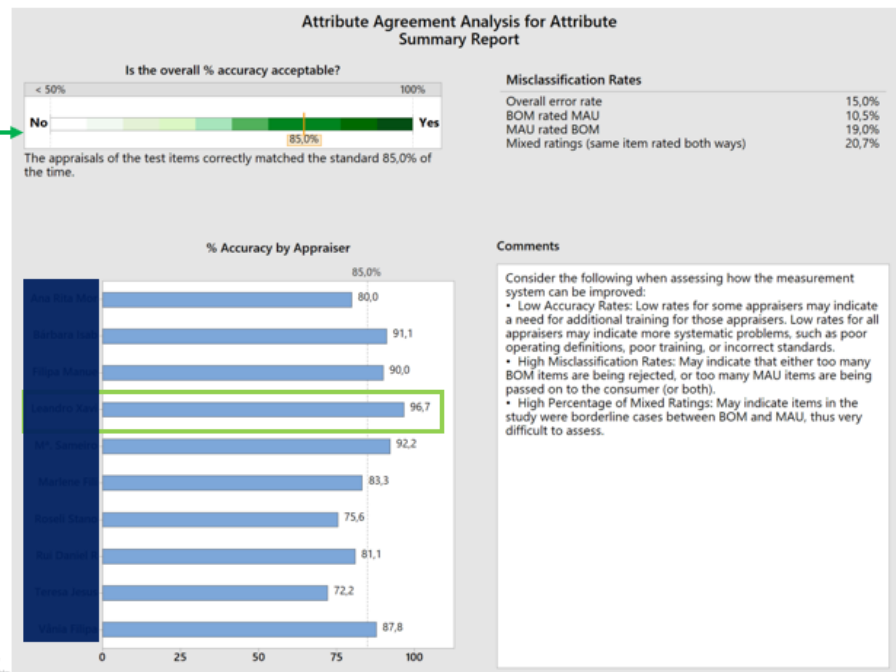


Figura 111 - Attribute Agreement Analysis: linha 2152 2ºT - Summary Report



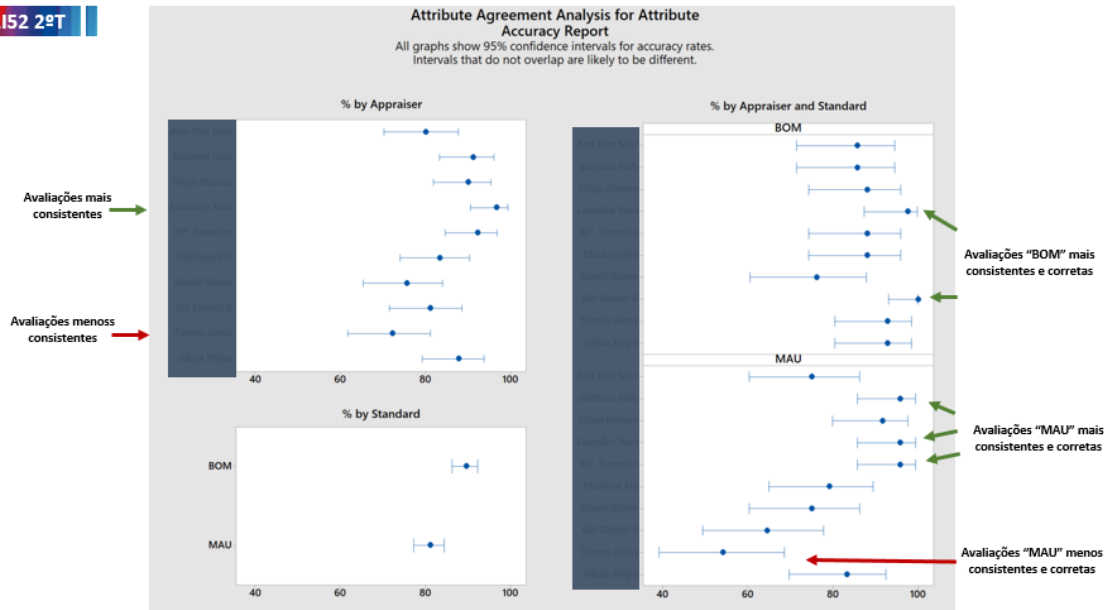


Figura 112 - Attribute Agreement Analysis: linha 2152 2ºT - Accuracy Report

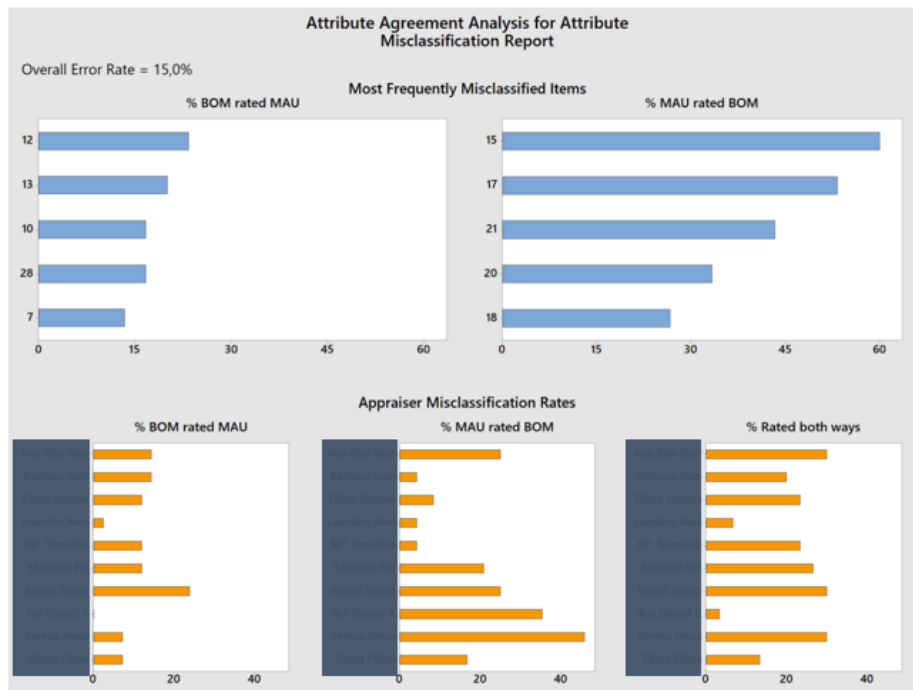


Figura 113 - Attribute Agreement Analysis: linha 2152 2ºT - Misclassification Report

## APÊNDICE IV – FORMAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DAS FOIL

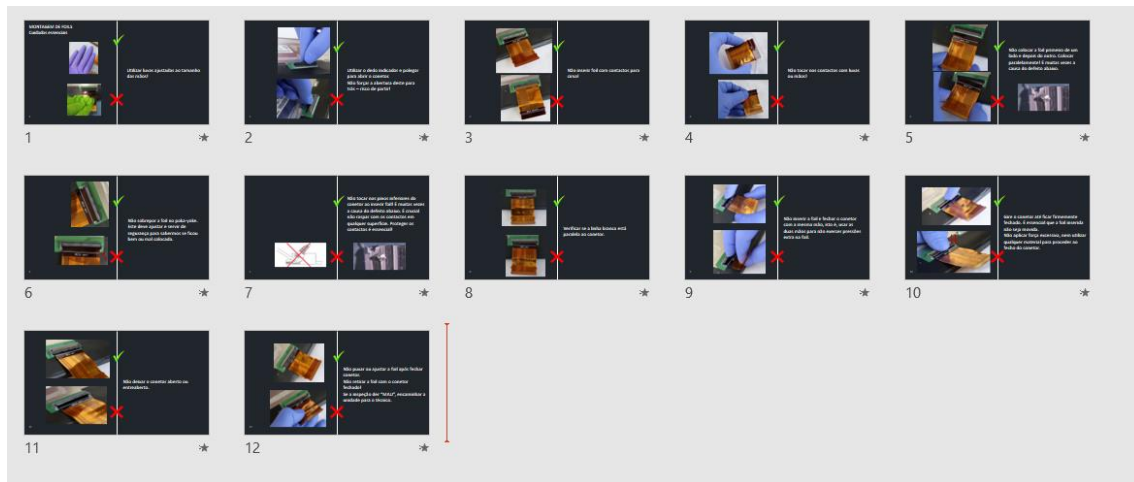


Figura 114 – Slides usados para a formação foil

## APÊNDICE V – CÁLCULO ESTIMADO DE RECLAMAÇÕES NA PROVA DE CONCEITO COM MONTAGEM AUTOMÁTICA

Grupo 1*								
	Produção Atual*	Taxa de reclamação interna	Taxa de reclamação externa	Reclamações internas	Reclamações externas	Custo das reclamações internas (média)	Custo das reclamações externas (média)	Custo Total de Reclamações
AS IS	737 975	6%	0,0028%	43 672	21	26 203	105 000	131 203
TO BE	737 975	1%	0,000467%	7 380	-	4 428	-	4 428

\*Grupo de produtos semelhantes ao da prova de conceito

Produto Prova de Conceito (ainda em fase de amostras )					
Produção Estimada	Reclamações Internas	Reclamações externas	Custo das reclamações internas (média)	Custo das reclamações externas (média)	Custo Total de Reclamações
298 490	17 664	8	10 598	40 000	50 598
298 490	2 985	-	1 791	-	1 791
Poupança (UM):					48808

Figura 115 - Cálculos Auxiliares - Estimativa do custo de reclamações do produto usado como prova de conceito

Process Sigma Calculation									
Project	Defects	Units	DPU	Opport	Total Opp	DPO	DPMO	s+1.5s	
Montagem de Foils	17672	298490	0,0592	1	298 490	0,059205	59 204,7	<b>3,06</b>	

Figura 116 - DPMO da montagem de foils manual na prova de conceito usada

Process Sigma Calculation									
Project	Defects	Units	DPU	Opport	Total Opp	DPO	DPMO	s+1.5s	
Montagem de Foils	2993	298490	0,0100	1	298 490	0,010027	10 027,1	<b>3,83</b>	

Figura 117- DPMO da montagem de foils automática na prova de conceito usada

## **ANEXOS**

## ANEXO I – FERRAMENTAS QUE SUPORTAM O *LEAN SIX SIGMA*

	Objective	Tools and Techniques
<b>Define</b>	Identify Business Drivers Select Customer Critical Processes Define Projects Develop Implementation Plan Lean Concept Process Mapping (Value Added/ Nonvalue Added)	Affinity Diagram/ Interrelation Diagram Quality Function Deployment SIPOC Process Map Project Charter Value Stream Mapping Brainstorming Select Project Team and Goal
<b>Measure</b>	Develop Key Process Measures Collect and Summarize Data Identify the Vital Few That Have the Greatest Impact Estimate Process Capability Measurement Systems Analysis	Data Collection Plan Check/Data Sheet Pareto Chart Gage R&R Histogram Value Analysis Control Charts for Existing Process
<b>Analyze</b>	Understand Cause and Effects Create Multi-vari Analysis Determine Variance Components Assess Correlation	Cause and Effect Diagram Multi-vari Charts Scatter Diagram Process Capability Study (Cp, Cpk, Pp, Ppk) Box Plot
<b>Develop</b>	Identify and Prioritize Root Cause Apply DOE (Screen Potential Root Cause) Develop and Evaluate Solutions Implement Variation Reduction Cost Benefit Analysis Standardize Process Assess Risk Factors Kaizen Techniques Cellular Concept Pull System	Benchmarking Design of Experiments Response Surface Methodology Deployment Flowchart Tree Diagram FMEA, HPN, JIT, TPM, 5S Setup reduction
<b>Verify</b>	Implement Process Control Implement Control Charts for Key Variables Mistake-Proof Processes Evaluate Results Lean Metrics	Process Control Plan Control/Precontrol Chart Pnka-Ynka Pareto Chart (ongoing) Process Capability Charts (ongoing) Checklist Sheet

Figura 118 - Ferramentas que suportam o LSS – versão DMADV

Fonte: (Soković et al., 2009)

## ANEXO II – FLUXOGRAMAS DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DOS PRODUTOS AFETADOS

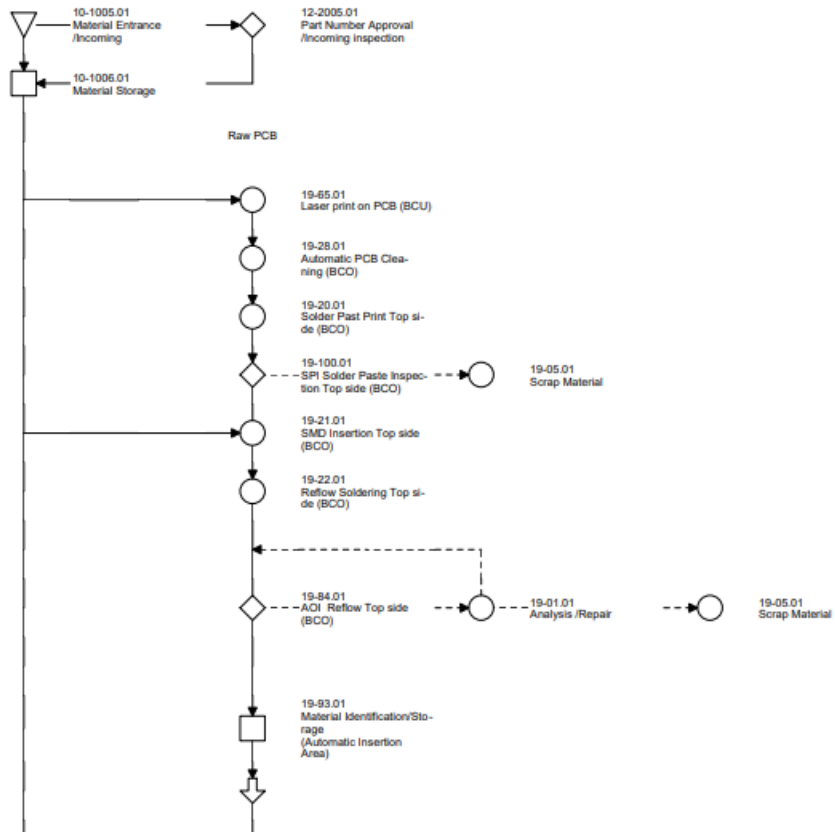
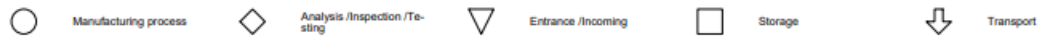


Figura 119 - Fluxograma KTM (1)

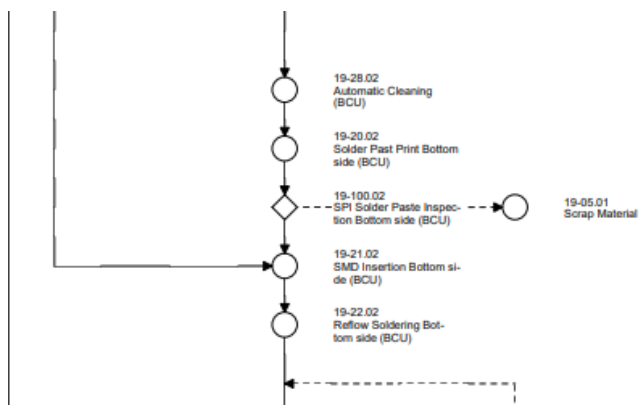


Figura 120- Fluxograma KTM (2)

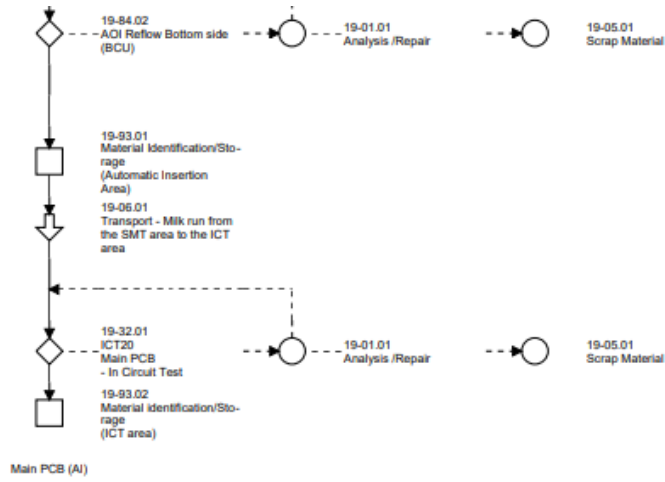


Figura 121- Fluxograma KTM (3)

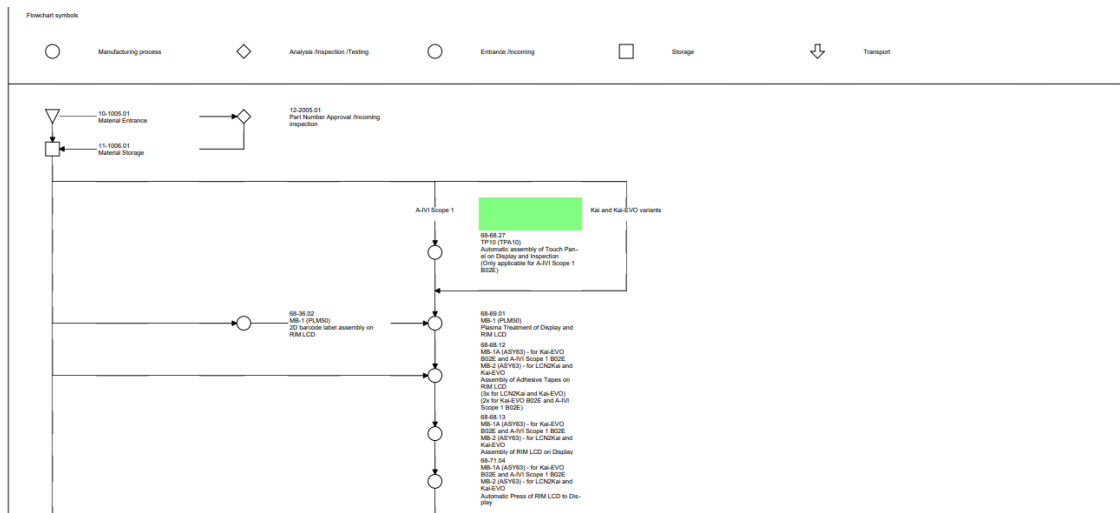


Figura 122- Fluxograma Nissan LCN2KAI (1)

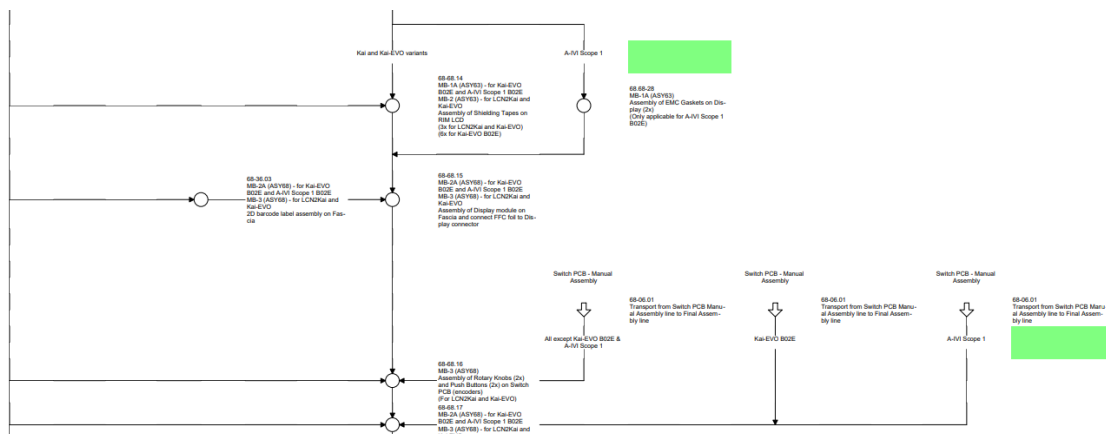


Figura 123- Fluxograma Nissan LCN2KAI (2)

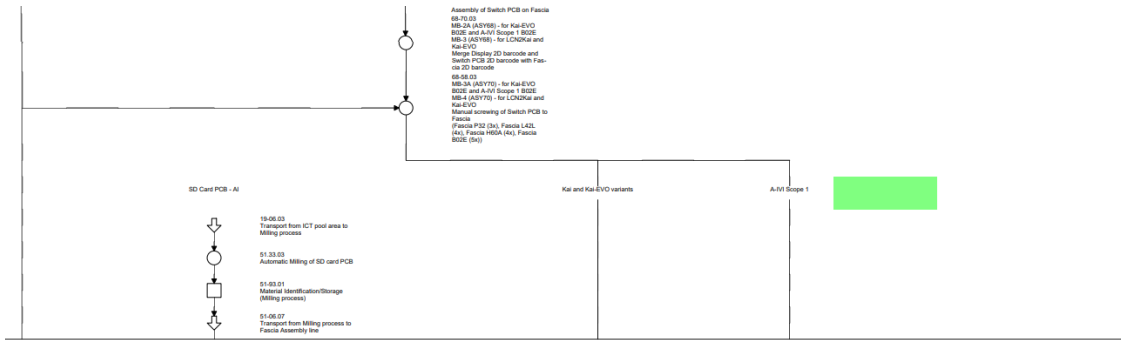


Figura 124- Fluxograma Nissan LCN2KAI (3)

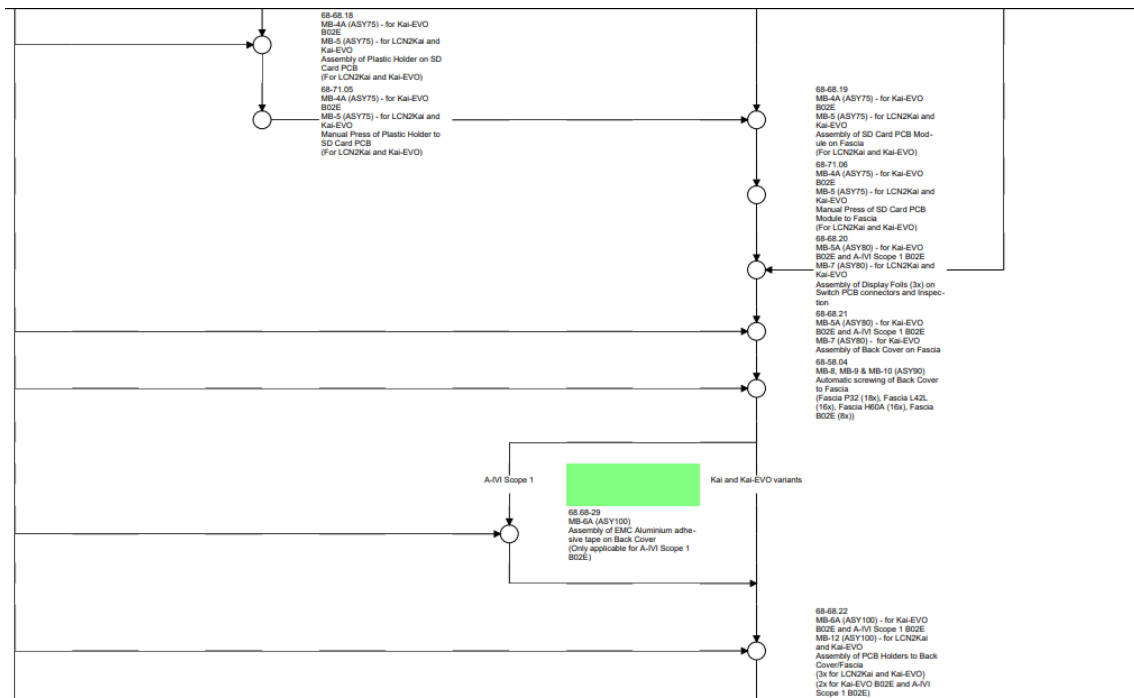


Figura 125- Fluxograma Nissan LCN2KAI (4)

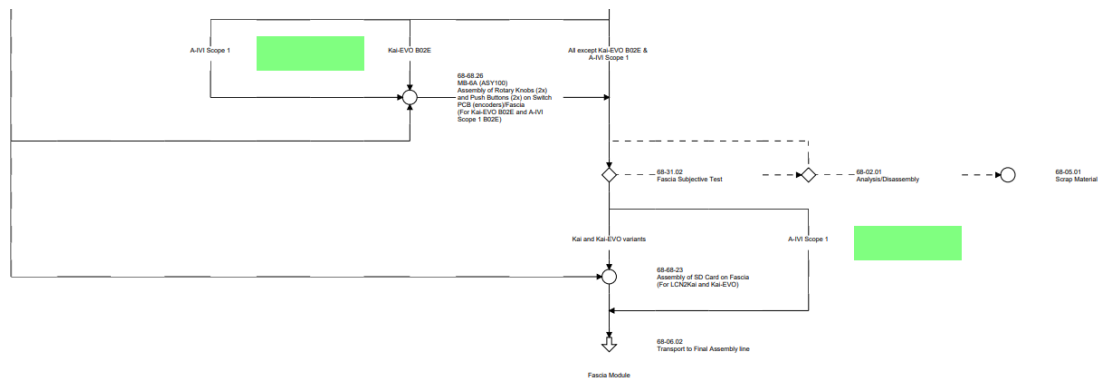


Figura 126- Fluxograma Nissan LCN2KAI (5)



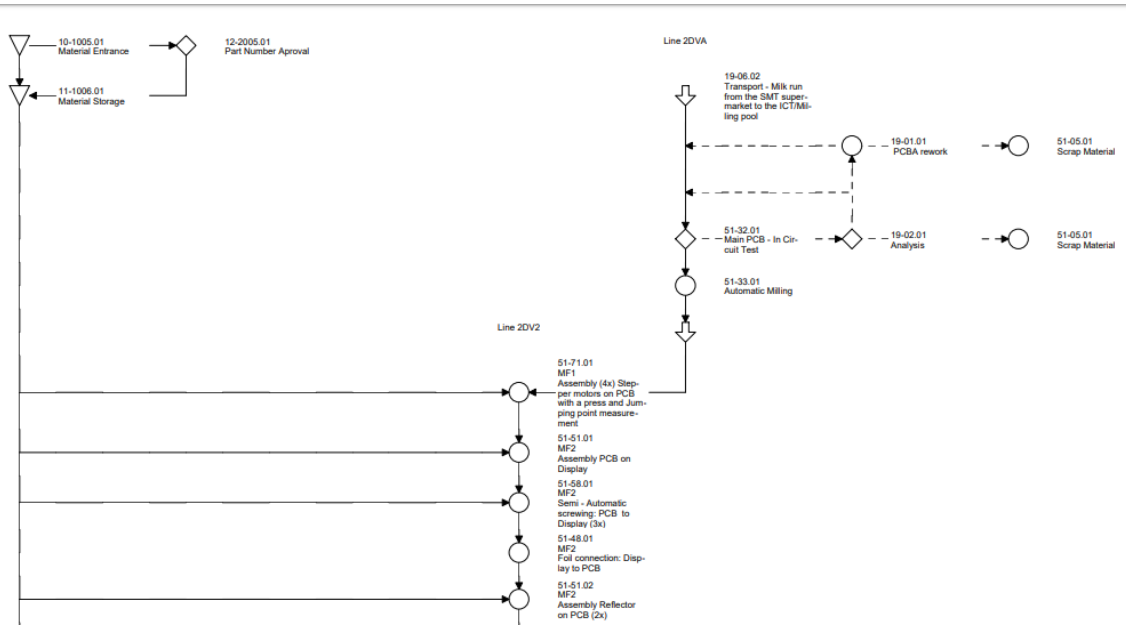


Figura 127- Fluxograma Daimler KIG (1)

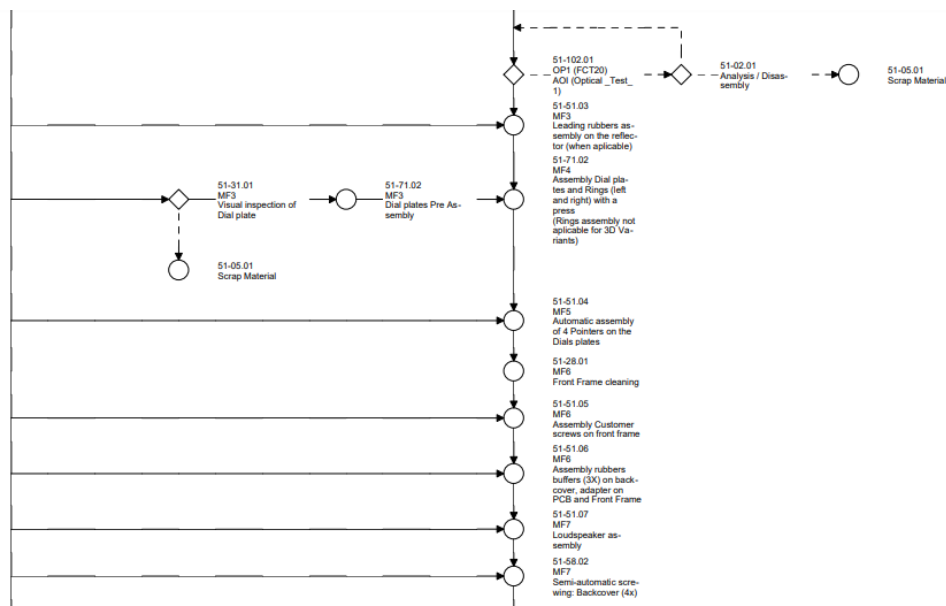


Figura 128 - Fluxograma Daimler KIG (2)

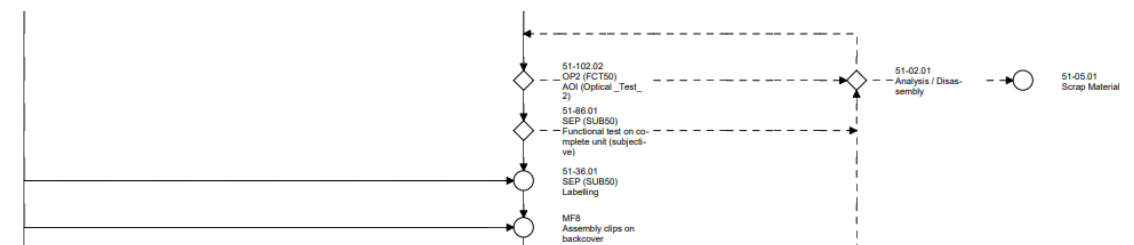


Figura 129- Fluxograma Daimler KIG (3)

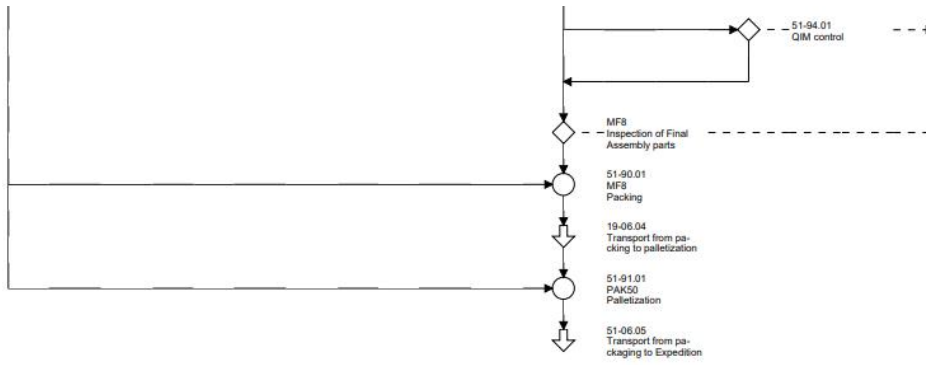


Figura 130 - Fluxograma Daimler KIG (4)

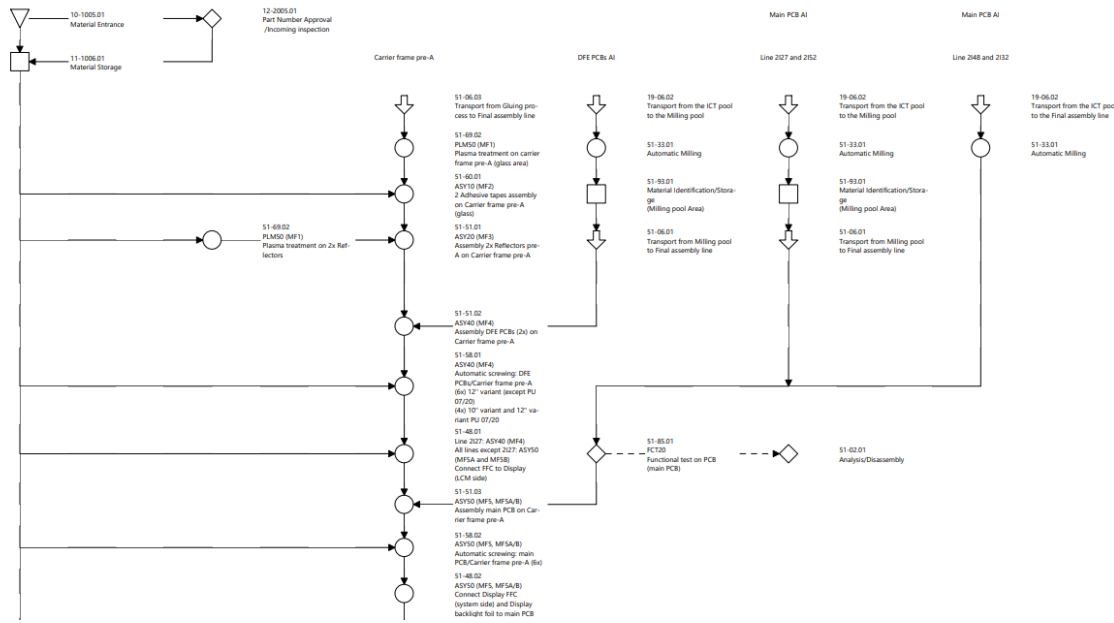


Figura 131 - Fluxograma BMW 4.1 (1)

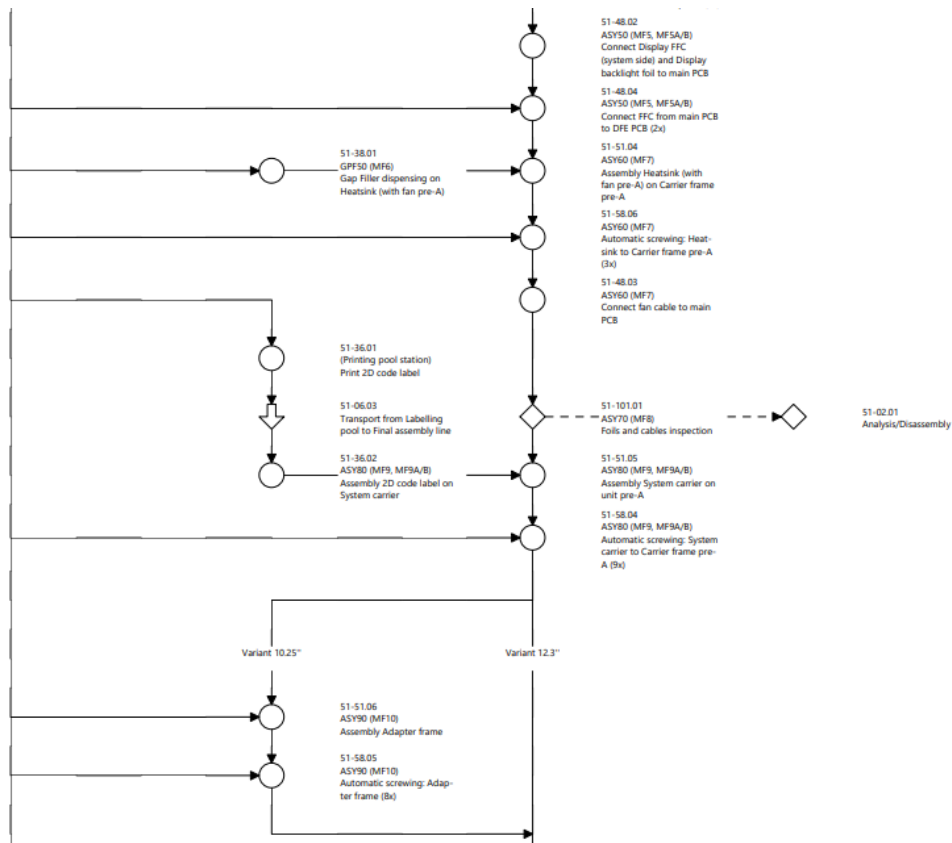


Figura 132- Fluxograma BMW 4.1 (2)

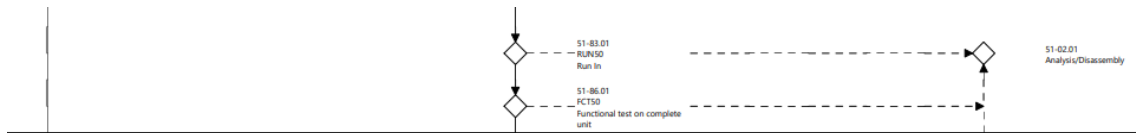
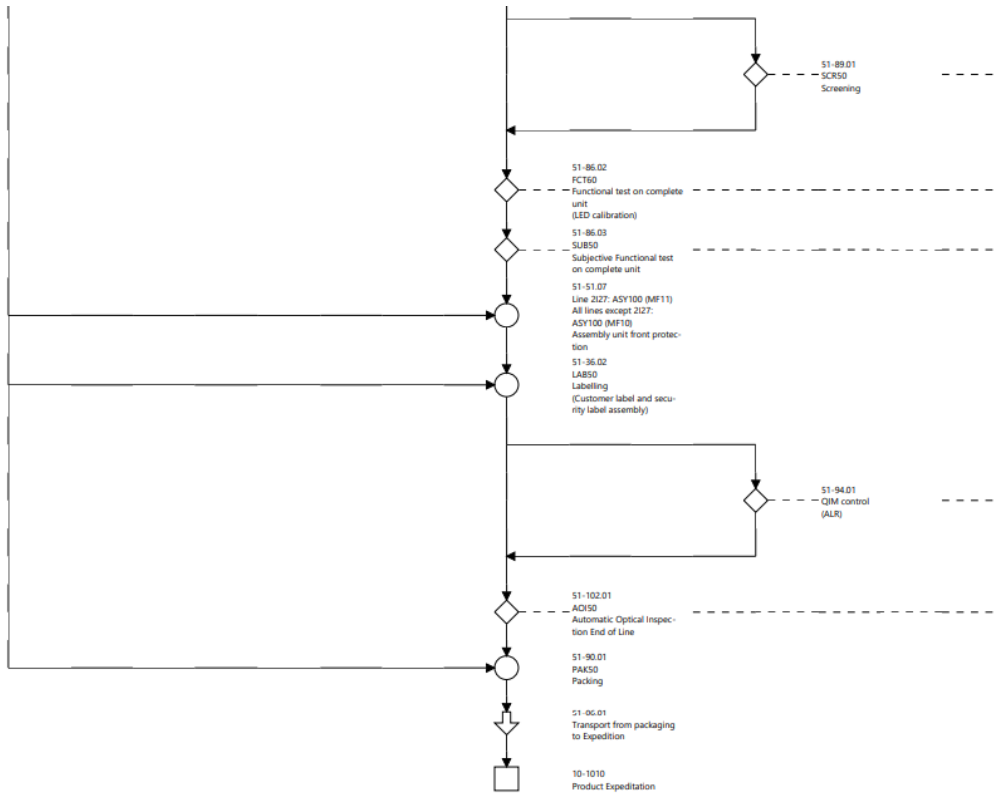


Figura 133- Fluxograma BMW 4.1 (3)



## ANEXO III – PRINCÍPIOS INVENTIVOS E MATRIZ DE CONTRADIÇÕES DA TRIZ

Tabela 30 - 40 Princípios Inventivos

1	Segmentação	21	Aceleração
2	Extração	22	Transformação de prejuízo em lucro
3	Qualidade Localizada	23	Feedback
4	Assimetria	24	Medição
5	Consolidação	25	Autosserviço
6	Universalidade	26	Cópia
7	Alinhamento	27	Uso e descarte
8	Contrapeso	28	Substituição de meios mecânicos
9	Compensação prévia	29	Construção pneumática ou hidráulica
10	Ação Prévia	30	Uso de filmes finos e membranas flexíveis
11	Amortecimento Prévio	31	Uso de materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneização
14	Recurvação	34	Descarte e regeneração
15	Dinamização	35	Mudança de estado físico ou químico
16	Ação parcial ou excessiva	36	Mudança de fase
17	Transição para nova dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibração Mecânica	38	Uso de oxidantes fortes
19	Ação Periódica	39	Uso de atmosferas inertes
20	Continuação da ação útil	40	Uso de materiais compostos

Tabela 31 - 39 parâmetros de engenharia

1	Peso do objeto em movimento	11	Tensão ou pressão	21	Potência	31	Efeitos colaterais da ação do objeto
2	Peso do objeto parado	12	Forma	22	Perda de energia	32	Manufaturabilidade
3	Comprimento do objeto em movimento	13	Estabilidade da composição	23	Perda de substância	33	Conveniência de uso
4	Comprimento do objeto parado	14	Resistência	24	Perda de informação	34	Reparabilidade
5	Área do objeto em movimento	15	Duração da ação do objeto em movimento	25	Perda de tempo	35	Adaptabilidade ou versatilidade
6	Área do objeto parado	16	Duração da ação do objeto parado	26	Quantidade de substância	36	Complexidade do dispositivo
7	Volume do objeto em movimento	17	Temperatura	27	Confiabilidade	37	Complexidade do controle
8	Volume do objeto parado	18	Brilho	28	Precisão de medida	38	Nível de Automação
9	Velocidade	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	29	Precisão de manufatura	39	Produtividade
10	Força	20	Energia gasta pelo objeto parado	30	Fatores prejudiciais, externos, do objeto		

