



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Pedro dos Santos Matos da Costa

**Aplicação da Metodologia Seis Sigma
na Melhoria da Qualidade do Processo
de Inserção de Pinos**

Tese de Mestrado

Mestrado em Engenharia e Gestão da Qualidade

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Isabel Lopes

Outubro de 2018

AGRADECIMENTOS

É impreterível começar por agradecer a quem, de uma forma geral, contribuiu quer diretamente, acrescentando valor ao conteúdo desta dissertação, quer indiretamente incentivando e motivando o desenvolvimento deste trabalho.

Especificamente, gostava de agradecer à minha orientadora por parte da Universidade do Minho: Professora Isabel da Silva Lopes, pela disponibilidade, orientações e recomendações ao longo da dissertação.

Ao meu orientador de empresa: José Pedro Brito. Pela oportunidade de desenvolver este projeto no departamento de Engenharia de Industrialização, na Bosch. Por todo o apoio fornecido, partilha de conhecimento e confiança nas minhas potencialidades, criando um ambiente propício para o desenvolvimento deste projeto. Presto o meu agradecimento a todos os colaboradores da Bosch, em especial à Bárbara Fernandes, Nuno Leal, Gabriel Barbosa, Gonçalo Costa e Pedro Delgado pertencentes à equipa do projeto.

Agradeço também aos meus colegas de curso, Pedro Gonçalves, Tiago Cepeda, Gustavo Correia, Luís Silva e Ilknur Uzdurum pelo apoio ao longo destes dois anos.

Por fim, gostava de agradecer aos meus pais e à minha irmã, assim como aos restantes membros da família e amigos, elementos fundamentais na minha vida que me dão apoio em momentos decisivos, aconselhando e orientando sempre para bons caminhos.

RESUMO

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida na empresa Bosch Car Multimédia Portugal, S.A., num processo da inserção automática e da responsabilidade do departamento de Engenharia de Industrialização - o processo de inserção de pinos.

Tendo subjacente o objetivo principal de reduzir o número de unidades defeituosas produzidas pelo processo, este estudo foi desenvolvido através da aplicação da metodologia Seis Sigma, de modo a reduzir os custos da qualidade associados e melhorar a quantidade de produtos produzidos bem à primeira de forma a não comprometer o abastecimento das linhas de montagem final.

Numa primeira fase, realizou-se uma revisão da literatura com o propósito de compreender o funcionamento da metodologia Seis Sigma e o modo como esta é implementada atualmente, em particular na indústria automóvel. Apesar da metodologia ser comum nas organizações, não há registo da sua aplicação neste tipo de processo.

Para o caso de estudo, adotou-se o método DMAIC da metodologia Seis Sigma, com o intuito de colmatar a problemática do excesso de força na inserção dos pinos. Neste sentido, definiu-se, mediu-se e analisou-se o problema partindo da máquina e dos dois produtos com maior número de rejeições. Seguidamente, implementaram-se melhorias direcionadas para as causas determinadas, avaliou-se a sua eficácia e definiram-se métodos para manter o processo controlado. Na avaliação da eficácia das ações de melhoria observou-se a superação dos objetivos propostos na fase de definição do projeto, dada a redução do número de unidades defeituosas de 3231 PPM para 312 PPM e aumento do nível sigma de 4,22 para 4,92. Estimou-se ainda que até dezembro de 2019 a Bosch poupará cerca de 122.061,28€, por mérito do trabalho efetuado.

A aplicação de algumas das ferramentas do Seis Sigma e ferramentas da qualidade no processo de estudo revelou-se uma mais-valia para a Bosch, pois não só originou melhorias significativas na qualidade do mesmo, como também, permitiu a redução de custos, impulsionou o início de outros projetos através de abordagens semelhantes e permitiu que as ações e resultados obtidos fossem alvo de partilha com a Bosch situada na China através das reuniões *kaizen* mensais.

PALAVRAS-CHAVE

Qualidade; Seis Sigma; DMAIC; Inserção de pinos

ABSTRACT

The present master dissertation project was developed at Bosch Car Multimedia Portugal, S.A., in an automatic insertion process whose responsibilities are from the Manufacturing Engineering department – the single pin insertion process.

Underlying the main objective of reducing the number of defective units produced by the process, this study was developed through the application of the Six Sigma methodology, in order to reduce the associated quality costs and to improve the quantity of products that produced well at the first time to avoid compromise the supply of final assembly lines.

In a first phase, a literature review was carried out to understand the use of the Six Sigma methodology and how it is implemented, particularly nowadays in the automotive industry. Although this methodology is common in organizations, there is no record of its application in this type of process.

For the case study, the DMAIC method of the Six Sigma methodology was adopted, in order to overcome the problem of pin insertion excessive force. In this sense, the problem was defined, measured and analyzed starting from the machine and two products with the highest number of rejections. Thereafter, targeted improvements for the determined causes were implemented, their efficacy assessed and methods for keeping the process under control were defined. In the improvement actions effectiveness evaluation, it was observed the overcoming of the objectives proposed in the project definition phase, by the reduction in the number of defective units from 3231 PPM to 312 PPM and the increase in the sigma level from 4.22 to 4.92. It was also estimated that until December 2019 Bosch will save about 122.061,28€, by merit of the done work.

The use of some Six Sigma tools and quality tools in the process proved to be of added value to Bosch because not only it led to significant improvements in the process quality, as also led to reduced costs, contributed to boost the start of other projects using similar approaches and it allowed the actions and results obtained to be shared with Bosch in China through monthly Kaizen meetings.

KEYWORDS

Quality; Six Sigma; DMAIC; Pin Insertion

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	viii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xiv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Âmbito do Projeto.....	1
1.2 Objetivos de Investigação	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
2. Revisão da Literatura.....	5
2.1 Qualidade.....	5
2.2 Gestão da Qualidade	7
2.2.1 Definição de Processo	8
2.2.2 Custos da Qualidade	9
2.2.3 Gestão da Qualidade Total.....	12
2.2.4 Normas da família ISO 9000.....	12
2.3 Seis Sigma	13
2.3.1 Definição de Seis Sigma: Perspetiva estatística e económica	14
2.3.2 Abordagens Seis Sigma.....	20
2.3.3 Equipa.....	22
2.3.4 Seleção de Projetos.....	22
2.3.5 Fatores críticos de sucesso dos Projetos Seis Sigma	23
2.4 Seis Sigma na Indústria Automóvel	23
3. Apresentação da Empresa	25
3.1 História do Grupo Bosch	25
3.2 Missão e Visão	25
3.2.1 Bosch Business System	26
3.2.2 Princípios da Qualidade.....	26

3.3	Valores	27
3.4	Grupo Bosch em Portugal	28
3.5	Bosch Car Multimédia Portugal, S.A.....	29
3.5.1	Departamentos e Secções	29
3.5.2	Departamento de Engenharia de Industrialização	30
3.5.3	Produtos.....	31
3.5.4	Principais clientes.....	33
4.	Caso de Estudo	35
4.1	Processo de Inserção de Pinos.....	35
4.2	Projeto – “Six Sigma Insertion Force Reduction”	40
4.2.1	Definir.....	40
4.2.2	Medir	47
4.2.3	Analisar	50
4.2.4	Melhorar.....	71
4.2.5	Controlar	82
5.	Conclusões e Trabalhos Futuros	87
5.1	Conclusões e contribuições do projeto de investigação	87
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	89
	Referências Bibliográficas	91
	Anexo I. Análise de PCBs 301368 com pinos inseridos com excesso de força	101
	Anexo II. Análise de PCBs 300374 com pinos inseridos com excesso de força	105
	Anexo III. Análise do cobre depositado em PCBs 300374.....	107
	Anexo IV. Análise da geometria dos furos - Produto 300374.....	113
	Anexo V. Análise da geometria dos furos – Produto 301368	117
	Anexo VI. Análise dos pinos.....	121
	Anexo VII. Ferramentas de corte	123
	Anexo VIII. Aprovação do novo pino.....	129
	Anexo IX. QCO Timer - Instrução para Fabricação e Controlo.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entradas e saídas de um processo produtivo. Adaptado de (Montgomery, 2008)	8
Figura 2. Ilustração dos custos da qualidade. Adaptado de (Durmaz & Zengin, 2012).....	10
Figura 3. Custos da qualidade de acordo com o Modelo PAF (Castillo, Smith, & Simonton, 2012)	10
Figura 4. Progresso da variação com o decorrer do tempo. Adaptado de (Waxer, 2012)	15
Figura 5. Número de peças defeituosas de um processo normalmente distribuído, centrado e com um desvio padrão determinado. Adaptado de (Montgomery, 2008)	16
Figura 6. Aproximação do número de defeitos considerando uma variação da média do processo de $1,5\sigma$. Adaptado de (Montgomery, 2008)	17
Figura 7. Método DMAIC.....	21
Figura 8. Logotipo Bosch (Bosch, 2015).....	25
Figura 9. Bosch Business System (Bosch, 2012a).....	26
Figura 10. Planeamento da qualidade (Bosch, 2009)	27
Figura 11. Valores Bosch (Bosch, 2012a).....	27
Figura 12. Unidades de Negócio do Grupo Bosch, em Portugal (Bosch, 2010)	28
Figura 13. Instalações da Bosch Car Multimédia em Braga (Bosch, 2017)	29
Figura 14. Área Comercial (Bosch, 2016).....	30
Figura 15. Área Técnica (Bosch, 2016).....	30
Figura 16. Localização do sensor ESP nos automóveis (Bosch, 2012c).....	31
Figura 17. Componentes de um sensor ESP (Bosch, 2012c)	31
Figura 18. Produtos da Bosch Car Multimédia Portugal S.A. (Bosch, 2016)	32
Figura 19. Principais clientes da Bosch Car Multimédia S.A. (Bosch, 2016).....	33
Figura 20. Fluxograma de uma linha de montagem para o processo de inserção de pinos	35
Figura 21. Fluxo produtivo dos sensores LWS	36
Figura 22. Microscópio utilizado na validação	37
Figura 23. Esquema da inserção de pinos	37
Figura 24. Representação do <i>Insertion finger</i>	38
Figura 25. Inserção de um pino	38
Figura 26. Representação de um pino inclinado	39
Figura 27. <i>Project Charter</i>	42
Figura 28. Pino inserido com excesso de força	43
Figura 29. Diagrama SIPOC	45

Figura 30. Valores mensais dos DPMO entre setembro de 2017 e abril 2018.....	47
Figura 31. Diagrama de Pareto dos produtos com rejeição.....	48
Figura 32. Diagrama de Pareto das PCBs rejeitadas do produto 300374	49
Figura 33. Diagrama de Pareto dos pinos rejeitados do produto 300374	49
Figura 34. Diagrama de Pareto das PCBs rejeitadas do produto 301368	49
Figura 35. Diagrama de Pareto dos pinos rejeitados do produto 301368	50
Figura 36. Diagrama de Causa e Efeito.....	52
Figura 37. Análises dos cortes longitudinais.....	52
Figura 38. Análises dos cortes transversais	53
Figura 39. Produto 301368	53
Figura 40. Produto 300374	57
Figura 41. Cabeça de inserção	61
Figura 42. Limalhas provenientes do tubo	62
Figura 43. Medições da espessura de cobre depositado segundo cortes longitudinais e transversais no produto 300374	62
Figura 44. Valores médios de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes longitudinais no produto 300374.....	63
Figura 45. Valores médios de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes transversais no produto 300374	64
Figura 46. Amostra de 23 pinos para análise	67
Figura 47. Análise do diâmetro da zona de contacto do pino.....	67
Figura 48. Análise da altura do ombro do pino	68
Figura 49. Análise da junta do pino.....	69
Figura 50. Melhoria n° 1 - Definição da periodicidade da manutenção preventiva às ferramentas de corte dos pinos	71
Figura 51. Melhoria n° 2 - Alteração da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção	72
Figura 52. Melhoria n° 3 – Alteração do tubo de aspiração das limalhas.....	72
Figura 53. Melhoria n° 4 – Alteração da deposição de cobre nos furos para valores nominais	73
Figura 54. Melhoria n° 5 – Implementação de um novo pino	73
Figura 55. Sequência de inserção dos pinos nas PCBs.....	74
Figura 56. Gráficos de controlo de valores individuais.....	75

Figura 57. Esquema dos cortes seccionais realizados nas PCBs de aprovação do novo pino	76
Figura 58. <i>Nutzens</i> utilizadas em cortes seccionais	76
Figura 59. <i>Nutzen</i> utilizada para testes de <i>push-out e push-through</i>	77
Figura 60. Forças de <i>Push-out</i> PCB1	78
Figura 61. Forças de <i>Push-through</i> PCB1	78
Figura 62. Melhoria nº 6 - Alteração de sequência de inserção cruzada para sequência linear em todos os produtos.....	79
Figura 63. Melhoria nº 7 – Alteração do método de validação	80
Figura 64. Melhoria nº 8 – Criação de programas de inspeção da furação para todos os produtos.....	81
Figura 65. Melhoria nº 9 - Desenvolvimento da aplicação “QCO Timer”	81
Figura 66. Valores semanais dos DPMOs em 2018, no período correspondente à implementação das melhorias	84
Figura 67. Variação das forças de inserção ao longo do tempo do produto 300374 com o novo pino .	84
Figura 68. Variação das forças de inserção ao longo do tempo do produto 301368.....	85
Figura 69. Valores mensais dos DPMO entre setembro de 2017 e agosto de 2018	85
Figura 70. Gastos em euros previstos com o produto 300374	86
Figura 71. Gastos em euros previstos com o produto 301368	86
Figura 72. Especificação da furação do produto 300374.....	116
Figura 73. Método de cálculo e valor desejável da ovalidade da furação.....	116
Figura 74. Cotas utilizadas na avaliação do desgaste da ferramenta <i>cutter plate</i>	124
Figura 75. Cotas utilizadas na avaliação do desgaste da ferramenta <i>cutter blade</i>	127
Figura 76. Especificação da furação para o pino novo	134
Figura 77. Forças de <i>Push-out</i> PCB2, PCB3, PCB4, PCB5	134
Figura 78. Forças de <i>Push-through</i> PCB2	135
Figura 79. Forças de <i>Push-through</i> PCB3	135
Figura 80. Forças de <i>Push-through</i> PCB4	136
Figura 81. Forças de <i>Push-through</i> PCB5	136
Figura 82. IFC da aplicação QCO Timer	139

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros do processo.....	40
Tabela 2. Definição do projeto – visão detalhada	43
Tabela 3. Característica crítica para a satisfação	43
Tabela 4. Cálculo do nível sigma atual	46
Tabela 5. Produtos a analisar, fornecedores e respectivas cotas de fornecimento.....	51
Tabela 6. Esquema dos cortes seccionais no produto 301368.....	54
Tabela 7. Corte longitudinal no produto 301368, PCB D – Pino 5.....	54
Tabela 8. Resultados dos cortes longitudinais no produto 301368	55
Tabela 9. Resultados dos cortes transversais no produto 301368	56
Tabela 10. Esquema dos cortes seccionais no produto 300374.....	57
Tabela 11. Corte longitudinal no produto 300374, PCB H – Pino 6.....	58
Tabela 12. Resultados dos cortes longitudinais no produto 300374	59
Tabela 13. Resultados dos cortes transversais no produto 300374.....	60
Tabela 14. Esquema dos cortes seccionais no produto 300374.....	63
Tabela 15. Análise da geometria da furação do produto 300374	66
Tabela 16. Análise da geometria da furação do produto 301368	66
Tabela 17. Composição dos pinos	69
Tabela 18. Valores obtidos na análise da junta do pino.....	70
Tabela 19. Resumo das Melhorias Implementadas ou a Implementar	83
Tabela 20. Cálculo do nível sigma após melhorias.....	85
Tabela 21. Corte longitudinal no produto 301368 - PCB A – Pino 3.....	101
Tabela 22. Corte transversal no produto 301368 - PCB B – Todos os pinos	102
Tabela 23. Corte transversal no produto 301368 - PCB C – Todos os pinos	103
Tabela 24. Corte longitudinal no produto 300374 - PCB B – Pino 4.....	105
Tabela 25. Corte transversal no produto 300374 - PCB C – Todos os pinos	106
Tabela 26. Corte longitudinal no produto 300374 - PCB H – Todos os furos.....	107
Tabela 27. Corte transversal no produto 300374 - PCB F – Todos os furos	107
Tabela 28. Corte longitudinal produto 300374 - PCB D – Todos os furos.....	108
Tabela 29. Corte transversal produto 300374 - PCB B – Todos os furos.....	108
Tabela 30. Corte transversal produto 300374 - PCB G – Todos os furos.....	109
Tabela 31. Corte longitudinal produto 300374 - PCB E	109

Tabela 32. Corte transversal produto 300374 - PCB C – Todos os furos.....	110
Tabela 33. Corte longitudinal produto 300374 - PCB A – Todos os furos	110
Tabela 34. Resumo dos valores de cobre depositado obtidos na análise segundo os cortes longitudinais no produto 300374.....	111
Tabela 35. Determinação da quantidade média de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes longitudinais no produto 300374	111
Tabela 36. Resumo dos valores de cobre depositado obtidos na análise segundo os cortes transversais no produto 300374.....	112
Tabela 37. Determinação da quantidade média de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes transversais no produto 300374	112
Tabela 38. Diâmetro, circularidade e posicionamento dos furos do produto 300374	113
Tabela 39. Diâmetro, circularidade e posicionamento dos furos do produto 300374	114
Tabela 40. Ovalidade dos furos do produto 300374	115
Tabela 41. Diâmetro e posicionamento dos furos do produto 301368	117
Tabela 42. Diâmetro e posicionamento dos furos do produto 301368	118
Tabela 43. Diâmetro e posicionamento dos furos do produto 301368	119
Tabela 44. Diâmetro e posicionamento dos furos do produto 301368	120
Tabela 45. Diâmetro e altura dos pinos	121
Tabela 46. Diâmetro e altura dos pinos	122
Tabela 47. Avaliação do desgaste da ferramenta <i>cutter plate</i>	123
Tabela 48. Avaliação do desgaste da ferramenta <i>cutter blade</i>	125
Tabela 49. Dados de força de inserção, pull-out e push-through.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AOI - *Automatic Optical Inspection*
BBS - *Bosch Business System*
BPS - *Bosch Production System*
BrgP - *Braga Plant*
CM - *Car Multimedia*
CTC - *Critical To Customer*
CTD - *Critical To Delivery*
CTQ - *Critical To Quality*
CTS - *Critical To Satisfaction*
DFSS - *Design For Six Sigma*
DMADV - *Design, Measure, Analyse, Design and Verify*
DMAIC - *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*
DPMO - *Defeitos Por Milhão de Oportunidade*
DPO - *Defeitos Por Oportunidade*
DPU - *Defeitos Por Unidade*
ESP - *Electronic Stability Program*
IDOV - *Identify, Design, Optimize and Validate*
ISO - *International Organization for Standardization*
LMC - *Least Material Condition*
MFE - *Manufacturing Engineering*
MIS - *Management Information System*
MMC - *Maximum Material Condition*
MOE1 - *Departamento responsável pelos subprocessos de inserção automática*
MOE2 - *Departamento responsável pelas linhas e células de montagem final*
MOEQ - *Secção responsável por verificar a eficácia do sistema de qualidade da produção*
PAF - *Prevention, Appraisal and Failures*
PCB - *Printed Circuit Board*
PME - *Pequena e Média Empresa*
PPM - *Partes Por Milhão*
PTH - *Plated Through Hole*
SAP - *Systems Applications and Products in Data Processing*
SIPOC - *Supplier, Input, Process, Output, Customer*
SMD - *Surface Mounted Device*
SOP - *Start Of Production*
SPI - *Single Pin Insertion*
TQM - *Total Quality Management*

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda o enquadramento e âmbito do projeto, em que se apresenta uma contextualização e motivação para a realização do projeto. Seguidamente apresentam-se os objetivos gerais e específicos, assim como a metodologia adotada para os alcançar. Por fim, é descrita de forma sucinta a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento e Âmbito do Projeto

A atual conjuntura internacional, na qual as empresas industriais operam, é caracterizada pela intensa competitividade onde as novas tecnologias assumem um papel cada vez mais predominante (Garcia, Pardo, & Bonavía, 2008). Neste contexto, a melhoria contínua assume-se como uma estratégia que permite às empresas manter e melhorar a competitividade, fazendo uso do conhecimento, através do envolvimento dos colaboradores (Lorenzo & Prado, 2003).

A melhoria contínua pode ser definida como pequenas mudanças incrementais que ocorrem nos processos produtivos ou práticas de trabalho, não exigindo grandes investimentos, cujos objetivos podem ser a melhoria da eficiência operacional e produtividade, qualidade, tempos de produção e demais resultados, nomeadamente no que diz respeito aos custos de produção (Grütter, Field & Faull, 2002).

O Grupo Bosch, líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços, que compreende a Robert Bosch GmbH e mais de 350 subsidiárias e empresas regionais em 60 países, rege-se segundo o lema de que “Não há nada que não possa ser melhorado”. Deste modo, as standardizações realizadas com sucesso são a base para melhorias futuras. É através da melhoria contínua e do evitar constante de desperdícios, que a Bosch procura atingir e assegurar processos controlados (Bosch, 2005).

A Bosch Car Multimédia Portugal S.A., face ao cenário de elevada competitividade e disrupção do mercado automóvel tem apostado numa estratégia de diversificação de produtos, procurando conceber produtos inovadores e com qualidade destacável. Deste modo, preocupada em ser uma referência nesta área de atuação, a empresa, procura melhorar continuamente a qualidade dos seus serviços e processos, visando atingir a excelência nos seus produtos. O Seis Sigma corresponde a uma metodologia que pode ser aplicada em determinados contextos para atingir esse propósito.

Segundo Linderman, Schroeder, Zaheer, & Choo (2003), o Seis Sigma pode ser encarado como uma metodologia sistemática e organizada, orientada para o cliente, que visa melhorar o

desempenho e a qualidade de processos, produtos e serviços, recorrendo a técnicas estatísticas e ao método científico para analisar dados e tomar decisões.

É no âmbito desta temática, e no Departamento de Engenharia de Industrialização (*Manufacturing Engineering - MFE*) da empresa Bosch Car Multimédia Portugal S.A., que surge este projeto de investigação. O estudo recai, mais concretamente, sobre o processo produtivo de inserção de pinos (*Single Pin Insertion - SPI*), nas Placas de Circuito Impresso (*Printed Circuit Board – PCB*) com vista à melhoria do nível de qualidade do mesmo, adotando para tal a metodologia Seis Sigma.

A temática em estudo incide sobre o excesso de força na inserção de pinos que, quando presente no processo produtivo, se traduz em elevados custos de rejeição e tempos de paragem de linha que comprometem o abastecimento das linhas de montagem final. Através deste estudo será possível atuar sobre estes tópicos assegurando a qualidade dos produtos.

1.2 Objetivos de Investigação

A presente dissertação tem como principal objetivo, a redução do número de unidades defeituosas que são produzidas pelo processo de inserção de pinos nas PCBs integrantes dos sensores ESP (*Electronic Stability Program*) designados por sensores de ângulo de direção (SAS ou, na sigla alemã, LWS) produzidos na Bosch Car Multimédia Portugal S.A. recorrendo para tal, à aplicação da metodologia Seis Sigma. Pretende-se ainda, como consequência do objetivo principal, reduzir os custos da qualidade provenientes deste processo e aumentar a quantidade de produtos produzidos bem à primeira de forma a não comprometer o abastecimento das linhas de montagem final.

Procurar-se-á responder à seguinte pergunta de investigação: “Poderá a aplicação da abordagem estruturada DMAIC da metodologia Seis Sigma, aliada às ferramentas da qualidade, trazer vantagens significativas para o processo de inserção de pinos?”.

1.3 Metodologia de Investigação

O estudo de caso foi a metodologia de investigação aplicada na realização desta dissertação por se adequar a estudos descritivos ou à desmitificação de casos ou situações complexas que não se encontram bem definidas, lidando com os processos que ocorrem e sua inter-relação (Kothari, 2004; MacNealy, 1997).

Esta metodologia direciona o estudo sobre um número restrito de temas, de forma a aprofundar a sua investigação de acordo com uma lógica dirigida pelas sucessivas etapas de recolha, análise e interpretação da informação, cujo objetivo é a localização dos fatores que refletem os padrões de comportamento da unidade em estudo como uma generalização (Dooley, 2002; Kothari, 2004). O presente estudo de caso rege-se segundo a abordagem DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) para a resolução de problemas segundo a metodologia Seis Sigma. No decorrer do projeto o autor participou ativamente junto de uma equipa de especialistas, tanto em 6 sigma, como do processo em questão, desde a fase de definição dos problemas até à fase de controlo das melhorias implementadas.

Como estratégia de recolha de dados do problema em questão optou-se por aceder a várias fontes, estratégia característica desta metodologia e denominada de triangulação, através do uso de documentos, plataformas eletrónicas da empresa e principalmente pela observação direta das atividades de trabalho.

Após a recolha de dados seguiu-se a sua análise, implementando-se posteriormente ações de melhoria e controlo do processo. Assim, este estudo de caso pretende dar a conhecer o contexto em que decorre a investigação, assim como, os métodos, ferramentas e procedimentos utilizados em cada fase da abordagem DMAIC para se obter melhorias na qualidade do processo de inserção de pinos.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente documento encontra-se disposto em 5 capítulos, nomeadamente, Introdução, Revisão da Literatura, Apresentação da Empresa, Caso de Estudo, Conclusão e Trabalho Futuro. O presente capítulo tem como finalidade proporcionar ao leitor um contacto inicial com a problemática em estudo, a partir de uma sucinta descrição da mesma, por via do enquadramento e âmbito da dissertação. Posteriormente, são descritos os objetivos do estudo desenvolvido e a motivação que encaminhou o autor a trabalhar afincadamente, ao longo de 10 meses, nos objetivos previamente delineados. Ainda neste capítulo é descrita a metodologia de investigação adotada e é apresentada a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo apresenta a revisão crítica da literatura de uma forma ampla, desde os primórdios da qualidade até à origem da metodologia Seis Sigma.

Seguidamente, no terceiro capítulo é apresentada e descrita a empresa onde decorre o projeto de dissertação para a Universidade do Minho. São retratados alguns dados históricos como também

o modo como a empresa se encontra estruturada, especificamente em Portugal. Apresenta-se de forma mais detalhada a empresa Bosch Car Multimédia Portugal S.A., tanto no que diz respeito aos principais produtos, como também os departamentos integrantes da empresa, com destaque acrescido ao Departamento de Engenharia de Industrialização.

No quarto capítulo, é descrito o caso de estudo através de uma introdução ao processo de inserção de pinos nas PCBs integrantes dos sensores ESP, bem como a problemática do excesso de força existente neste processo produtivo.

No capítulo final são apresentadas as conclusões, as lições apreendidas para o futuro e enunciadas sugestões para dar seguimento ao trabalho desenvolvido nesta dissertação.

As referências bibliográficas são também expostas num local exclusivo para o efeito, para suportar cientificamente todo o estudo e para que o leitor possa aprofundar um determinado tema que considere relevante.

De acrescentar ainda que os diversos termos em inglês presentes na dissertação, foram dessa forma mencionados pelo facto de se tratar de características técnicas, documentos, procedimentos e locais físicos internamente designados dessa forma.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são debatidos e relacionados os temas mais pertinentes nas áreas envolvidas no projeto. A análise crítica da literatura fornece suporte no refinamento das perguntas ou aos objetivos da investigação, confere uma perspetiva completa sobre os temas na área onde é inserido o estudo e constrói uma sustentação teórica da tomada de decisão ao longo da escrita da dissertação, pelo que se considera imprescindível no processo de investigação.

Com este propósito realizou-se a revisão crítica da literatura, onde se analisaram as temáticas estudadas e desenvolvidas, nomeadamente a qualidade, gestão da qualidade e Seis Sigma relacionadas com o projeto em questão.

No decorrer deste capítulo apresentam-se conceitos e informações relativas às referidas temáticas, que foram obtidas através de diversas pesquisas realizadas em artigos científicos, manuais técnicos, dissertações e informação publicada internamente na Bosch Car Multimédia Portugal S.A.

2.1 Qualidade

A procura pela mais íntegra definição de qualidade e o estudo da sua evolução, é, ainda no período contemporâneo, alvo de estudo por parte de vários investigadores e, mesmo existindo várias interpretações ou definições de qualidade na literatura, não existe, contudo, nenhuma definição considerada universal (Dale, 2003; Kara, Lonial, Tarim, & Zaim, 2005; Wicks & Roethlein, 2009). Esta inexistência é compreensível, na medida em que, não é tarefa fácil, caracterizar em poucas palavras algo complexo, multifacetado, e que pode, e deve ser, encarado sob diversas perspetivas (António, Teixeira, & Rosa, 2016).

Ghobadian & Speller (1994) referem que, a qualidade e a sua aplicação no pensamento e práticas de gestão, particularmente em processos produtivos, remonta à visita ao Japão, em 1950, realizada por Deming e Juran, para fins de suporte na reconstrução industrial após a Segunda Guerra Mundial. Pese embora Deming tenha sido um dos pioneiros a utilizar métodos estatísticos, o seu contributo para o renascimento industrial japonês foi mais além, por obra dos seus novos princípios de gestão, que permitiram melhorias significativas na qualidade e produtividade (Bendell, Penson, & Carr, 1995; Fonseca, 1988). A estatística, do seu ponto de vista, deve ser utilizada para verificar se um processo está ou não estável, se é capaz e está de acordo com o espetável (Fonseca, 1988).

Segundo Bendell *et al.* (1995), foi Deming quem difundiu uma poderosa metodologia de resolução de problemas originalmente concebida por W. Shewhart que, por sua vez, se tornou conhecida por ciclo de Deming ou PDCA (Plan – Do – Check - Act). Esta metodologia permite que a qualidade seja repensada e melhorada continuamente no âmbito de um processo pragmático de aprendizagem (Bond, 1999). Qualidade, é, na sua perspetiva, não somente satisfazer as necessidades do cliente, mas excedê-las (Deming, 1986).

Tal como Deming, Juran acredita que, a maioria dos problemas de qualidade são devidos à gestão, e não aos trabalhadores, sendo que, na opinião de ambos, os gestores, devem obter formação em qualidade, na proporção que normalmente recebem em economia (Ghobadian & Speller, 1994). Dado o foco no aspeto financeiro por parte dos gestores da época, Juran utilizou como estratégia a mensuração dos custos associados aos problemas de qualidade, contribuindo, assim, para a criação de uma nova perspetiva económica, despertando, em simultâneo, o seu interesse pela qualidade (Dale, 2003; Dima & Man, 2015). A análise de custos da qualidade nas organizações, será mais aprofundada na secção 2.2.2, dado tratar-se de uma temática relevante para o projeto e para as organizações.

Segundo o seu ponto de vista, a qualidade é definida como sendo a adequação ao uso, sendo o utilizador ou cliente, quem avalia a qualidade de um produto ou serviço (Bisgaard, 2008; Juran, 1974). Juran introduziu o conceito de cliente interno, encarando a qualidade como um processo por passos, em que cada passo afeta o próximo, incutindo a preocupação com a qualidade ao longo de toda a cadeia de produção (António *et al.*, 2016).

É este processo por passos, que Oakland (2014) designa de cadeia de qualidade, que os esforços para satisfazer os requisitos dos clientes devem ser concentrados, uma vez que desencadeiam o aumento da competitividade e quota de mercado, redução de custos, melhorias de produtividade e cumprimento de prazos de entrega, assim como, a eliminação de desperdícios.

De acordo com Oakland (2014), de forma a compreender como a qualidade pode ser incorporada num produto ou serviço em qualquer etapa da cadeia, é necessário examinar dois aspetos distintos, mas inter-relacionados, da qualidade: i) qualidade de projeto – o quão bem está projetado o produto ou serviço para atingir os requisitos, ou especificações estabelecidas; ii) qualidade de conformidade – reflete em que medida um produto ou serviço atinge a qualidade de projeto, estando relacionada, principalmente, com a qualidade das operações.

Segundo Freeman (2010), os processos apresentam, essencialmente, quatro partes interessadas (*stakeholders*): clientes, fornecedores, recursos humanos e proprietários da organização, sendo

que, cada um destes, tem a sua própria perspetiva relativamente ao significado de “valor” de um produto ou processo.

O “valor” de um produto ou serviço, segundo a perspetiva do cliente, corresponde à discrepância entre aquilo que a organização fornece e o que é recebido pelo cliente, tendo em conta a usabilidade pretendida e o valor cobrado (Pynnönen, Ritala, & Hallikas, 2011). Deste modo, para que uma organização seja superior à concorrência, precisa fornecer valor aos seus clientes e, o valor da sua oferta tem que ser maior do que a dos seus concorrentes, na ótica do cliente (Bowman & Ambrosini, 2000).

Treacy & Wiersema (1993), referem que as melhores estratégias competitivas de uma organização residem em conhecer o cliente (*Know the customer, then know yourself*) de modo a identificar, capturar e partilhar informação sobre o mesmo com os funcionários da organização (passo definido pelos autores como o *empowerment* do corpo laboral, crucial para a excelência) e a aplicação dessa informação no desenvolvimento de produtos e serviços que encontrem as necessidades, preferências e negócios dos clientes.

2.2 Gestão da Qualidade

A gestão da qualidade, tem assumido um papel fundamental na destreza e estratégia das organizações, perante o ambiente de incerteza e competitividade em que estas atuam (Anderson & Rungtusanatham, 1994; Pires, 2016).

Segundo Godfrey & Kenett (2007), a trilogia de Juran é uma das representações mais simples, completa e pura da gestão da qualidade. Juran refere-se à gestão da qualidade como um processo composto pelas etapas de planeamento, controlo e melhoria da qualidade, sendo que, existe um inter-relacionamento entre cada uma destas etapas com as restantes (Feigenbaum, 1956).

Pela interpretação de Feigenbaum (1956), as três etapas ou atividades referentes à qualidade, foram delineadas por Juran do seguinte modo:

- Planeamento da qualidade: Corresponde à atividade de desenvolvimento de produtos, processos e serviços que atende às necessidades do cliente. Este planeamento requer uma descrição clara dos clientes e das suas necessidades, a definição de objetivos e métricas da qualidade, assim como o desenvolvimento e implementação do plano da qualidade;

- Controlo da qualidade: Consiste no estabelecimento e análise de um conjunto de métricas da qualidade, para avaliação da efetividade das ações que visam melhorias da qualidade, bem como das ações corretivas;
- Melhoria da qualidade: Busca pelo aumento dos níveis de qualidade, através de políticas, práticas, procedimentos, programas de melhoria e infraestruturas que promovem, em simultâneo, acréscimo na satisfação do cliente e redução de desperdícios.

A gestão da qualidade compreende vários processos cujo desempenho se pretende melhorar para atingir uma maior satisfação do cliente, razão pela qual é importante compreender o que é um “Processo” e a sua envolvente. É imperativo que as empresas forneçam produtos e serviços de qualidade com vista à satisfação do cliente, sem descuidar os custos de alcançar tais objetivos, de modo que, o efeito a longo prazo sobre as mesmas seja o desejável. Para atingir tais objetivos podem ser adotadas abordagens como, por exemplo, a gestão da qualidade total e as normas da família ISO 9000, que são apresentadas de forma mais detalhada nas sub-subsecções seguintes.

2.2.1 Definição de Processo

Os processos podem ser categorizados em processos produtivos ou não produtivos como, por exemplo, a gestão financeira numa organização. A Figura 1 representa um processo produtivo como um sistema que, através de um conjunto de atividades, transforma entradas, tipicamente matéria-prima, componentes, informação, em produto acabado, ou seja, saídas com várias características de qualidade associadas.

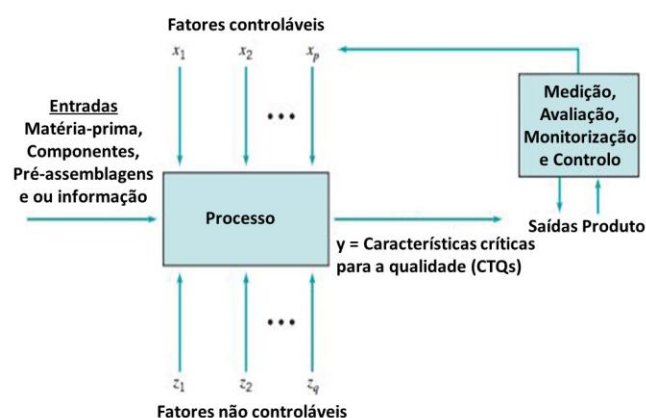


Figura 1. Entradas e saídas de um processo produtivo. Adaptado de (Montgomery, 2008)

Em processos produtivos existem fatores controláveis (x_1, x_2, \dots, x_p), tais como temperaturas, pressões, velocidades e fatores incontroláveis, ou de difícil controlo (z_1, z_2, \dots, z_q), que correspondem, por exemplo, a fatores ambientais ou propriedades de matérias-primas fornecidas

por um fornecedor externo (Montgomery, 2008). Os processos devem estar ajustados ao produto e serviço que originam, para que seja assegurada a sua eficácia, eficiência e inexistência de desperdícios.

2.2.2 Custos da Qualidade

São vários os estudos que indicam que os custos da qualidade correspondem a cerca de 30% do total dos custos de produção (Srivastava, 2008; Yang, 2008). Deste modo, torna-se imperativo, que as empresas forneçam produtos e serviços de qualidade com vista à satisfação do cliente, sem descurar os custos de alcançar tais objetivos, de modo que, o efeito a longo prazo sobre as mesmas seja o desejável.

Pese embora a preocupação inicial com os custos da qualidade remonte para a década de 1930, foi através da contribuição de Juran (1951), Feigenbaum (1956), Crosby (1979) que este conceito foi esmiuçado e se tornou mais alargado.

Atualmente, existem várias definições de custos inerentes à qualidade na literatura, sendo que, alguns autores consideram estes custos como “Custos da qualidade” (Campanella, 1999; Krishnan, Agus, & Husain, 2010), outros consideram-nos como “Custos da não-qualidade” (Bland, Maynard, & Herbert, 1998; Juran, 1998).

Utilizando como exemplo as definições de Campanella (1999) e Juran (1998), ambos consideram, na sua essência, que os custos inerentes à qualidade correspondem à soma dos custos que desapareceriam caso não existissem problemas de qualidade (Yang, 2008). Deste modo, dada a semelhança das definições por parte destes autores é seguro admitir que, na sua essência, “Custos da qualidade” e “Custos da não-qualidade” são sinónimos (Besterfield, 1994; Chiadamrong, 2003).

A analogia entre os custos da qualidade e um iceberg, realizada por Campanella (1999), evidencia que nem todos os custos da qualidade são identificados facilmente por uma organização (Figura 2). Na zona superficial ou ponta do iceberg, encontram-se os custos da qualidade mais intuitivos como, por exemplo, os custos de refugo e retrabalho (Campanella, 1999).

Pelo contrário, na profundidade, estão localizados os custos da qualidade “ocultos”, que são superiores aos custos da ponta do iceberg, mas que geralmente não são considerados ou identificados pelas organizações (Campanella, 1999; Dahlgard, Kristensen, & Kanji, 1992). Um exemplo típico, são os custos equivalentes à futura perda de lucros devido à entrega de um produto

defeituoso, ou seja, quando um cliente recebe um produto defeituoso e, ao invés de reclamar, passa a comprá-lo à concorrência.

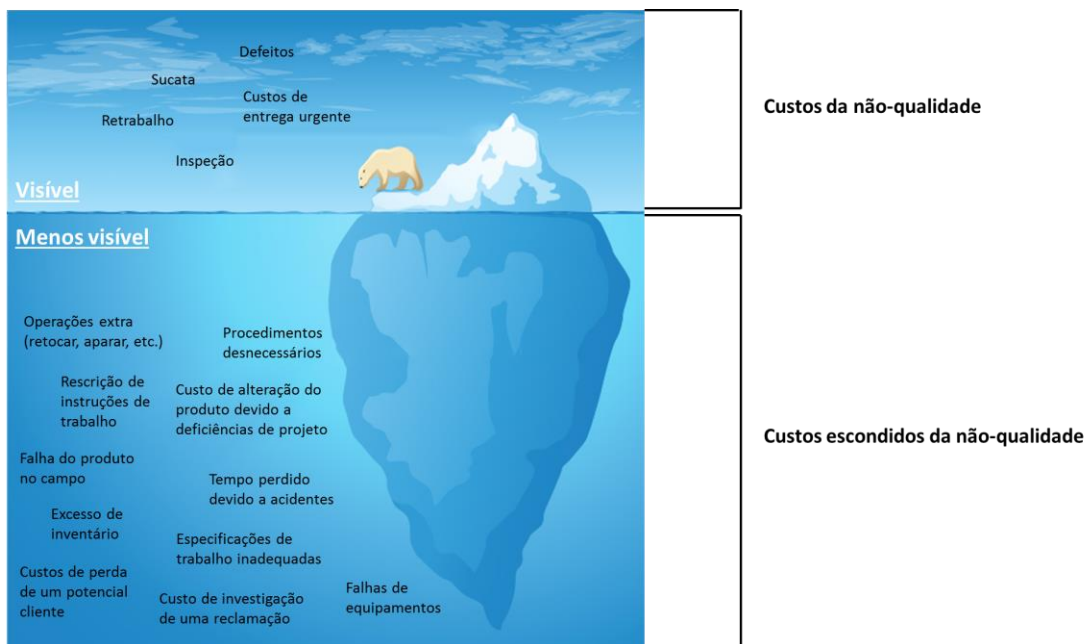


Figura 2. Ilustração dos custos da qualidade. Adaptado de (Durmaz & Zengin, 2012)

Os custos da qualidade são, de uma forma geral, um tópico de elevada importância no âmbito da melhoria da qualidade, na medida em que, a sua mensuração auxilia no processo de seleção e priorização de áreas de melhoria, permitindo acompanhar a evolução das melhorias implementadas e também dinamizar o diálogo com a gestão de topo (Juran, 1998).

Segundo o modelo de Juran (1998), os custos da qualidade correspondem à soma dos custos relativos a falhas, prevenção e avaliação, existindo relações entre estes (Figura 3).

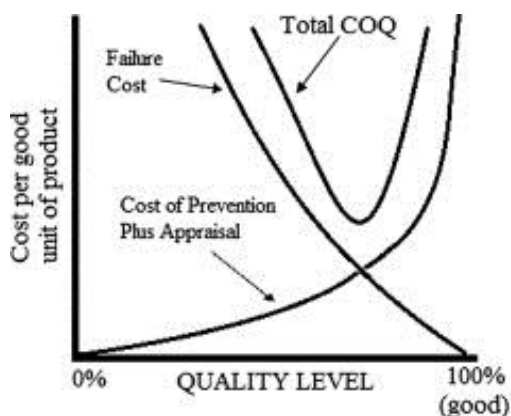


Figura 3. Custos da qualidade de acordo com o Modelo PAF (Castillo, Smith, & Simonton, 2012)

De acordo com este modelo, a qualidade aumenta proporcionalmente ao investimento em atividades de avaliação e prevenção, o que se traduz, também, numa diminuição das falhas e, portanto, dos seus custos. O principal objetivo deste modelo é a definição de um patamar de

qualidade que permita atingir um balanceamento dos custos da qualidade de forma a minimizá-los (Campanella, 1987; Feigenbaum, 1991; Plunkett & Dale, 1988).

Na literatura, é possível encontrar vários modelos de classificação de custos da qualidade, mas é o modelo PAF que é maioritariamente adotado pelas organizações (Srivastava, 2008).

O acrónimo PAF, na Língua portuguesa, significa Prevenção, Avaliação e Falhas. Segundo Srivastava (2008), este modelo classifica os custos da qualidade em três subgrupos:

- Custos de prevenção: Custos com quaisquer atividades de investigação, para prevenir ou reduzir não conformidades ou defeitos. Como exemplos deste género de custos, podem ser citados custos com formações e projetos de melhoria da qualidade, bem como de revisão de novos produtos;
- Custos de avaliação: Custos inerentes a atividades de controlo e verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade, de forma a detetar desvios e evitar a propagação de defeitos. São exemplo os custos de inspeções e auditorias de produtos, processos e serviços;
- Custos de falhas: Custos incorridos devido a produtos ou serviços não conformes com os requisitos de qualidade previamente estabelecidos. Este tipo de custos pode ser originado por dois tipos de falhas:
 - Falhas internas: Defeitos ou não conformidades detetadas antes da entrega de um produto ou prestação de um serviço ao cliente;
 - Falhas externas: Defeitos ou não conformidades detetadas após a entrega de um produto ou prestação de um serviço ao cliente. Geralmente, os custos com este género de falhas são superiores aos custos com falhas internas.

Apesar de este modelo ser bastante intuitivo e com grande aplicabilidade, existem, contudo, algumas lacunas apontadas a este modelo. Segundo Porter & Rayner (1992), o modelo PAF foca-se na redução de custos e ignora a contribuição positiva que a melhoria da qualidade pode proporcionar, em termos de volume de vendas e preço cobrado ao cliente.

Além disso, nem sempre é óbvia a classificação de uma atividade unicamente num dos três subgrupos de custos supramencionados (Porter & Rayner, 1992).

2.2.3 Gestão da Qualidade Total

O contributo dos principais pensadores da qualidade, culminou com a filosofia de gestão da qualidade denominada Total Quality Management, TQM (Fonseca, 2015). A primeira implementação do TQM ocorreu no Japão, cativando, desde logo, o interesse dos gestores ocidentais, devido aos espantosos resultados alcançados pelos japoneses (Ghobadian & Gallear, 1996; Yong & Wilkinson, 1999).

Segundo Lakhe & Mohanty (1994), trata-se de uma filosofia de gestão integrada e orientada para o mercado, que caracteriza a dinâmica comportamental de uma organização, considerando-a um sistema total (sociotécnico), onde todas as atividades são realizadas com o objetivo de atender aos requisitos dos clientes com eficiência e eficácia. Esta filosofia assenta numa estratégia de gestão apoiada em ferramentas, formação de todos os membros, melhoria contínua e envolvimento de todos os níveis e funções da organização com o objetivo de fornecer produtos e serviços de melhor qualidade (Demirbag, Tatoglu, Tekinkus, & Zaim, 2006; Lakhe & Mohanty, 1994).

De acordo com Dahlgaard (2011), os princípios e conceitos fundamentais do TQM são:

1. Foco no cliente;
2. Comprometimento da gestão;
3. Melhoria contínua;
4. Envolvimento total das pessoas;
5. Trabalho em equipa;
6. Foco no processo;
7. Tomada de decisão baseada em evidências;
8. Formação contínua;
9. Relação próxima com os fornecedores;
10. Uso de aproximações sistemáticas.

O sucesso do TQM depende criticamente de fatores intangíveis, como o comprometimento a longo prazo por parte da gestão, cultura da organização e capacitação (*empowerment*) dos colaboradores, e menos de fatores básicos de gestão da qualidade tais como o *benchmarking*, formações, entre outros (Powell, Colledge, & Island, 1995).

2.2.4 Normas da família ISO 9000

As normas da organização internacional de normalização (*International Organization for Standardization*) - (ISO) constituem um outro sistema que adquiriu notoriedade. A ISO consiste

numa organização global que promove a padronização para facilitar o intercâmbio internacional de bens e serviços e, também, para aumentar a cooperação internacional económica, técnica e intelectual (Motwani, Kumar, & Cheng, 1996).

A família de normas ISO 9000 tornou-se um pré-requisito para muitas organizações serem fornecedoras dos seus clientes industriais (Lorente & Costa, 2004). Esta família é constituída por um conjunto de normas de gestão da qualidade, que permitem melhorar processos e produtos, através do cumprimento das diretivas por parte das organizações (Magd, 2006; Sun, 2000).

Estas diretivas permitem às empresas organizar e sincronizar as suas atividades, através da documentação dos seus processos, eliminando, simultaneamente, ambiguidades e definindo de forma clara os deveres e responsabilidades dos seus colaboradores e departamentos, sempre com o foco direcionado para a satisfação das necessidades dos consumidores (Gotzamani & Tsiotras, 2001).

Uma rigorosa implementação das normas, pode ser um passo na busca pelo TQM, no qual não há requisitos e orientações claras. Este rigor é fortemente dependente do comprometimento da empresa para com a melhoria da qualidade e da motivação da certificação (Gotzamani & Tsiotras, 2001).

A motivação é considerada externa se a empresa pretende que a implementação tenha um efeito na perceção externa, e interna, se a empresa pretende que a mesma tenha efeito nos seus processos internos (Costa, Lorente, & Choi, 2008). Quando a motivação para implementar a ISO 9000 é interna, o que a empresa está a fazer é, na sua essência, trabalhar para alcançar o TQM (Rahman, 2001).

Segundo Costa, Choi, Martínez, & Lorente (2009), o TQM e a ISO 9000 são direções que as empresas podem tomar na busca por boas práticas de qualidade. Contudo, não é correto comparar estas duas abordagens, pois o modelo ISO não reúne alguns dos princípios da Gestão da Qualidade Total.

2.3 Seis Sigma

Nesta secção é exposta uma revisão crítica da literatura relacionada com a metodologia Seis Sigma, desde a vertente teórica às técnicas utilizadas.

Devido à constante mudança das necessidades dos clientes, novos mercados, inovação, entre outros fatores externos, gerou-se uma pressão sobre as organizações para melhorarem continuamente os níveis de qualidade dos seus processos atuais e desenvolverem novos processos

de modo a atender às tendências do mercado, surgindo metodologias mais robustas de gestão da qualidade, como o Seis Sigma (Breyfogle, 2003; Kumar, Antony, & Cho, 2009).

O conceito Seis Sigma surgiu na década de 80 por iniciativa da Motorola Inc., nos EUA, momento em que, devido à concorrência das indústrias de produção de equipamentos eletrônicos japonesas, a mesma se viu forçada a reduzir os níveis de defeitos, e aumentar, simultaneamente a produtividade, reduzindo custos e aumentando a satisfação do cliente (Harry & Schroeder, 2000; Henderson & Evans, 2000). Posteriormente à Motorola, outras empresas, como a Allied Signal, atual Honeywell, a Texas Instruments, a Kodak, a General Electric, a Sony, implementaram esta metodologia, obtendo poupanças económicas excepcionais (Antony & Banuelas, 2002c).

Segundo Wilson (2000), o Seis Sigma pode ser encarado como uma estratégia, um objetivo, uma ferramenta ou ainda, como uma filosofia. São várias as definições existentes na literatura, pelo que se pode tornar confuso para pessoas que têm menos conhecimento na área, entender a verdadeira essência deste termo (Schroeder, Linderman, Liedtke, & Choo, 2008).

O Seis Sigma pode ser definido, segundo Linderman, Schroeder, Zaheer, & Choo (2003), como uma metodologia sistemática e organizada, orientada para o cliente, que visa melhorar o desempenho e a qualidade de processos, produtos e serviços, recorrendo a técnicas estatísticas e ao método científico para analisar dados e tomar decisões. Deste modo, através de especialistas de melhoria, um método estruturado e métricas de performance, o Seis Sigma procura atingir objetivos estratégicos (Schroeder *et al.*, 2008).

Outra abordagem à definição de Seis Sigma considera a metodologia semelhante a uma estrutura de resolução de problemas, com foco na melhoria de processos existentes, através da redução da variação e redução dos defeitos ou falhas em qualquer produto ou serviço (Antony & Banuelas, 2002c).

Através das definições supramencionadas torna-se possível concluir, de forma segura, que a metodologia Seis Sigma procura, genericamente, resolver problemas, recorrendo a métodos estatísticos, para obter uma redução apreciável nas taxas de defeitos (Linderman *et al.*, 2003; Schroeder *et al.*, 2008).

2.3.1 Definição de Seis Sigma: Perspetiva estatística e económica

De acordo com Kwak & Anbari (2006), a metodologia Seis Sigma pode ser encarada segundo uma perspetiva estatística e uma perspetiva económica.

Segundo a perspectiva estatística, o Seis Sigma é encarado de um ponto de vista mais técnico (Henderson & Evans, 2000). A letra grega " σ ", designada de sigma, é utilizada pelos estatísticos para representar o desvio padrão de um conjunto de dados (Keller, 2005; Suthar & Sindha, 2017). No âmbito do Seis Sigma, o termo sigma retrata a variabilidade intrínseca aos processos produtivos, produtos e serviços relativamente a um valor nominal, sendo o seu valor inversamente proporcional à qualidade (Henderson & Evans, 2000; Montgomery, 2008).

Neste contexto, a metodologia foca-se na redução da variabilidade dos processos de forma a que os produtos (saídas) se aproximem o mais possível do seu valor alvo e se obtenham processos eficientes e sem desperdícios, gerando assim valor acrescentado para os clientes (Mahendru & Singh, 2015; Montgomery, 2008). À medida que se reduz a variação para valores na ordem do seis sigma, objetivo desta metodologia, menor é a quantidade de defeitos produzidos, pois a probabilidade de se obter valores fora do Limite Inferior de Especificação (LIE) e Limite Superior de Especificação (LSE) diminuirá, conforme representado na Figura 4 (Suthar & Sindha, 2017).

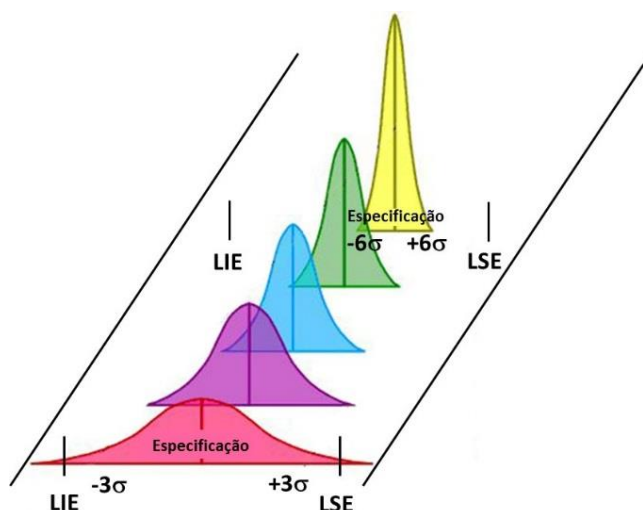


Figura 4. Progresso da variação com o decorrer do tempo. Adaptado de (Waxer, 2012)

Deste ponto de vista, considerando um processo centrado no valor nominal que segue uma distribuição normal, tal como representado na Figura 5, 6σ reflete, a curto prazo, 0,002 defeitos por milhão (PPM) ou uma percentagem de produtos em conformidade na ordem dos 99,9999998% (Breyfogle, 2003).

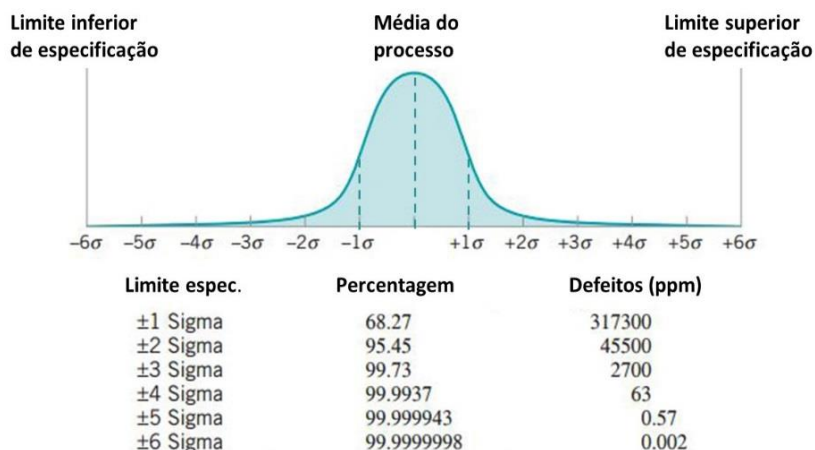


Figura 5. Número de peças defeituosas de um processo normalmente distribuído, centrado e com um desvio padrão determinado. Adaptado de (Montgomery, 2008)

Conforme a metodologia, um processo seguindo uma distribuição normal só atingirá o nível Seis Sigma quando as especificações do produto se encontrarem a $\pm 6\sigma$ do valor alvo do processo, facto que se traduz num índice de capacidade do processo (Cp), introduzido por Kane (1986), igual a dois (Equação 1).

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{12\sigma}{6\sigma} = 2$$

Equação 1. Cálculo do índice capacidade

De notar que quando $Cp = 1$, significa que a variação do processo é aproximadamente igual ao intervalo entre os limites de especificação.

O índice Cpk ou índice de *performance* do processo, contrariamente ao índice Cp , caracteriza o posicionamento da média em relação aos limites de especificação. Caso a variação do processo se encontre centrada entre os limites de especificação, $Cpk = Cp$. É comum o uso do valor de referência $Cp = 1,33$, sendo que no caso de $Cp < 1$, o processo considerar-se-á incapaz de cumprir os limites de especificação devido à elevada variação que irá ocorrer. Se Cp apresentar um valor compreendido entre 1 e 1,33, então significa que o processo é capaz de cumprir os limites de especificação estabelecidos, contudo, ainda assim, é imperativo um controlo sistemático do processo. Por fim, se $Cp > 1,33$, então o processo é totalmente capaz de cumprir as especificações estabelecidas.

$$Cpk = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right)$$

Em que:

μ : Média do processo.

Na realidade, nenhum processo é realmente estável, e, mesmo na melhor das situações, podem ocorrer perturbações que resultem no desvio da média do processo ou no aumento do desvio padrão, ou até ambos em simultâneo (Montgomery, 2008).

Deste modo, conforme exibido na Figura 6, a metodologia Seis Sigma considera que a longo prazo, a média do processo tende a variar $\pm 1,5\sigma$, ficando o LSE ou o LIE a $4,5\sigma$ da média do processo resultando em 3,4 PPM e 99,999660% dos produtos conforme às especificações (Breyfogle, 2003; Montgomery, 2008). Ainda na Figura 6 é possível observar, para diferentes níveis sigma, a percentagem de produtos conforme às especificações e os defeitos em PPM considerando a referida variação na média do processo.

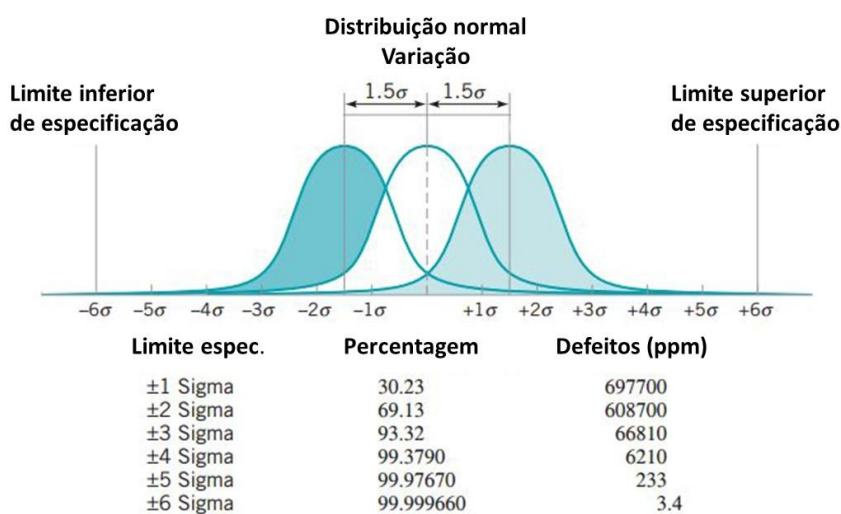


Figura 6. Aproximação do número de defeitos considerando uma variação da média do processo de $1,5\sigma$. Adaptado de (Montgomery, 2008)

Determinar o nível Sigma significa calcular quantos defeitos ocorrem, em comparação com o número de oportunidades das atividades se realizarem com defeitos. O nível sigma é teoricamente calculado em dois momentos do projeto: durante o momento de definição do problema e após a implementação das melhorias, durante um período de tempo experimental. A fim de se compreender perfeitamente a metodologia Seis Sigma, torna-se imperativo clarificar alguns conceitos característicos desta filosofia:

- **Defeito:** Corresponde a uma falha ou não atendimento a uma especificação ou requisito, previamente definidos, de um produto ou serviço;
- **Defeitos por oportunidade (DPO):** Razão entre o número de defeitos e o número total de oportunidade de defeitos. A oportunidade de defeitos corresponde às várias oportunidades em que num produto é possível surgirem defeitos:

$$DPO = \frac{\textit{Total de defeitos por unidade}}{\textit{Número de oportunidades de defeito}}$$

Equação 2. Cálculo dos DPO

- Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) ou PPM: Característica da metodologia Seis Sigma, medida que visa quantificar o nível de defeitos e não conformidades num processo por cada milhão de oportunidades.

$$DPMO = \frac{\textit{Total de defeitos}}{\textit{Número total de oportunidades de defeito}} * 10^6$$

Equação 3. Cálculo dos DPMO

Embora a Equação 3 aparente ser trivial, é essencial compreender o que deve ser encarado como sendo o número total de defeitos e o número total de oportunidades de defeito, caso contrário, podem cometer-se erros na quantificação.

Supondo um processo de inserção de pinos de um sensor, onde se pode ter várias PCBs numa *nutzen*, as quais têm vários furos onde podem ser inseridos pinos, que podem ir de um mínimo de 4 até 8, dependendo do tipo de sensor produzido, ou seja, do conector a ligar. Tratando-se de um processo em que a força é medida a cada pino inserido e onde não existe reparação das PCBs, e que basta apenas um pino defeituoso para que a PCB seja considerada refugo, neste tipo de processo existem duas formas diferentes de medir os DPMO, ou melhor, pode calcular-se o número de PCBs defeituosas ou o número de pinos com defeito. Assim sendo, obtêm-se consequentemente valores diferentes, originando também análises completamente distintas. Vejamos os exemplos demonstrados na Expressão 1 (número de PCBs defeituosas) e Expressão 2 (número de pinos com defeito).

$$\begin{aligned} N^{\circ} \textit{ de PCBs produzidos} &= 2500 \\ N^{\circ} \textit{ de PCBs defeituosas} &= 30 \\ DPMO &= \frac{30}{2500} \times 10.000.000 = 12.000 \textit{ PPM} \end{aligned}$$

Expressão 1. Cálculo dos DPMO através do número de PCBs produzidos e número de PCBs defeituosas

O resultado da Expressão 1 indica que em 2500 sensores que foram produzidos, 30 deles tiveram problemas, o que significou um valor de 12000 PPM. Se ao invés disso, for considerado o número

Nutzen é o nome dado a um painel que contém várias PCBs antes de estes serem cortadas no processo de fresagem, *Milling Process*. A sua função é de plataforma de tamanho padrão das PCBs ao longo dos transportadores automáticos dos processos produtivos.

de pinos com defeito (Expressão 2), o valor dos DPMO será 1500 PPM. O valor de DPMO obtido pela Expressão 2, apesar de ser menor, é o que reflete com maior rigor o desempenho do processo de inserção de pinos, pois a força é medida a cada pino inserido e os limites de especificação ditam o que é, ou não, considerado defeito.

Se cada sensor tiver 8 furos de inserção:

$$N^{\circ} \text{ de pinos inseridos} = 2500 \times 8$$

$$N^{\circ} \text{ de pinos com defeito} = 30$$

$$DPMO_2 = \frac{30}{2500 \times 8} \times 10.000.000 = 1.500 \text{ PPM}$$

Expressão 2. Cálculo dos DPMO através do número de pinos inseridos e número de pinos com defeito

Evidentemente que os dois cálculos estão corretos, por esta razão se torna fundamental decidir como se faz o cálculo e quais os parâmetros a avaliar caso contrário, corre-se o risco de se pensar ter um processo com bom desempenho, quando afinal apenas se está a medir de forma menos correta. Isto é decisivo quando se efetuam comparações entre empresas, sejam do mesmo grupo ou mesmo em relação à concorrência.

Segundo a perspetiva económica, o Seis Sigma é reconhecido como uma estratégia que pode ser utilizada pelas organizações, com o objetivo de aumentar a rentabilidade do negócio, através do foco na melhoria de eficácia e eficiência de operações internas e externas, de forma a satisfazer as necessidades do cliente (Antony & Banuelas, 2001).

Preliminarmente, a abordagem Seis Sigma era aplicada apenas no setor produtivo, mas, uma vez constatado o benefício da sua aplicação, em termos de melhoria de desempenho e redução de custos, rapidamente se expandiu para diferentes áreas funcionais tais como, a área administrativa, marketing, engenharia e compras (Antony & Banuelas, 2002c).

Segundo Linderman *et al.* (2003), nem todos os processos necessitam de operar ao nível Seis Sigma, uma vez que o nível de performance apropriado depende da importância do processo, quer em termos estratégicos, quer da relação custo-benefício da melhoria.

Um outro ponto de vista é o de Trad & Maximiano (2009), que consideram que o nível sigma mais apropriado varia em função dos requisitos do cliente e, caso o nível deste seja superior ao acordado, significa esforço desperdiçado, por parte da empresa, sem valor reconhecido para o cliente.

2.3.2 Abordagens Seis Sigma

Na busca pelo aperfeiçoamento e melhoria de processos, produtos e serviços, as organizações devem, conforme o contexto, adotar a abordagem mais apropriada para aplicar a metodologia Seis Sigma.

Deste modo, caso o objetivo seja elevar o desempenho de um processo existente para um nível de Seis Sigma, a organização deve adotar a abordagem DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*) (Suthar & Sindha, 2017).

Se, por outro lado, a organização pretende introduzir novos produtos, processos e serviços mais eficientes, fiáveis e capazes de, na fase de arranque do projeto, atingir um desempenho de 6 sigmas, atendendo às expectativas ou exigências dos clientes então DFSS (*Design For Six Sigma*) deve ser a abordagem a adotar (Antony & Banuelas, 2002c; Chakravorty & Franza, 2009).

Esta abordagem pode, igualmente, ser aplicada para redesenhar os processos, produtos e serviços, de forma a resultar num nível de desempenho Seis Sigma (Antony & Banuelas, 2002b). Segundo Tjahjono *et al.* (2010), embora com poucas diferenças entre elas, a abordagem DFSS pode ter as várias variantes:

- IDOV (*Identify, Design, Optimize and Verify*);
- DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design and Verify*);
- DCOV (*Design, Characterize, Optimize and Verify*);
- ICOV (*Identify, Characterize, Optimize and Verify*).

A abordagem DMAIC é a mais popular e utilizada como suporte à implementação da metodologia Seis Sigma (Tjahjono *et al.*, 2010). Através do método DMAIC é possível pensar num problema de forma sequencial, permitindo à equipa terminar uma fase e iniciar a fase seguinte de forma suave, decompondo, desta forma, problemas complexos (Smith & Phadke, 2005).

Esta abordagem rege-se por um ciclo, composto por cinco fases, como se verifica na Figura 7.

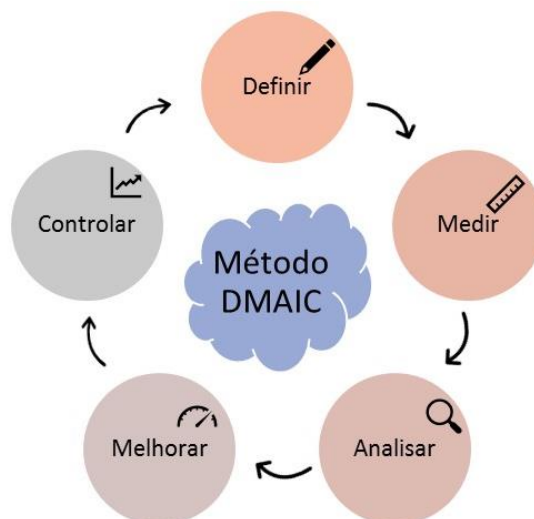


Figura 7. Método DMAIC

Definir: Corresponde à etapa inicial de análise de um determinado problema. Nesta primeira etapa, define-se o propósito do projeto e são delineadas as metas a atingir em nível sigma, tendo em consideração os requisitos do cliente e as suas limitações (Kumar, Antony, Antony, & Madu, 2007). Acresce ainda a clarificação do papel de cada membro, estimada a duração e os recursos necessários para o projeto, bem como, o retorno financeiro espectável, garantindo-se, desta forma, o comprometimento de toda a equipa (Antony, Kumar, & Tiwari, 2005).

Medir: Etapa em que é validado o problema, seguindo-se de uma profunda recolha de dados, de forma a determinar o estado atual e identificar áreas problemáticas de foco (Kumar *et al.*, 2007; Vats & Sujata, 2015).

Analisar: Nesta etapa, é realizada uma reflexão sobre as potenciais causas para o problema verificado, procedendo-se à análise das relações entre estas e à posterior confirmação da causa-raiz (Sadraoui & Ghorbel, 2011).

Melhorar: Perante a clara identificação da causa-raiz que dá origem ao problema em questão, a equipa gera, testa e implementa soluções que incidam sobre a mesma (Barbosa *et al.*, 2014). Na impossibilidade de eliminar todos os problemas, o foco passa por conter o mais possível, a manifestação da causa-raiz relacionada (Suthar & Sindha, 2017).

Controlar: Trata-se da última etapa do método DMAIC. Nesta etapa, institucionalizam-se novas práticas e procedimentos para sustentar a melhoria obtida, através da atualização do plano de controlo, e ocorre, ainda, a monitorização das mudanças efetuadas de forma a assegurar que o problema não volta a ocorrer e que os níveis de desempenho se mantêm de acordo com o desejável (Abdolshah & Yusuff, 2009; Harry & Schroeder, 2000).

2.3.3 Equipa

A gestão de projetos Seis Sigma numa organização deve ser realizada por profissionais, cujo papel varia consoante o seu grau de reconhecimento na área (Laux, Johnson, & Cada, 2015; Pyzdek, 2003). A hierarquia destes profissionais no interior de uma organização é conhecida como “hierarquia dos cinturões” e assenta em 4 níveis hierárquicos (Antony & Banuelas, 2002a; Antony & Karaminas, 2016; Linderman *et al.*, 2003; Pyzdek, 2003):

- Cinturões Verdes (*Green Belts*): Elementos da equipa Seis Sigma dedicados a meio termo e a apenas a um projeto de cada vez, nos quais desenvolvem tarefas operacionais e fornecem funções de assistência aos *Black Belts*;
- Cinturões Negros (*Black Belts*): Desempenham tarefas e coordenam o desenvolvimento dos trabalhos em tempo integral com uma compreensão sólida da metodologia, ferramentas e técnicas, que geralmente adquirem em formações intensivas de quatro semanas;
- Cinturões Negros Mestre (*Master Black Belt*): São especialistas técnicos de elevada competência no seu campo de atuação. Dedicam-se a tempo inteiro à gestão da qualidade e ao desenvolvimento das principais métricas e estratégias, atuando internamente como consultores e formadores dos *Black Belts* e *Green Belts*;
- Campeão (*Champion*): Corresponde ao nível hierárquico mais elevado. São responsáveis pela tradução da visão, missão, metas e métricas da organização com o intuito de identificar projetos-chave e criar um plano de implementação organizacional. Agilizam o processo de implementação de projetos Seis Sigma no seio da organização pela identificação dos recursos necessários e remoção de obstáculos;
- Patrocinador (*Sponsor*): Gestores da organização. Estes são responsáveis pela liderança, orientação e incentivo pelo uso do Seis Sigma na organização, estabelecendo um foco estratégico para cada projeto de acordo com o contexto, cultura e visão da mesma.

2.3.4 Seleção de Projetos

O Seis Sigma implementa-se através de projetos que numa fase inicial e não somente, devem ser selecionados de forma criteriosa sob pena de se obter grande probabilidade de sucesso e ou retorno, fator importantíssimo para a aceitação a longo prazo, de projetos deste tipo por parte de qualquer organização (Kumar *et al.*, 2009). De forma sucinta, um projeto pode ser definido como

um conjunto de atividades a executar, com datas, investimentos e medidas de *performance* estipulados para alcançar objetivos previamente estabelecidos (Kumar *et al.*, 2009).

Segundo Antony & Fergusson (2004), a seleção de projetos deve ter em consideração três vozes importantes: i) a voz do processo; ii) a voz do cliente, e a; iii) a voz dos objetivos estratégicos do negócio.

Os projetos envolvem tempo, recursos, custos e interferem nas rotinas normais de trabalho. Por estes motivos, torna-se imperativo o foco nos objetivos estratégicos de qualquer negócio (Kumar *et al.*, 2009).

2.3.5 Fatores críticos de sucesso dos Projetos Seis Sigma

Os fatores críticos de sucesso são os fatores que são essenciais para o sucesso do Seis Sigma em qualquer organização, ou seja, se os objetivos associados a esses fatores não forem alcançados, o projeto irá fracassar (Kumar *et al.*, 2009).

O reconhecimento de tais fatores, por parte das organizações, irá desencadear a sua consideração no desenvolvimento do plano de implementação, garantindo desta forma o sucesso do projeto (Antony & Banuelas, 2002c).

Antony & Banuelas (2002c), Antony & Fergusson (2004) e Goldstein (2001), identificaram fatores críticos de sucesso na implementação dos projetos Seis Sigma, sendo estes:

- Comprometimento e envolvimento da gestão;
- Compreensão das possíveis abordagens, técnicas e ferramentas da metodologia Seis Sigma;
- Vinculação do Seis Sigma à estratégia da organização, bem como, ao cliente;
- Adequada seleção e acompanhamento de projetos;
- Mudança cultural;
- Alinhamento do projeto com os fornecedores;
- Aptidão para gestão de projetos;
- Formação adequada dos membros da equipa.

2.4 Seis Sigma na Indústria Automóvel

O setor automóvel é uma das áreas em que têm sido desenvolvidos esforços para aplicação do Seis Sigma, por se tratar de um mercado altamente competitivo em que são exigidos elevados padrões de qualidade e segurança (Habidin & Yusof, 2013). A redução de defeitos e custos

associados, redução da variabilidade de processos e melhorias nos níveis de qualidade que o Seis Sigma possibilita, refletem o poder desta iniciativa não só para encarar os desafios atuais e futuros do setor automóvel como também na procura pela excelência organizacional (Kumar, Antony, Singh, Tiwari, & Perry, 2006; Spector, 2006).

Em 2007, Kumar *et al.*, (2007) aplicaram a abordagem DMAIC da metodologia Seis Sigma numa indústria de manufatura para o ramo automóvel com o intuito de identificar e controlar os parâmetros que causam defeitos no processo de fundição. No estudo aplicaram ferramentas e técnicas da abordagem DMAIC tais como: i) diagrama de Pareto; ii) Análise do Sistema de Medição (*Measurement System Analysis – MSA*), reprodutividade e repetibilidade (*Gauge R&R*); iii) Diagrama de Causa e Efeito; iv) Matriz de Causa e Efeito; v) Análise de Regressão; e vi) Planeamento de Experiências (*Design of Experiments – DoE*); vii) Cartas de controlo. Os resultados do estudo demonstraram a eficácia da aplicação da metodologia Seis Sigma, que permitiu aumentar a capacidade do processo de 0,49 para 1,28 e reduzir os Defeitos Por Unidade (DPU) de 0,194 DPU para 0,029 DPU, através da redução da variabilidade da porosidade da sílica utilizada no processo de fundição. A melhoria do desempenho do processo traduziu-se na redução dos custos da qualidade do processo de fundição, traduzindo-se numa poupança para a empresa após um ano de conclusão do projeto de cerca de 213.728€, excedendo os 94.350€ estimados no decorrer no projeto.

Ainda mais recentemente, Kaushik, Khanduja, Mittal, & Jaglan (2012), aplicaram a mesma abordagem numa Pequena e Média Empresa (PME) de produção de componentes para veículos na Índia, com o intuito de reduzir a rejeição de um componente designado por bucha. Esta redução tornou-se possível por obra da aplicação de diversas técnicas e ferramentas da abordagem DMAIC tais como: i) diagrama SIPOC; ii) MSA, reprodutividade e repetibilidade (*Gauge R&R*); iii) estudo de capacidade do processo; iv) diagrama de Causa e Efeito; v) *two sample t-test*; vi) DoE; vii) Cartas de controlo. Este estudo permitiu reduzir os defeitos em 80.213 PPM elevando o nível sigma do processo de $1,40\sigma$ para $5,46\sigma$ através da redução da variabilidade do diâmetro da bucha obtido pelo processo de fabrico. A melhoria do desempenho do processo traduziu-se numa poupança monetária de 5.859€ por ano e permitiu comprovar que o Seis Sigma pode ser aplicado com sucesso em PMEs.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo da dissertação é descrita a empresa Bosch Car Multimédia Portugal S.A., sediada em Braga, onde se desenvolveu o presente trabalho.

3.1 História do Grupo Bosch

O grupo Bosch surgiu em Estugarda, no ano de 1886, momento em que Robert Bosch (1861-1942), com apenas 25 anos, inaugurou uma oficina de precisão mecânica e engenharia elétrica. Foi através da invenção bem-sucedida de um dispositivo de ignição magnética de baixa tensão para motores de combustão interna, designado por magneto, que a Bosch se tornou comercialmente conhecida. O magneto serviu como fonte de inspiração para o seu logotipo associando a empresa, desde então, à indústria automóvel (Figura 8).



Figura 8. Logotipo Bosch (Bosch, 2015)

O Grupo encontra-se sediado em Schillerhöhe (Estugarda), sendo considerado atualmente, como uma das maiores empresas da Alemanha. A expansão do Grupo tem sido notável, com presença em cerca de 140 países, perfaz um total de 292 empresas e 280 000 colaboradores por todo o mundo.

Embora atualmente o Grupo Bosch seja o principal fornecedor da indústria automóvel, devido à constante procura de soluções que permitam proporcionar uma condução segura e agradável, o setor automóvel apenas representa 60% do total das suas vendas. Os restantes 40%, provêm das áreas de negócio de tecnologia industrial, tecnologia de energia e construção e bens de consumo, setores nos quais a empresa também atua.

3.2 Missão e Visão

O Grupo Bosch, enquanto empresa líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços, tem como propósito o desenvolvimento de tecnologia para a vida, isto é, o desenvolvimento de produtos que entusiasmem, melhorem a qualidade de vida das pessoas e ajudem a conservar os recursos naturais. A afirmação da missão “Somos Bosch” fornece a base para a estratégia de funcionamento das unidades ao transmitir a forma como a empresa se vê a si própria e obter o comprometimento de todos para com a organização.

Diariamente a Bosch trabalha para alcançar o sucesso económico sustentado e liderar os mercados onde intervém, sem jamais colocar em causa os valores sociais e ambientais que suportam a sua visão.

3.2.1 Bosch Business System

O Bosch Business System (BBS) é a resposta da Bosch para suprir a necessidade de sistematização que permita implementar com sucesso a sua visão e dinamize a melhoria contínua em todas as organizações (Figura 9).

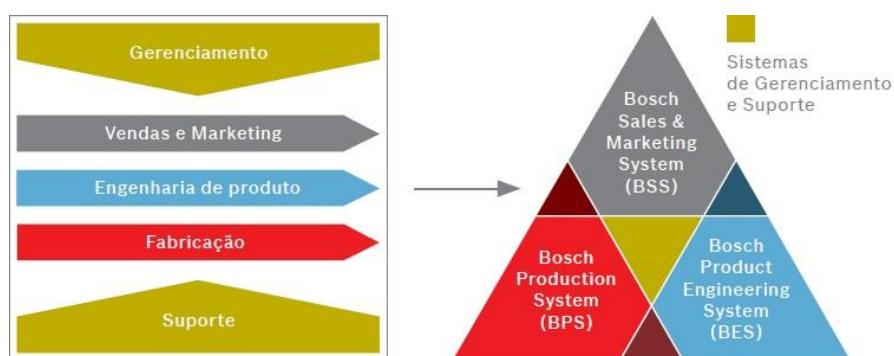


Figura 9. Bosch Business System (Bosch, 2012a)

Em 2002, surgiu o Bosch Production System (BPS), representado na Figura 9. O BPS trata-se do Sistema de Produção da Bosch, que procura o desenvolvimento contínuo e global dos processos de produção e logística com a finalidade de alcançar processos padronizados, sem desperdícios, livres de problemas e capazes de reduzir a carga do colaborador (Bosch, 2005). Tal é atingível através da utilização de oito princípios que são a base do sistema: i) Sistema puxado; ii) Orientação para o processo; iii) Qualidade perfeita; iv) Flexibilidade; v) Padronização; vi) Eliminação dos desperdícios e melhoria contínua; vii) Processo transparente; viii) Envolvimento e responsabilização dos colaboradores.

3.2.2 Princípios da Qualidade

A qualidade dos produtos e serviços Bosch é assegurada através de um conjunto de medidas que visam a produção sem defeitos no cliente (Figura 10) e do cumprimento de um conjunto de 6 princípios de qualidade:

- Satisfação das expectativas dos clientes através da qualidade dos produtos e serviços;
- A qualidade e a sua melhoria contínua são da responsabilidade de todos;
- As diretivas, processos, sistemas e objetivos são baseados em requisitos de normas internacionais, expectativas do cliente, experiência e conhecimento;

- Qualidade significa fazer bem desde o início e “à primeira”, prevenindo desta forma a ocorrência de defeitos no final;
- Evitar falhas é mais importante do que eliminar defeitos;
- Os fornecedores assumem um papel fundamental na obtenção de qualidade nos produtos e serviços.

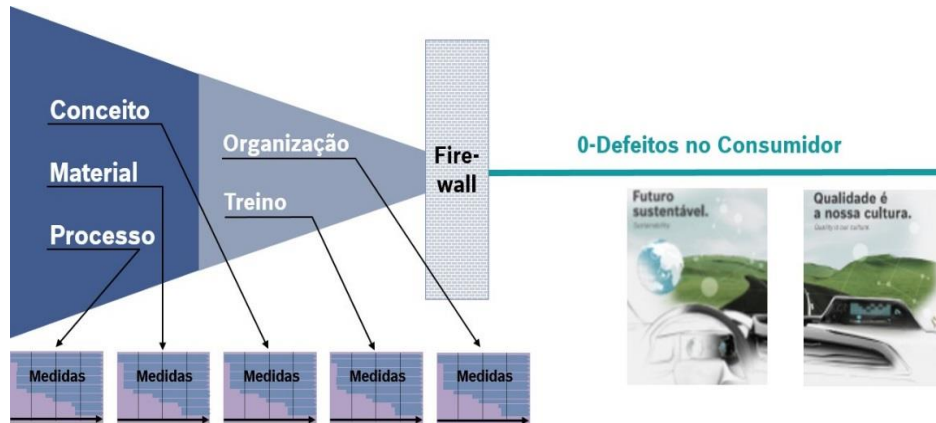


Figura 10. Planejamento da qualidade (Bosch, 2009)

3.3 Valores

Segundo a Bosch os valores da empresa são os pilares sobre os quais os sucessos do passado foram construídos (Bosch, 2012a). Estes valores, representados na Figura 11, transmitem os aspectos com os quais a empresa se compromete e procuram orientar a gestão para o que é verdadeiramente importante.



Figura 11. Valores Bosch (Bosch, 2012a)

3.4 Grupo Bosch em Portugal

Em Portugal, o grupo Bosch possui 5 unidades de produção e comercialização de vários ramos de atividade (Figura 12):

- A Bosch Car Multimédia Portugal S.A., localizada em Braga, que se dedica à produção de soluções inteligentes integradas para entretenimento, navegação, telemática e funções de ajuda à condução para a maioria das marcas de automóveis;
- A Bosch Security Systems - Sistemas de Segurança S.A., situada em Ovar, voltada para a produção de câmaras de vídeo, monitores, gravadores digitais e acessórios para sistemas de segurança;
- A Bosch Termotecnologia S.A., localizada em Aveiro, focada na produção de sistemas de aquecimento de água, gás e solares, tais como esquentadores, caldeiras e sistemas solares térmicos;
- A Robert Bosch Travões Unipessoal, Lda, situada em Abrantes, dedica-se, tal como o nome indica, à produção de sistemas de travagem para automóveis;
- A Robert Bosch Unipessoal, Lda, em Lisboa, é responsável pela comercialização e assistência técnica de vários produtos Bosch, tais como acessórios para automóveis (escovas, baterias, velas e equipamento oficial) e ferramentas elétricas para uso profissional, possuindo ainda um serviço de apoio na área de recursos humanos exclusivo a empresas do grupo presentes em Portugal, Espanha, França e Itália (Bosch, 2010).

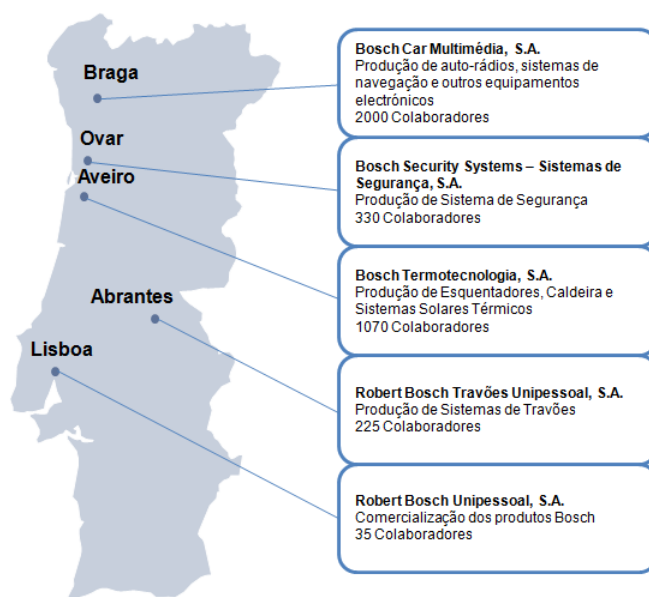


Figura 12. Unidades de Negócio do Grupo Bosch, em Portugal (Bosch, 2010)

3.5 Bosch Car Multimédia Portugal, S.A.

A divisão Car Multimédia (CM) oferece soluções inovadoras para a integração de funções de entretenimento, navegação, telemática e assistência à condução sob a princípio “Driving Convenience”, de forma a tornar a condução mais agradável, segura, ecológica e económica (Bosch, 2017).

A divisão CM encontra-se presente em Portugal desde 1990, através de uma unidade em Braga denominada de Bosch Car Multimédia Portugal S.A. (Figura 13), que atualmente emprega cerca de 3000 pessoas. A Bosch Braga corresponde ao maior empregador privado da região, um dos maiores exportadores nacionais e à maior fábrica do Grupo Bosch no país e da divisão CM do Grupo (Bosch, 2017).

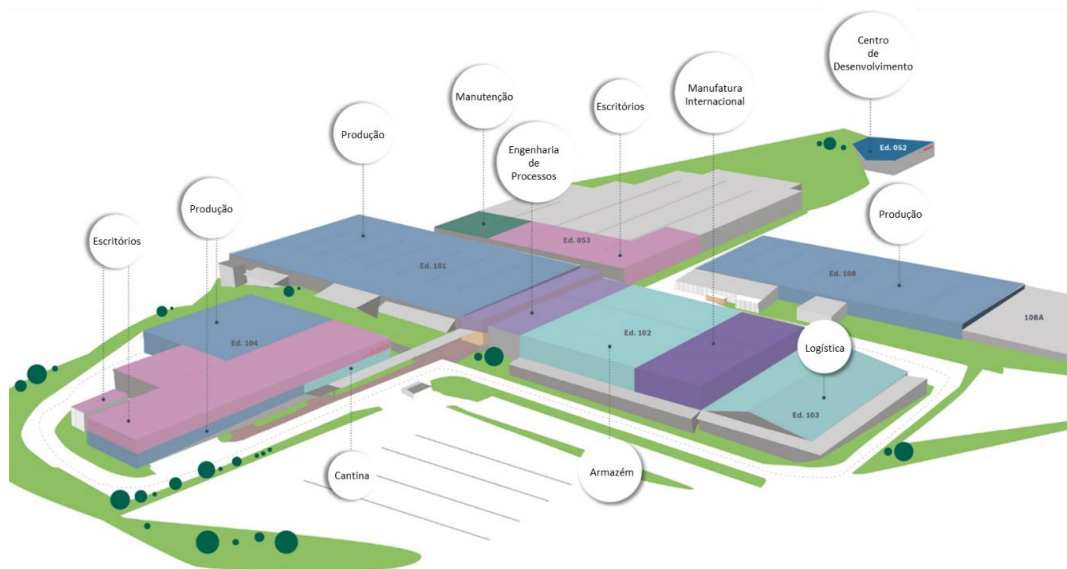


Figura 13. Instalações da Bosch Car Multimédia em Braga (Bosch, 2017)

3.5.1 Departamentos e Secções

A Bosch Car Multimédia Portugal S.A. apresenta duas áreas: a área comercial (Figura 14) e a área técnica (Figura 15), sendo que cada uma é dirigida por um responsável.

A área comercial, divide-se em sete departamentos: o Serviço pós-venda e produção de aparelhos de substituição e reparações, os Serviços Informáticos Locais, a Contabilidade financeira, a Logística, os Recursos Humanos, as Compras e as Compras Avançadas (Bosch, 2016).



Figura 14. Área Comercial (Bosch, 2016)

A área técnica é também constituída por sete departamentos: o Desenvolvimento, a Saúde, Segurança e Ambiente, o Processo SMT (Surface Mount Technology), a Montagem Final, a Gestão de Qualidade de Compras, a Gestão da Qualidade e Métodos e o Funções Técnicas (Bosch, 2016).

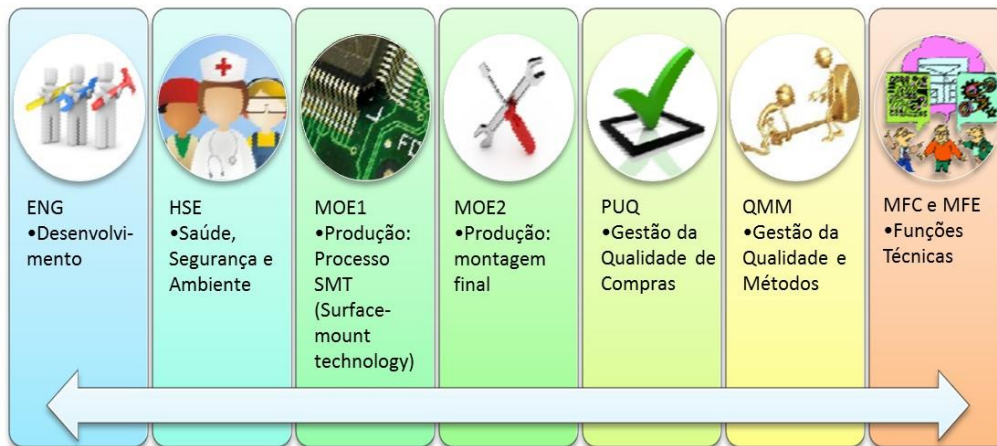


Figura 15. Área Técnica (Bosch, 2016)

3.5.2 Departamento de Engenharia de Industrialização

O Departamento de Engenharia de Industrialização (MFE), no qual surge o projeto de investigação, tem como função industrializar o produto, o que implica conceber, planear, desenvolver, instalar e assegurar o correto funcionamento das linhas de produção na montagem final até ao fim de vida do produto.

A estrutura organizacional MFE está desenhada à medida desta missão, dividida em três departamentos: MFE1, MFE2 e MFE3. À equipa de MFE2, equipa a que pertence o autor da dissertação, compete o desenho, a configuração e instalação das linhas de produção.

3.5.3 Produtos

A unidade da Bosch em Braga é especializada na produção e inovação de produtos eletrónicos, principalmente sistemas de navegação e info-entretenimento, sistemas de instrumentação e sistemas profissionais para a indústria automóvel.

O CC dedica-se exclusivamente à produção de sensores ESP. Se um automóvel possuir ESP, possui dois sistemas de segurança ativa adicionais: o ABS (sistema anti bloqueio de frenagem) e o TCS (sistema de controlo de tração) (Bosch, 2012b). O sensor ESP integra o eixo do volante do automóvel (Figura 16) e reage sempre que o mesmo se movimentar em direção diferente aos movimentos aplicados pelo condutor ao volante. Este sensor aciona o sistema de frenagem para direcionar o veículo de volta à estrada (Bosch, 2012c).

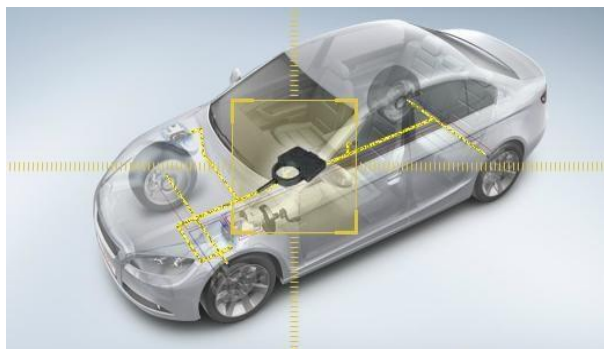


Figura 16. Localização do sensor ESP nos automóveis (Bosch, 2012c)

Dependendo do tipo de sensor produzido, os componentes podem variar. No entanto a maioria dos sensores ESP são constituídos por: PCB, *gears*, *hub*, *housing*, *cover*, *magnet* e *connector pins* (Figura 17).

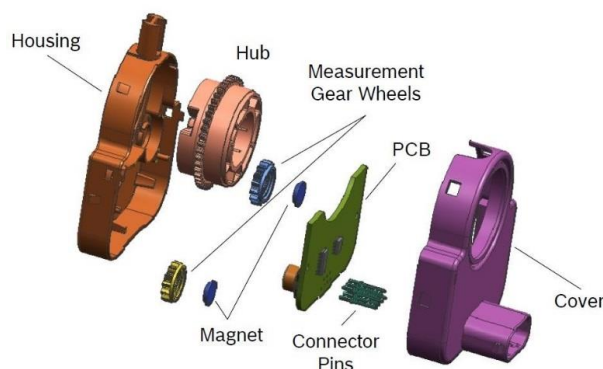


Figura 17. Componentes de um sensor ESP (Bosch, 2012c)

Ultimamente, esta unidade, tem conseguido diversificar a sua panóplia de produtos, tanto da indústria automóvel, como da área de eletrodomésticos e da segurança automóvel (Figura 18)(Bosch, 2017).



Figura 18. Produtos da Bosch Car Multimédia Portugal S.A. (Bosch, 2016)

3.5.4 Principais clientes

Sendo a Bosch Car Multimédia Portugal, S.A. uma empresa especializada na montagem de autorrádios e de sistemas de navegação, a indústria automóvel é o seu maior mercado, sendo os seus principais clientes a BMW, a Audi, a PSA, e a Volkswagen. Além destes a Bosch Car Multimédia fornece ainda produtos para outros clientes da indústria automóvel e de outras indústrias, como se pode verificar na Figura 19 (Bosch, 2016).



Figura 19. Principais clientes da Bosch Car Multimédia S.A. (Bosch, 2016)

4. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é exposta na primeira secção uma breve descrição do processo de inserção de pinos, de modo a clarificar a sua funcionalidade, sendo apresentado, na secção seguinte, o projeto “*Six Sigma Force Reduction*” que foi selecionado com vista à redução dos custos inerentes à rejeição do processo.

4.1 Processo de Inserção de Pinos

De forma simplificada, o processo de inserção de pinos não é mais do que uma forma de garantir uma conexão elétrica à PCB. A Figura 20 corresponde ao fluxograma de uma linha de montagem para o processo de inserção de pinos com a fotografia das respetivas estações, tornando intuitiva a explicação do fluxo produtivo.

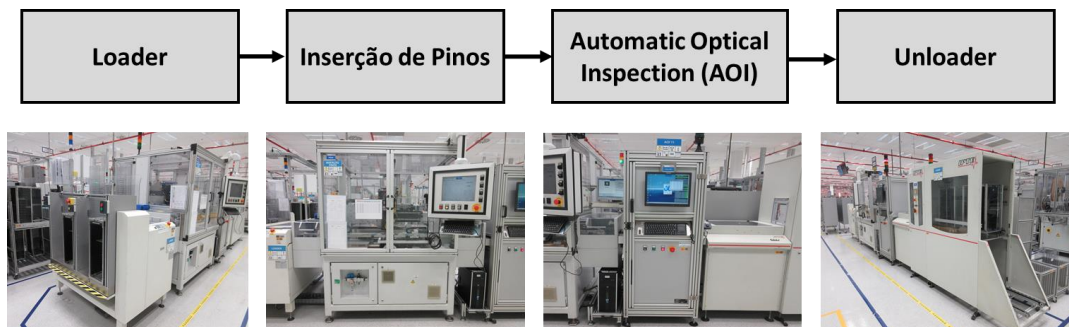


Figura 20. Fluxograma de uma linha de montagem para o processo de inserção de pinos

O fluxo deste tipo de processo inicia-se com o abastecimento do alimentador de PCBs, máquina habitualmente chamada *loader*, com placas provenientes da área de Inserção Automática (*Surface Mounted Device - SMD*). O abastecimento das placas ou *nutzens*, é realizado através de contentores específicos para o efeito, internamente conhecidos por *containers*. Após a colocação do *container* no *loader*, as *nutzens* dirigem-se, através de um transportador, para o processo de inserção de pinos propriamente dito. É nesta etapa que, na máquina de inserção de pinos, se inserem os pinos nas PCBs de acordo com o programa de inserção previamente executado e é medida a força de inserção através de uma célula de carga presente na máquina. De seguida, procede-se à inspeção dessa mesma inserção, utilizando um *Automatic Optical Inspection (AOI)*, que verifica a presença de todos os pinos, e se o seu desvio ou inclinação em X e Y está conforme à especificação. As inspeções no AOI são realizadas em tempo real através da digitalização de imagens e a sua falsa rejeição é relativamente elevada. Dado que o SPI consiste num processo sem reparação, exige um operador para confirmar a decisão a tomar perante a inspeção realizada, existindo sempre duas opções:

1. Confirmar o defeito que a máquina detetou, concordando com ela, e enviar a placa para refugo;
2. Discordar da decisão da máquina, assumindo que a placa não tem defeito.

A opção número 2 corresponde a um erro considerado de tipo 1 (Risco α). O erro de tipo 2 (Risco β) embora exista neste processo tal como em todos os outros, não é aqui identificado, na medida em que o operador não verifica as placas que a máquina decidiu como sendo boas. Isto significa que, se máquina não detetar algum defeito, o operador não terá qualquer influência sobre a mesma.

Por último, e após a inspeção no AOI, as *nutzens* dirigem-se para o *unloader* que as coloca de novo e automaticamente em *containers*. Tal como representado na Figura 21, os produtos podem seguir dois trajetos distintos dependendo da forma como as PCBs chegam à fábrica. Se as PCBs chegam à fábrica já programadas, tomam o percurso 2, seguindo após o AOI para o *pré-tester* onde são realizados testes aos circuitos elétricos e *laker* para aplicação de uma camada protetora contra a corrosão nos circuitos integrados.

Caso contrário, se as PCBs necessitarem de programação interna, tomam o percurso 1, seguindo após o AOI para o posto *ICT (In Test Circuit)* e *DWL (Downloader)* onde se realizam testes elétricos e descarregamento de programas, respetivamente. Após estes postos e dependendo mais uma vez do produto, as PCBs podem ou não ter que passar pelo processo de *coating*, sendo finalmente transportadas para a montagem final onde se procede ao corte das *nutzens*, dando origem ao formato final das PCBs.

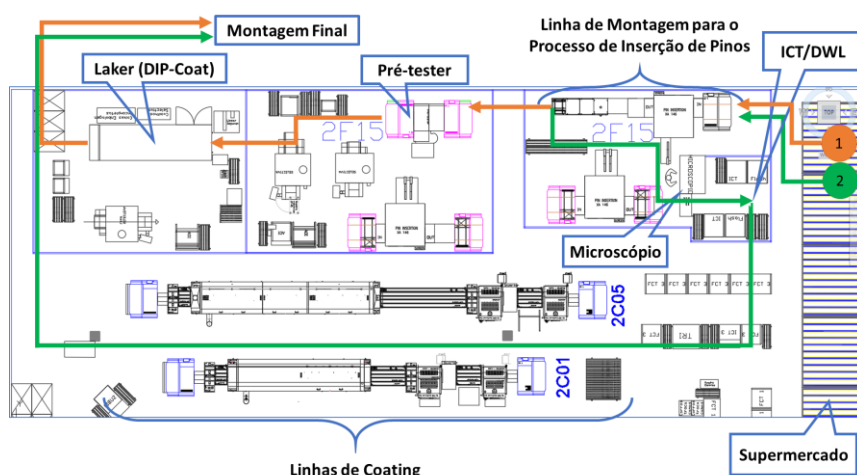


Figura 21. Fluxo produtivo dos sensores LWS

² *Coating* é um polímero que se aplica sobre os componentes eletrónicos das PCBs que é resistente a diversos tipos de solventes, garantindo a sua proteção contra uma ampla variedade de contaminantes.

De salientar ainda que, antes de se iniciar a produção propriamente dita, realiza-se uma validação no microscópio (Figura 22). A validação no microscópio corresponde à avaliação, conforme a especificação, da altura e inclinação dos pinos, que é efetuada a cada: i) arranque de produção; ii) mudança de turno; iii) troca de rolo de pinos; iv) intervenção na máquina.



Figura 22. Microscópio utilizado na validação

Tal como referido anteriormente, após o SPI existe um AOI que permite controlar a 100% a presença e inclinação dos pinos. Mas uma vez que não se trata de um mecanismo de controlo de alta precisão, apresenta falsa rejeição. No entanto, não será esta a temática de foco do trabalho apresentado.

Para uma compreensão mais clara do SPI, segue uma explicação mais detalhada, mesmo assim sem entrar em demasiados pormenores, dos elementos mais importantes de todo o processo. Tal como referido anteriormente, o transportador desloca a *nutzen* para a máquina de inserção de pinos, sendo realizada à entrada a medição da sua espessura numa zona própria para o efeito. De seguida, a *nutzen* é transportada para o local de inserção onde permanece fixa através dos pinos de indexação presentes na mesa de trabalho (*index pin*) (Figura 23).

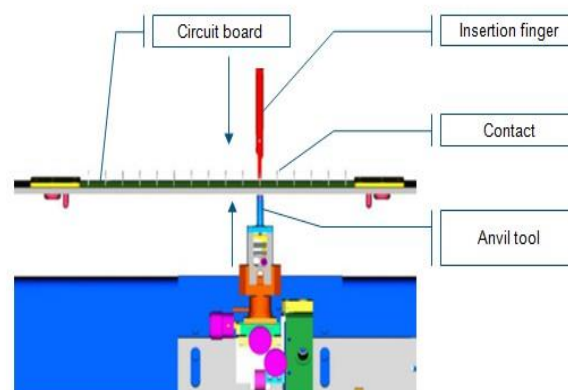


Figura 23. Esquema da inserção de pinos

Após a sua fixação, é acionado todo o sistema mecânico responsável pela alimentação de pinos, corte e inserção nas PCBs. Durante a inserção dos pinos é medida a força de inserção através de uma célula de carga presente no *Anvil*³ (Figura 23).

A máquina de inserção de pinos processa a PCB, inserindo pinos em quantidade e posicionamento pré-programado, com uma altura previamente definida através de um perno existente no *Insertion finger*, representado na Figura 24.

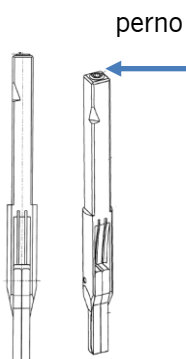


Figura 24. Representação do *Insertion finger*

O processo de inserção de pinos fornece uma conexão elétrica, sem solda, entre os pinos inseridos e o furo de inserção da PCB. É através da zona de contacto do pino (*press-fit zone*) com o cobre da furação (*Plated Through Hole - PTH*) que é garantida a conexão elétrica (Figura 25).

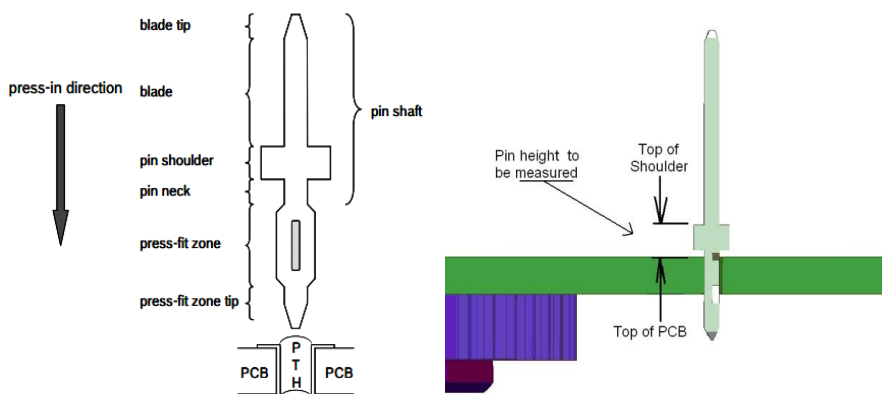


Figura 25. Inserção de um pino

Para não se danificar o PTH durante a inserção de pinos, os mesmos devem ser inseridos o mais alinhado possível com o eixo dos furos, isto é, pouco inclinados e toda a sua geometria (bordas, cantos ou pontas de estampagem) que fica em contacto com o PTH durante ou após a inserção devem ser arredondados (sem pontas afiadas ou rugosidade de superfície). Deve ainda existir uma

³ *Anvil* é o nome dado ao componente da máquina responsável por apoiar a PCB quando um pino é inserido. O seu alinhamento com o centro dos furos deve ser assegurado.

transição suave entre a *press-fit zone tip* e o *pin shaft*. Na Figura 26 encontram-se representadas as cotas utilizadas na Equação 4 para o cálculo da inclinação dos pinos.

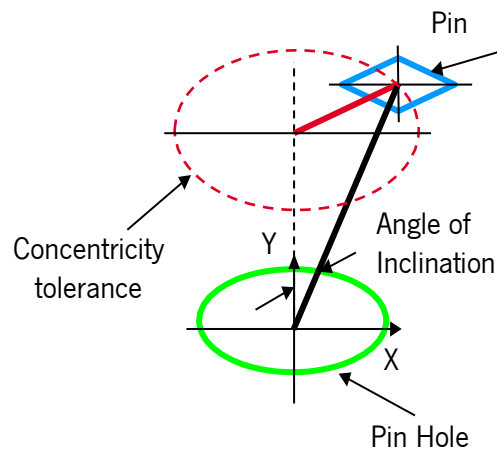


Figura 26. Representação de um pino inclinado

$$True\ Position = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \times 2$$

Equação 4. Cálculo da inclinação de um pino

Em que:

Δx – Diferença entre o valor teórico de x e o valor atual;

Δy – Diferença entre o valor teórico de y e o valor atual.

Os parâmetros de processo, frequência de medição, modo de medição e registo encontram-se descritos na Tabela 1.

De acordo com a Tabela 1, pode-se observar que os parâmetros de processo que são medidos mais frequentemente são a força de inserção, altura, concentricidade e o ombro dos pinos. A força de extração do pino é um parâmetro que deve ser garantido em fase de amostragem e também em fase de produção em série, embora com menor frequência, comparativamente aos parâmetros referidos anteriormente. A avaliação da deformação da placa é realizada, apenas, na última fase de amostragem e após uma intervenção relevante na máquina.

Tabela 1. Parâmetros do processo

Parâmetros de processo	Frequência de medição	Controlo	Suporte
<i>Pin insertion force</i>	Por pino inserido	Feito automaticamente pelo equipamento (100%)	Guardado na base de dados da máquina
<i>Pin pull out force</i>	Produção de amostras (C, D) e <i>Start Of Production (SOP)</i> ; <ul style="list-style-type: none"> • C – 20 pinos • D – 20 pinos • SOP – 10 pinos/produto (mensalmente) 	Equipamento de medição de força de extração (Zwick Roell Z010)	Relatório
<i>Pin Height</i>	Produção de amostras (C, D, SOP); Após intervenção na máquina; Mudança de produção; Mudança de rolo;	Microscópio (2 pinos por PCB no momento da validação)	Relatório
<i>Pin Concentricity</i>	Produção de amostras (C, D, SOP); Após intervenção na máquina; Mudança de produção; Mudança de rolo;	Microscópio (2 pinos por PCB no momento da validação) AOI	Relatório
<i>Pin Shoulder</i>	Após intervenção na máquina; Mudança de rolo;	Microscópio	Apenas necessária inspeção visual
<i>PCB Strain</i>	Produção de amostras D; Após intervenção relevante na máquina;	Extensómetro	Relatório
<i>PCB Thickness Measurement</i>	Por placa introduzida no processo	Feito automaticamente pelo equipamento (100%)	Não ficam guardados os registos

4.2 Projeto – “Six Sigma Insertion Force Reduction”

Este projeto utiliza a abordagem DMAIC, aplicando muitas das ferramentas que o Seis Sigma proporciona. Cada uma das fases é dissecada de forma a facilitar a compreensão e inerentes vantagens da utilização do Seis Sigma na melhoria do processo de inserção de pinos.

4.2.1 Definir

O presente projeto foi selecionado pelo departamento responsável pelos subprocessos de inserção automática (MOE1), a pedido do responsável da secção de MOE10 - Ricardo Cardoso e do responsável de Qualidade de Produção – Feliciano Vaz, devido aos elevados custos inerentes à

rejeição do processo, nomeadamente no que diz respeito aos longos tempos de paragem de linha e incumprimento do abastecimento das linhas de montagem final. Na Figura 27 é apresentado o *Project Charter*.

A equipa do projeto, conforme representado no *Project Charter*, é composta por:

- O Líder da equipa: João Costa (autor);
- Um Black Belt do departamento de engenharia: Pedro Delgado;
- O dono do processo: Nuno Leal;
- O especialista de fábrica do processo: José Brito;
- O especialista de manutenção do processo: Gabriel Barbosa;
- Dois responsáveis pela qualidade de produção: Feliciano Vaz e Bárbara Fernandes;
- Patrocinador: Responsável da secção de MOE10.

No decorrer do projeto, foram ainda envolvidos dois engenheiros de qualidade de fornecimento, Carlos Nogueira e Alexandra Ribeiro, responsáveis pela qualidade das PCBs e pinos, respetivamente.

Após a seleção da equipa de projeto foram desenvolvidos os seguintes passos:

- Oficialização do projeto Seis Sigma, onde se definiu o nome do projeto, estabeleceu o período temporal de dados a analisar e o cronograma dos trabalhos a realizar. O presente projeto foi intitulado, em concordância com toda a equipa, de “*Six Sigma Insertion Force Reduction*”, cujo período temporal de dados a analisar será de oito meses, entre 01 de setembro de 2017 a 30 de abril de 2018;
Ficou acordado entre os presentes que o projeto iria decorrer entre 01 de novembro de 2017 e 31 de agosto de 2018. A data de término do projeto está sujeita a alteração, dependendo da fase de implementação das possíveis melhorias a surgir;
- Formalização do problema em estudo, bem como as consequências resultantes da sua manifestação. Ainda neste ponto, foram expostas as expectativas do projeto, sobretudo, no que diz respeito aos benefícios para a empresa;
- Definição das métricas do projeto;
- Cálculo do nível sigma do processo.

Project Charter															
Nome do Projeto:		"Six Sigma Insertion Force Reduction"													
Válido para:	CC	IS	PS	BrgP	BrgP EMS	PgP1	PgP1 EMS	RBAC	RBAC SEM	BCMW	BCMW EMS	MFI HI	RBHH	Outro	
	X			X											
Dados chave do projeto: <i>(Descrição do projeto; requisitos chave; principais suposições / restrições / riscos; requisitos legais [se aplicável]; nome do produto ou linha que irá beneficiar com o projeto)</i>		O principal objectivo deste projecto passa pela redução de custos inerentes à rejeição no processo de inserção de pinos. Por se tratar de um processo <i>repair free</i> , cada vez que um pino é inserido com valores de força fora dos limites de especificação numa placa de circuito impresso, essa placa é considerada refugo, não havendo qualquer tipo de retrabalho a efetuar nas mesmas. Além disso, é de salientar que para além dos elevados custos de refugo devido à não confirmidade do produto existem outros custos associados, tais como: i) o custo de paragem de produção - que se traduz em perdas de capacidade produtiva e possíveis atrasos de entregas; e ii) custos de intervenção - uma vez que requer a intervenção sistemática por parte da manutenção ou especialista de processo para averiguar se a causa dos valores de força excessiva são devidos ao próprio processo ou à matéria-prima.													
Tipo de Projeto:		Nova tecnologia	Nova máquina	Melhoria processo	Novo software							X			
Crítérios de aceitação do projeto: <i>(Incluir descrição das metas a serem atingidas)</i>		Avaliar o impacto da matéria prima e das variáveis do processo de inserção de pinos, por forma a existir uma melhor compreensão, definição e manutenção das mesmas. Pretende-se também atingir um processo mais estável e reproduzível com resultados transversais às outras máquinas e produtos. O impacto da rejeição, que advém de sucatar PCBs com defeitos, teve um prejuízo acumulado na ordem dos 88946€ entre 1 de setembro de 2015 e 30 de abril de 2018 resultante de 3231 ppm de pinos inseridos com excesso de força. O target da equipa após a finalização deste projeto é a redução dos ppm em 50%, ou seja, para um valor de 1616 ppm.													
Impacto no negócio:		Custos	Qualidade	Estandardização	Outro							X	X	X	
Plano do Projeto:		Definir	Medir	Analisar	Melhorar	Controlar									
Início:		Novembro	Dezembro	Abril	Maio	Julho									
Fim:		Dezembro	Abril	Maio	Junho	Agosto									
Equipa:		Nome	Departamento	Papel	Compromisso										
		João Costa	BrgP/MFE2-SE2	Leader	Alto										
		Pedro Delgado	BrgP/ENG-P1	Black Belt	Médio										
		Nuno Leal	CM/MFT3-CC	Equipa do Projeto	Médio										
		José Brito	BrgP/MFE2-SE2		Médio										
		Gabriel Barbosa	BrgP/MFE-MTN11		Médio										
		Feliciano Vaz	BrgP/MOE12-QE		Médio										
		Bárbara Fernandes	BrgP/MOE12-QE		Médio										
		Ricardo Cardoso	BrgP/MOE10		Patrocinador	Baixo									

Figura 27. Project Charter

O problema identificado incide sobre o excesso de força na inserção de pinos. No âmbito da sua descrição, considera-se defeito como sendo uma força de inserção acima do limite superior de especificação, que se traduz no rompimento do cobre e perda das funções elétricas do sensor. Através da análise da Tabela 2, pode ser obtido um maior nível de detalhe acerca do problema em análise, salvaguardando-se a não existência de ambiguidades na definição e compreensão do problema.

Ainda na Tabela 2, são definidas as expectativas, em termos de melhorias efetivas no processo produtivo, após a conclusão do projeto Seis Sigma.

Visualmente o problema pode ser imediatamente compreendido quando observado um corte seccional de uma PCB realizado em laboratório, tal como o que se encontra presente na Figura 28. Trata-se, portanto, de um dos casos afetados por excesso de força no momento de inserção.

Tabela 2. Definição do projeto – visão detalhada

Definição do problema Informações básicas sobre o problema		O que é - o que não é (informação)	
Qual parte, produto, processo ou serviço está envolvido?	MOE10, Processo de Inserção de Pinos: Todos os produtos, mas existem produtos em que o problema é mais crítico	O que aconteceu?	O que não aconteceu?
Explique o(s) problema(s):		Quando é que ocorre?	Quando é que não ocorre?
Excesso de força é um problema complexo que ocorre quando a força de inserção é maior que o Limite Superior de Especificação (LSE). Pode ser causado por diversas fontes e pode causar problemas como: i) romper o cobre dos furos causando curto-circuitos no sensor, contribuindo assim para a diminuição da vida útil do produto; ii) modos de falha complexos; iii) insatisfação do cliente; iv) outras questões		Durante o processo de inserção	-
Em que momento no ciclo de vida da unidade ou transação, o problema é detectado? (Por exemplo, o problema é detectado na fonte, na inspeção final ou pelo cliente final?)		Com quem aconteceu?	Com quem não aconteceu?
Este problema é detectado na área de produção, durante o processo de inserção		Alguns clientes da Bosch BrgP CC, como Fiat, PSA, Nissan, Ferrari, Renault	Outros clientes da Bosch BrgP, como Jaguar, BMW, Seat, Audi, etc.
Qual a quantidade de unidades ou transações em que o problema ocorre?		Expectativas	
3231 DPMO		Quais são as expectativas (não soluções) da equipa?	
		Melhoria contínua do processo e produtos pelo desenvolvimento de medidas preventivas para reduzir a força de inserção; Redução de custos da qualidade	

Entre as expectativas, o grupo considerou como principal ambição da organização, o desenvolvimento de medidas preventivas, que visem a redução da ocorrência deste tipo de defeito, obtendo-se melhoria nos indicadores de qualidade e produtividade.

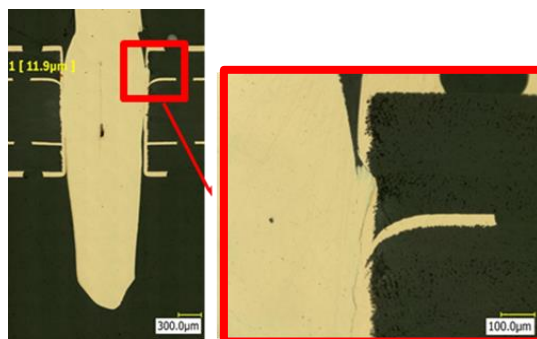


Figura 28. Pino inserido com excesso de força

4.2.1.1. Métricas do Projeto

De forma a focalizar o projeto a nível técnico, é definida a característica crítica para a satisfação do cliente em função da especificidade dos produtos analisados, representado na Tabela 3.

Tabela 3. Característica crítica para a satisfação

CTS (CTQ, CTD, CTC)	Força de inserção de acordo com os limites de especificação
CTS, Unit of Measure	<i>newton [N]</i>
CTS, Specification	60 – 180

Em que:

- Critical to satisfaction (CTS) é a característica crítica para a satisfação em termos de Qualidade (CTQ), Expedição (CTD) e Custos (CTC). Define-se como característica para a satisfação, a inexistência de valores de força de inserção fora dos limites de especificação;
- A unidade de medição da característica crítica para a satisfação é o newton [N];
- A especificação, em termos de característica crítica para a satisfação, é o Limite Superior de Especificação (LSE=180 N) e o Limite Inferior de Especificação (LIE=60 N), valores que garantem o normal funcionamento das características elétricas do sensor.

Relembre-se que o projeto incidirá apenas sobre a problemática do excesso de força, que consiste na inserção de um pino com um valor de força superior ao LSE, ou seja, 180 N. A ocorrência de defeitos por falta de força ou força baixa, até à data, é raríssima pelo que não se trata de uma prioridade de estudo.

4.2.1.2. Localização do Problema

Nesta fase foi procurada a validação do problema relativamente à sua localização, recorrendo, para tal, ao diagrama SIPOC (Figura 29). Através deste diagrama, é possível definir onde começa e acaba o projeto, assim como todas as variáveis de entrada e saída, referindo todos os intervenientes nas mesmas.

Com o contexto do projeto perfeitamente definido, identificam-se quer as entradas que podem afetar a performance da inserção de pinos, quer as saídas que se pretendem melhorar. Esta ferramenta permite focar nos fatores que provocam variação no processo.

O SIPOC elaborado não envolve apenas o Processo de Inserção de Pinos, de forma a incluir o que vem a montante e a jusante de um processo. Deste modo, considerou-se relevante incluir no diagrama toda a zona representada na Figura 21. Na Figura 21, encontra-se representado o fornecedor, ou seja, o supermercado que armazena temporariamente as placas provenientes da inserção automática para abastecer a Linha de Montagem para o Processo de inserção de pinos, bem como, os clientes *ICT/DWL, Pré-tester, Laker, Coating*.

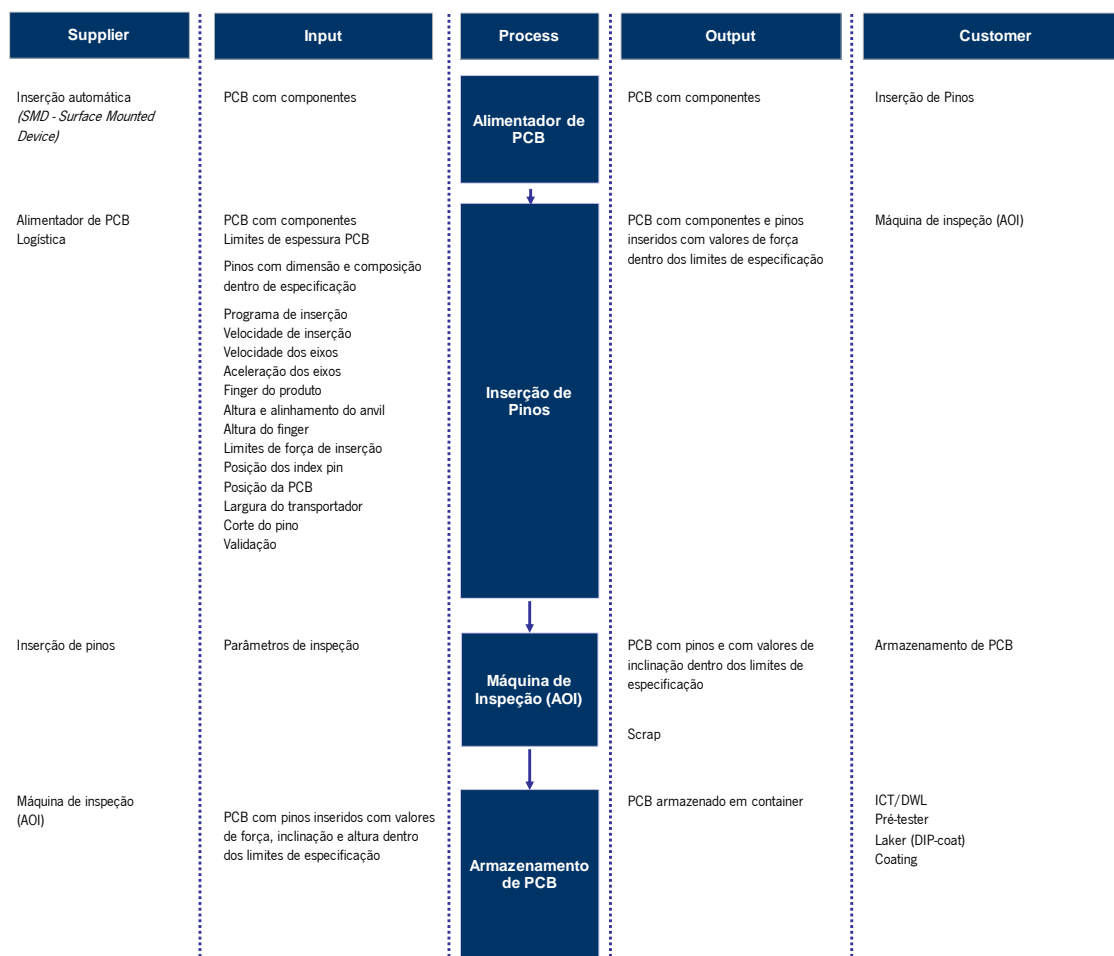


Figura 29. Diagrama SIPOC

A nível interno existe a definição de metas mínimas de redução da variação para projetos Seis Sigma:

- Se sigma atual ≤ 3 , o projeto tem o objetivo de reduzir o DPMO em pelo menos 90%;
- Se sigma atual > 3 , o projeto tem o objetivo de reduzir o DPMO em pelo menos 50%.

Se no período de controlo, após implementadas as melhorias, o novo cálculo sigma não atingir as metas estipuladas, concluir-se-á que o projeto foi considerado “fracassado” e será necessário proceder a uma reanálise do mesmo, com a finalidade de verificar em que ponto do desenvolvimento é que este foi menos bem-sucedido. O cálculo do nível sigma atual do processo encontra-se descrito na Tabela 4.

Através do cálculo do nível sigma, determinou-se que o valor atual de sigma era 4,22 sigma, valor relativo à ocorrência de 29.666 pinos inseridos com excesso de força.

Assim sendo, para que o projeto seja considerado bem-sucedido, a meta a atingir é a redução do DPMO, no mínimo, em 50%, o que se equiparará a um nível sigma de 4,44.

É importante salientar que estes cálculos incidem apenas sobre o problema de excesso de força, assim, o nível sigma real⁴ do conjunto de produtos em estudo possui um desempenho inferior ao valor de 4,22 sigma, devido à existência de outros problemas, que também afetam a sua qualidade.

Tabela 4. Cálculo do nível sigma atual

Process Sigma Calculation							
Project		Six Sigma Insertion Force Reduction					
Collect Date		From	01-09-2017	to	31-04-18		
Defects	Unit	DPU	Opport	Total Opp	DPO	DPMO	Z
29666	9181700	0,0000	1	9181700	0,0000	3231	4,22

			SIGMA GOAL		
			DPO	DPMO	ZGOAL
$Z \leq 3 \rightarrow$ DPMO Reduction by 90%					
$Z > 3 \rightarrow$ DPMO Reduction by 50%			0,0000	1616	4,44

O número de pinos inseridos com excesso de força e o total de pinos inseridos foram tidos em consideração, por se tratar da abordagem mais correta em termos de avaliação da *performance* do processo. Mesmo existindo na linha 2F15 duas máquinas de pinos, no projeto optou-se pelo foco numa só máquina, a máquina com maior rejeição, procedendo-se à recolha de dados e avaliação de *performance* da mesma.

Um outro aspeto relevante, que importa frisar, é o facto de este processo se tratar de um processo sem reparação pelo que, sempre que numa PCB é inserido pelo menos um pino com excesso de força, esta deve ser sucutada. Assim sendo, o que se traduz em custos da qualidade para a Bosch, é a quantidade de PCBs rejeitada, que neste período de tempo foi igual a 21.860 PCBs. Apenas alguns dados, tais como o número de PCBs sucutadas e custos de refugo, foram recolhidos tendo em consideração a rejeição das duas máquinas, com o intuito de salientar o impacto da rejeição em termos de custos da qualidade.

A partir do exercício matemático de multiplicação do número total de PCBs rejeitadas entre 1 de setembro de 2017 e 30 de abril de 2018, indicado nos parágrafos anteriores, e do valor do prejuízo por unidade avalia-se que, neste período, a empresa teve um prejuízo acumulado na ordem dos 88.946€. Consciente da magnitude do problema a equipa encontra-se, através do projeto descrito nesta dissertação, a tentar colmatá-lo ativamente.

⁴ Nível sigma é calculado sobre o total de defeitos ocorridos, tendo em conta todos os problemas surgidos durante a sua produção, no grupo de produtos em estudo, durante um período de tempo previamente definido.

4.2.2 Medir

Na fase de medição, é pretendida a validação do problema em estudo, através da recolha de dados qualitativos e quantitativos dos produtos afetados pela problemática do excesso de força.

4.2.2.1 Estado Atual

Com o intuito de determinar o estado atual do processo de inserção de pinos, procedeu-se à recolha de dados, através da plataforma interna designada por *Management Information System (MIS)*.

Tal como referido anteriormente, é a partir de uma célula de carga que se encontra acoplada ao anvil, que são medidos os valores de força de inserção do processo. O conceito mecânico da célula de carga exige uma calibração anual, dado que, com o tempo, existe deformação das pontes ou resistências nela presentes, apresentando uma variação assinalável por fadiga ou solicitações mecânicas.

Como tal, para assegurar a fiabilidade dos valores medidos a equipa decidiu enviar a célula de carga para calibração em Espanha, na empresa Kistler, líder global em tecnologia de medição dinâmica para medir a pressão, força, torque e aceleração. A calibração realizada, é acreditada pela ENAC e cumpre a norma ISO 17025: “Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração”.

Para a recolha de dados, conforme referido na fase de definição do problema, foi considerado o período temporal de 1 de setembro de 2017 a 30 de abril de 2018, tendo-se obtido 29.666 pinos inseridos com excesso de força num total de 9.181.700 pinos inseridos. Para o período indicado, traçou-se o gráfico da evolução mensal dos defeitos de pinos inseridos com excesso de força para a máquina em estudo, no qual é possível visualizar uma tendência crescente (Figura 30).

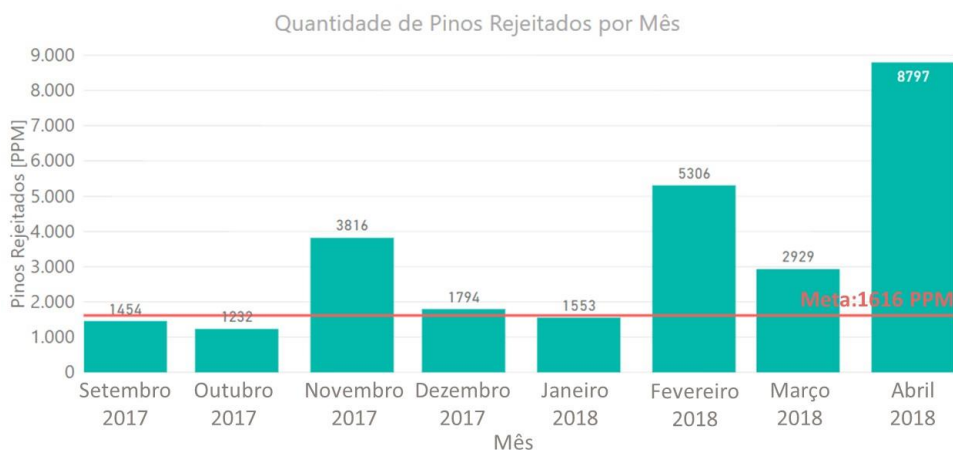


Figura 30. Valores mensais dos DPMO entre setembro de 2017 e abril 2018

Os dados de pinos inseridos foram associados às PCBs, sendo possível determinar quais os produtos que sofrem mais com a problemática do excesso de força. Através do diagrama de Pareto representado na Figura 31 e, considerando a rejeição em termos de PCBs das duas máquinas de pinos com o intuito de se obter uma visão global, constatou-se que existem dois produtos mais críticos em relação aos restantes, o produto 301368 e o produto 300374.

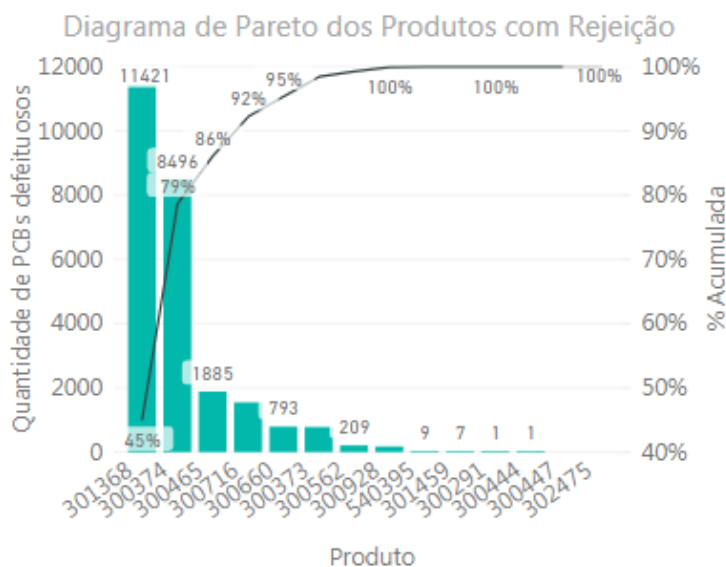


Figura 31. Diagrama de Pareto dos produtos com rejeição

Deste modo, tomou-se como estratégia a definição destes produtos como prioritários, pois permitirão resolver grande parte da rejeição. É de salientar que, mesmo optando por esta estratégia, as melhorias que poderão surgir, podem ser replicadas nos outros produtos, pois todos eles têm características em comum.

Posto isto, definida a estratégia de estudo, não só em termos de máquina, como também em termos de produtos, foi realizada uma recolha de dados aprofundada nos dois produtos referidos anteriormente, determinando-se os pinos e as PCBs rejeitadas com mais frequência, obtendo-se os diagramas de Pareto das Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35, apenas relativos à máquina em estudo, ou seja, a que tem maior rejeição.

Diagrama de Pareto dos PCBs Rejeitados - Produto 300374

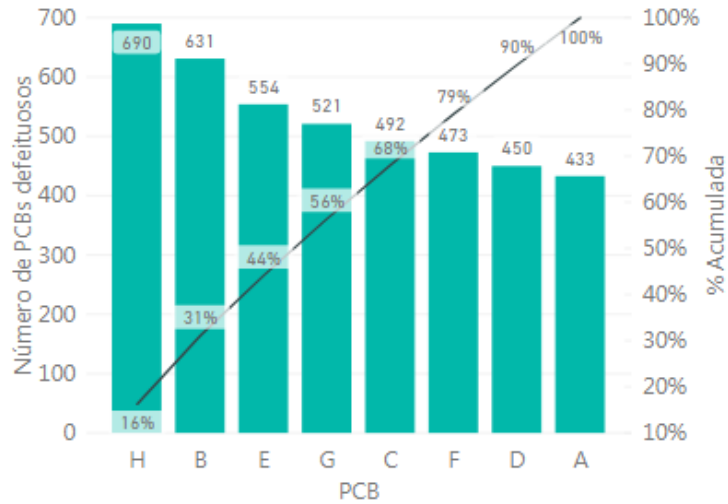


Figura 32. Diagrama de Pareto das PCBs rejeitadas do produto 300374

Diagrama de Pareto dos Pinos Rejeitados - Produto 300374

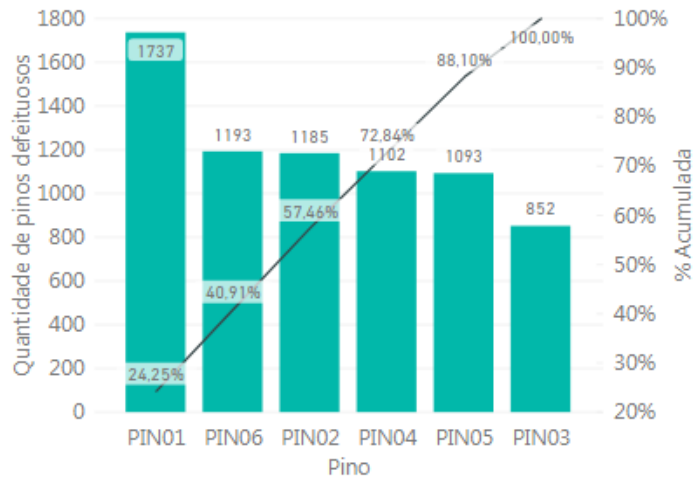


Figura 33. Diagrama de Pareto dos pinos rejeitados do produto 300374

Diagrama de Pareto dos PCBs Rejeitados - Produto 301368

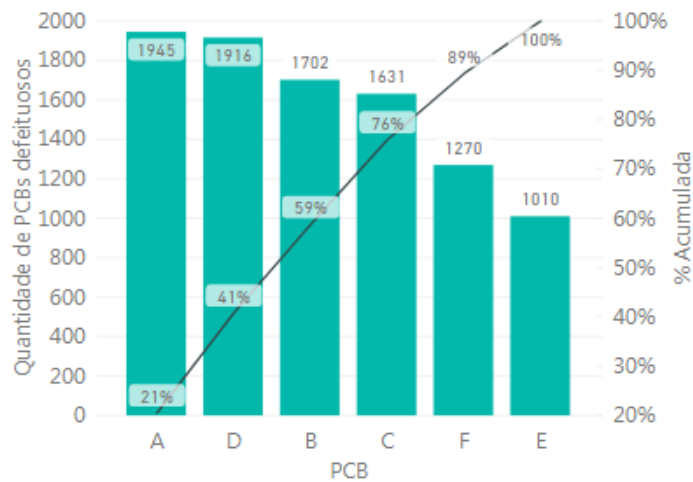


Figura 34. Diagrama de Pareto das PCBs rejeitadas do produto 301368

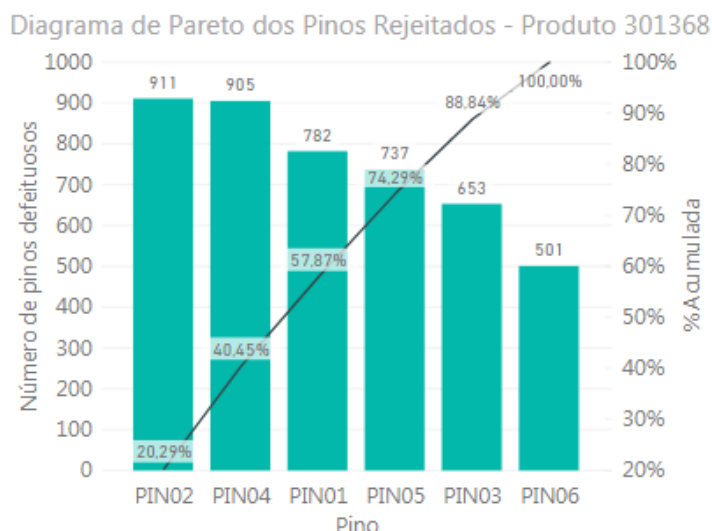


Figura 35. Diagrama de Pareto dos pinos rejeitados do produto 301368

Os dados dos diagramas de Pareto refletem que, para o produto 300374 (Figura 32 e Figura 33), as PCBs mais críticas são a H e B, e que os pinos mais rejeitados são o 1º e o 6º.

Relativamente ao produto 301368 (Figura 34 e Figura 35), o cenário é ligeiramente diferente, pois as PCBs mais rejeitadas são a A e D e o 2º e 4º pino.

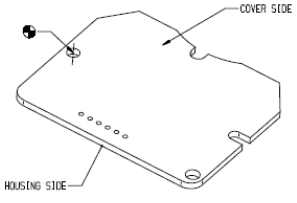
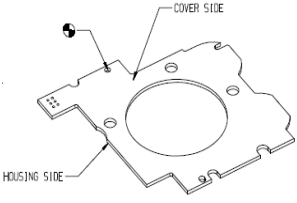
4.2.3 Analisar

Com intuito de compreender a razão pela qual existe maior rejeição no produto 300374 e 301368, a equipa deslocou-se à linha de produção para obter dados e discutir soluções à medida que os processos seguem a sua normal ordem de trabalhos.

Como ponto de partida realizou-se uma consulta no *software Systems Applications and Products in Data Processing (SAP)*, com o propósito de saber quais as empresas fornecedoras das PCBs destes dois produtos. O produto 300374 é totalmente fornecido pelo fornecedor A, enquanto que, o produto 301368 possui uma cota de fornecimento de 80% do fornecedor A e de 20% do fornecedor B (Tabela 5).

Assim, embora com cotas de fornecimento distintas, as PCBs destes dois produtos são abastecidas maioritariamente pelo mesmo fornecedor, facto que poderá ser um indicador para a problemática em estudo.

Tabela 5. Produtos a analisar, fornecedores e respetivas cotas de fornecimento

<p>Produto 300374</p> 	<p>100% Fornecedor A</p>
<p>Produto 301368</p> 	<p>80% Fornecedor A 20% Fornecedor B</p>

Após uma discussão em equipa de forma aberta e intensa de potenciais causas do problema em estudo, construiu-se o diagrama de causa e efeito da Figura 36. Face às várias causas possíveis indicadas no diagrama da Figura 36, criaram-se prioridades de análise e resolução de problemas tendo em conta a experiência dos intervenientes e o conhecimento transmitido entre empresas do grupo. Assim sendo, as possíveis causas estão classificadas como sendo de prioridade “Elevada” (E) ou “Média” (M). Analisar-se-ão aquelas que se consideraram de prioridade “Elevada”:

- Planos de manutenção;
- Espessura de cobre depositado na furação das PCBs;
- Diâmetro da furação das PCBs;
- Irregularidades da furação das PCBs;
- Posicionamento dos furos nas PCBs;
- Dimensões dos pinos;
- Geometria e composição dos pinos.

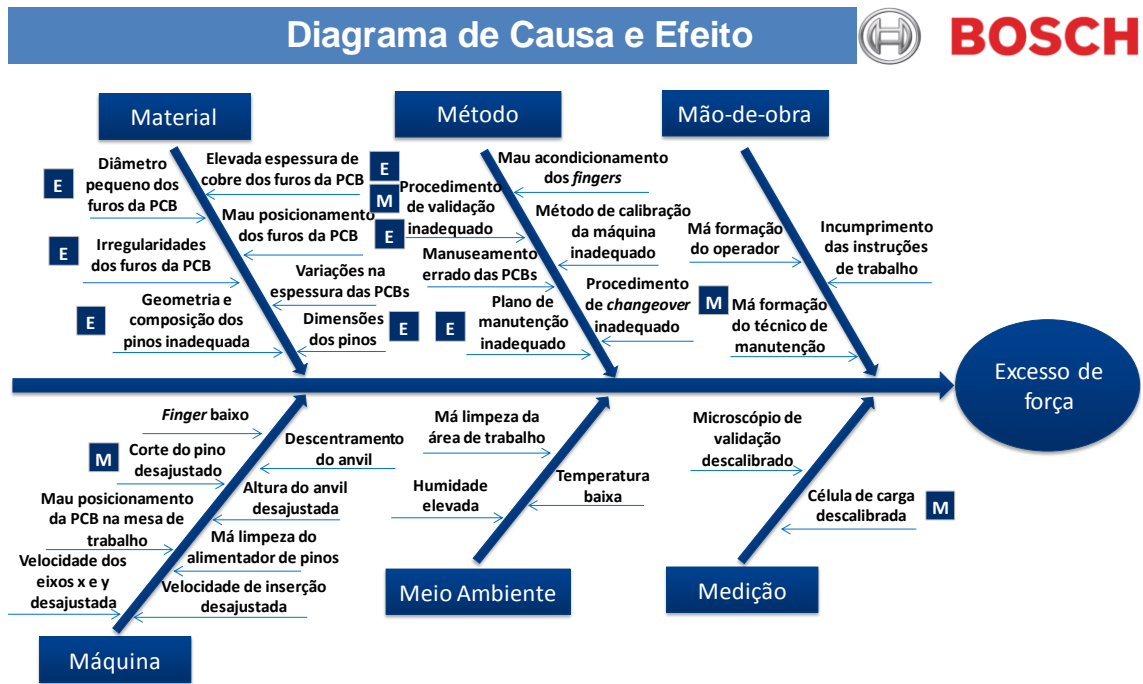


Figura 36. Diagrama de Causa e Efeito

Para cada uma das potenciais causas do excesso de força, é necessário perceber em que medida cada uma delas pode ou não afetar a qualidade da inserção.

4.2.3.1. Análise de PCBs com pinos inseridos com excesso de força

A análise iniciou-se partindo das PCBs cujos pinos tinham sido inseridos com excesso de força efetuando-se, para esse efeito, cortes seccionais examinados através de um microscópio ótico com uma ampliação de 500x. Os cortes seccionais podem ser do tipo longitudinal e transversal (Figura 37 e Figura 38). Os cortes longitudinais são realizados num plano vertical, tendo como objetivo examinar o *remaining copper thickness*, *jet effect*, *whitening* e *pin protrusion* (Figura 37 - a, b, c e d, respetivamente).

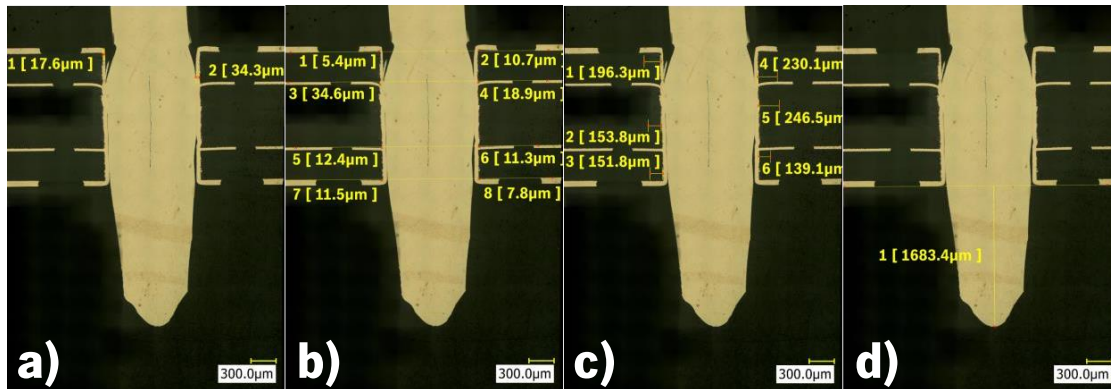


Figura 37. Análises dos cortes longitudinais

Os cortes transversais são realizados num plano horizontal na zona de contacto do pino, tendo como objetivo examinar o *copper thickness* e o *whitening* (Figura 38 - a e b, respetivamente).

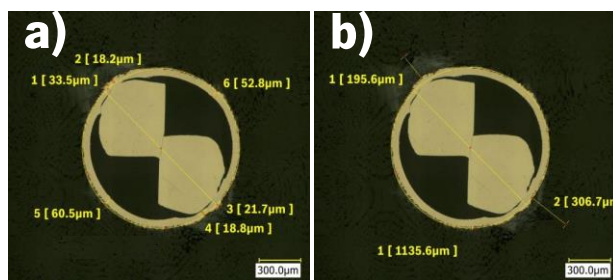


Figura 38. Análises dos cortes transversais

Na análise do *copper thickness* em cortes transversais (Figura 38 – a e b), analisa-se o *copper maximum deformation* (1 e 3), o *remaining copper thickness* (2 e 4) e *copper thickness outside of the contact zone* (5 e 6). Os termos técnicos referidos são clarificados de seguida:

- *Copper thickness* – Espessura de cobre depositado;
- *Copper maximum deformation* – Deformação máxima do cobre;
- *Remaining copper thickness* – Cobre remanescente num furo após a inserção de um pino;
- *Copper thickness out of the contact zone* – Espessura de cobre fora da zona de contacto;
- *Jet effect* – Efeito de arrastamento das camadas de cobre da PCB no momento de inserção de um pino;
- *Whitening* – Impacto ou *stress* provocado pelo pino inserido na fibra de vidro da PCB;
- *Pin protrusion* – Distância entre a ponta inferior do pino e a base da PCB.

No produto 301368 (Figura 39) realizaram-se cortes seccionais às PCBs com maior número de rejeições (Figura 34). À PCB A e PCB D realizaram-se cortes longitudinais e à PCB B e PCB C realizaram-se cortes transversais, de acordo com o esquema representado na Tabela 6.

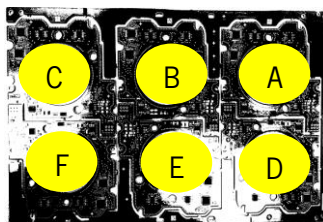


Figura 39. Produto 301368

Os cortes seccionais encontram-se detalhados e organizados no Anexo I, no entanto, destaca-se o corte longitudinal no pino 5 pertencente à PCB D, por se tratar de um corte onde é perfeitamente visível o efeito do excesso de força nas PCBs do produto 301368 (Tabela 7). No corte longitudinal apresentado na Tabela 7, é possível observar que o pino 5 da PCB D, inserido com uma força de 197N (17N acima do LSE), rompeu o cobre do lado direito, resultando num valor de 0 µm de

cobre remanescente. Nesta tabela encontram-se ainda representados e mensurados o *Jet effect*, *Whitening* e *Pin protrusion*, sendo que todos se encontram de acordo com o espectável.

Na Tabela 8 e Tabela 9, apresentam-se os critérios e os resultados dos cortes longitudinais e transversais, respetivamente.

Tabela 6. Esquema dos cortes seccionais no produto 301368

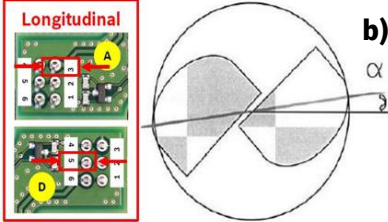
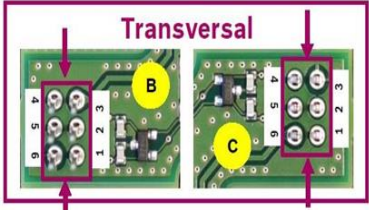
	
<p>a) Cortes longitudinais (PCB A – Pino 3; PCB D – Pino 5).</p> <p>b) Indicação para cortes seccionais. Por exemplo, se os pinos estiverem rodados 45°, o ângulo do corte seccional deve ser igual.</p>	<p>Todos os pinos foram abrangidos no corte transversal (PCB B e PCB C).</p>

Tabela 7. Corte longitudinal no produto 301368, PCB D – Pino 5

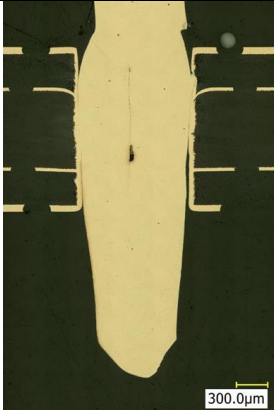
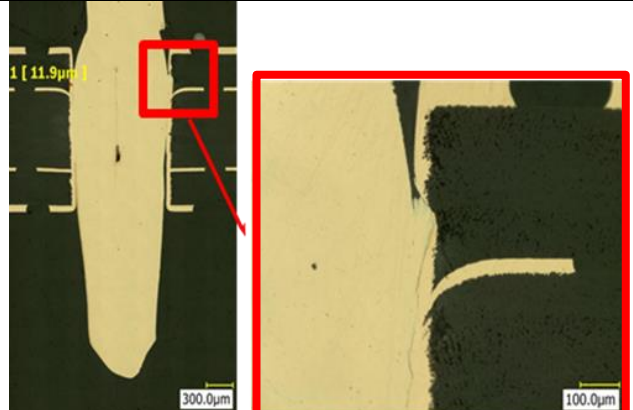
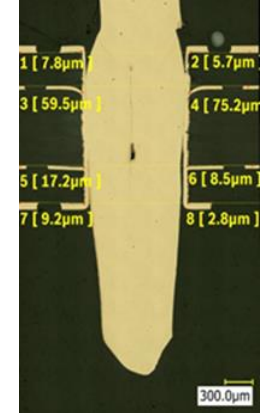
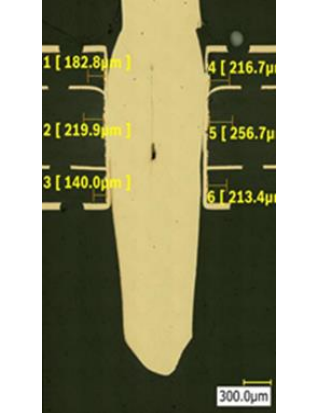
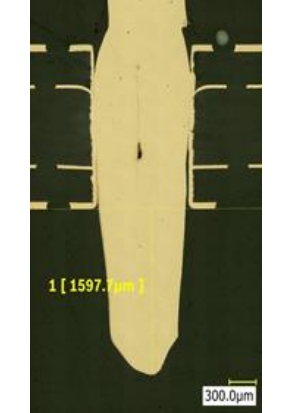
		
<p>Vista Geral</p>	<p><i>Remaining copper thickness</i></p>	
		
<p><i>Jet effect</i></p>	<p><i>Whitening</i></p>	<p><i>Pin protrusion</i></p>

Tabela 8. Resultados dos cortes longitudinais no produto 301368

		Criteria values		
		min. Cu-thickness [µm]	8	
		max jet effect [µm]	100	
		max. whitening [µm]	300	
		pin protrusion (µm)	2400	

S/N 0243792	pin-number	Remaining Cu-thick.			Jet Effect (c)											Whitening							Max. Pin Protrusion				
		Min. remaining Cu-			I1		I2		I3		I4		max jet effect		1		2		3		max whitening						
		Remaining Cu- thick. left	Remaining Cu- thick. right	Crack in section plane detected? Yes=1 ; No=0	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right		In which layer is the maximum whitening?	remarks		
PCB A	3	17,6	34,3	0	5,4	10,7	34,6	18,9	12,4	11,3	11,5	7,8	34,6	2	14,1	9,2	#REF!	196,3	230,1	153,8	246,5	151,8	139,1	246,5	2		1683,4
PCB D	5	11,9	0	1	7,8	5,7	59,5	75,2	17,2	8,5	9,2	2,8	75,2	2	23,2	27,8	#REF!	182,8	216,7	219,9	256,7	140,0	213,4	256,7	2		1597,7

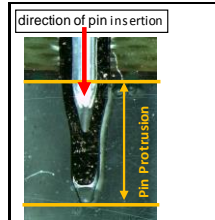
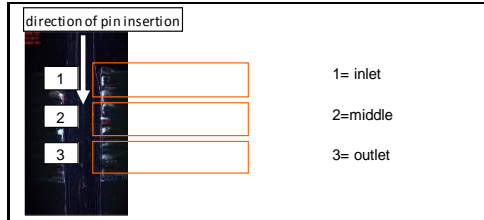
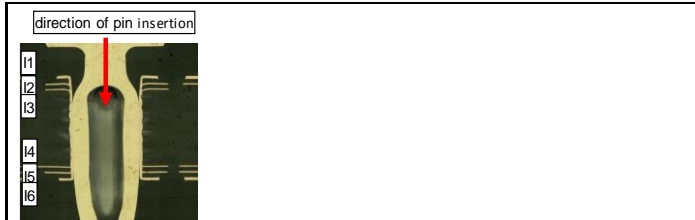
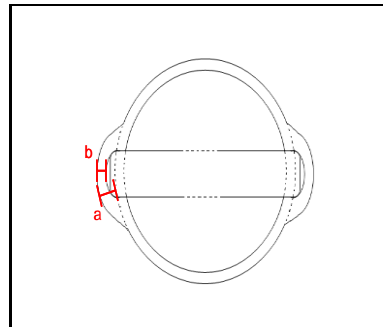


Tabela 9. Resultados dos cortes transversais no produto 301368

Criteria values																						
max deformation [µm]	70	Deformation a			Remaining Cu-thickness			Cu-thickness			Whitening			deformation a ave	deformation a STABW	cpk	remaining Cu-thickness b ave	remaining Cu-thickness b STABW	cpk (lower limit)	cpk (upper limit)	cpk (min)	
min remaining copper thickness [µm]	8	deformation left	deformation right	max deformation	remaining Cu-thickness left	remaining Cu-thickness right	min remaining Cu-thickness	Cu-thickness 12 o'clock	Cu-thickness 6 o'clock	Cu-thickness ave	whitening left	whitening right	max whitening									
min. Cu-thickness at 6 o'clock / 12 o'clock [µm]	30	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]									
max. whitening [µm]	300	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]									
S/N 0243792	pin-number																					
		1	33,5	21,7	46,7	18,2	18,8	2,4	52,8	60,5	56,4	195,6	306,7	352,3	31,0	10,0	-1,0	19,6	8,9	0,7	-0,7	-0,7
		2	39,2	39,7		2,4	6,6		50,6	63,8		115,8	274,8									
		3	31,8	46,7		31,5	27,9		41,3	49,5		0,0	79,0									
		4	18,5	22,5		26,9	17,4		67,8	60,9		352,3	267,5									
		5	44,1	26,3		28,1	12,6		58,3	52,9		181,6	310,5									
6	30,3	17,3	23,0	21,6		56,9	61,0		292,9	207,6												
PCB B	pin-number																					
		1	33,8	12,0	83,4	26,0	29,3	18,8	50,2	55,4	52,3	316,3	0,0	370,4	40,4	16,6	-0,8	28,8	6,5	1,5	-1,5	-1,5
		2	43,2	38,8		29,3	28,9		52,5	51,9		278,3	274,8									
		3	50,8	38,3		31,5	23,9		54,1	54,5		370,4	287,1									
		4	42,0	83,4		32,1	45,1		50,5	60,5		309,1	210,1									
		5	44,2	36,7		18,8	29,4		46,5	50,8		284,0	102,2									
6	30,4	30,7	28,7	22,1		46,7	53,7		239,7	291,7												
PCB C	pin-number																					
		1	33,8	12,0	83,4	26,0	29,3	18,8	50,2	55,4	52,3	316,3	0,0	370,4	40,4	16,6	-0,8	28,8	6,5	1,5	-1,5	-1,5
		2	43,2	38,8		29,3	28,9		52,5	51,9		278,3	274,8									
		3	50,8	38,3		31,5	23,9		54,1	54,5		370,4	287,1									
		4	42,0	83,4		32,1	45,1		50,5	60,5		309,1	210,1									
		5	44,2	36,7		18,8	29,4		46,5	50,8		284,0	102,2									
6	30,4	30,7	28,7	22,1		46,7	53,7		239,7	291,7												



Nos resultados dos cortes transversais presentes na Tabela 9 é possível observar ainda que o pino 2 da PCB B, inserido com uma força de 188N (8N acima do LSE), rompeu cobre, resultando num valor mínimo de cobre remanescente no lado esquerdo do furo de 2,4 μm e 6,6 μm do lado direito, encontrando-se, portanto, abaixo do mínimo permitido 8 μm . Ainda nesta PCB verifica-se que, no pino 1, 4 e 5, o impacto na fibra de vidro foi elevado, resultando em valores de *whitening* que não se encontram de acordo com a especificação.

No produto 300374 (Figura 40) realizaram-se cortes seccionais às PCBs com maior número de rejeições (Figura 32). À PCB B e PCB H realizaram-se cortes longitudinais e à PCB E realizou-se um corte transversal, de acordo com o esquema representado Tabela 10.

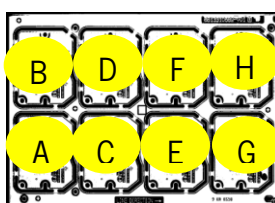


Figura 40. Produto 300374

Tabela 10. Esquema dos cortes seccionais no produto 300374

<p>a) Longitudinal</p>	<p>b) Transversal</p>
<p>a) Cortes longitudinais (PCB B – Pino 3 e PCB H – Pino 6). b) Indicação para cortes seccionais. Por exemplo, se os pinos estiverem rodados 45°, o ângulo do corte seccional deve ser igual.</p>	<p>Todos os pinos foram abrangidos no corte transversal (PCB E).</p>

Os cortes seccionais encontram-se detalhados e organizados no Anexo II, no entanto, destaca-se o corte longitudinal no pino 6 pertencente à PCB H, por se tratar de um corte onde é perfeitamente visível o efeito do excesso de força nas PCBs do produto 300374 (Tabela 11).

No corte longitudinal apresentado na Tabela 11 é possível observar que o pino 6 da PCB H, inserido com uma força de 226N (46N acima do LSE), rompeu o cobre resultando num valor de 5,4 μm de cobre remanescente do lado esquerdo e 0 μm de cobre remanescente do lado direito. Ainda na PCB H verifica-se que o maior arrastamento de cobre e impacto na fibra de vidro da PCB ocorreu na camada número 2.

Na Tabela 11 encontram-se ainda representados e mensurados o *Jet effect*, *Whitening* e *Pin protrusion*, sendo que todos se encontram de acordo com o espectável.

Na Tabela 12 e Tabela 13 apresentam-se os critérios e os resultados dos cortes longitudinais e transversais, respetivamente.

Tabela 11. Corte longitudinal no produto 300374, PCB H – Pino 6

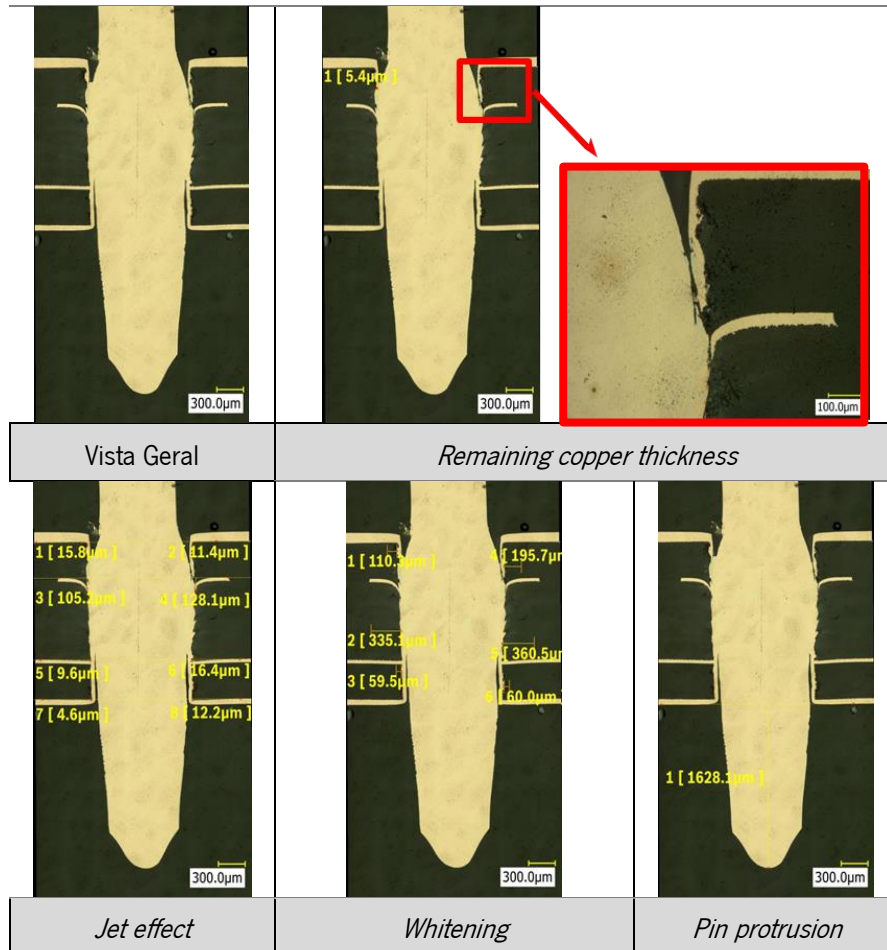


Tabela 12. Resultados dos cortes longitudinais no produto 300374

Criteria values		Remaining Cu-thick.		Jet Effect (c)											Whitening							Max. Pin Protrusion					
		Min. remaining Cu-		I1		I2		I3		I4		max jet effect		1		2		3		max whitening							
				jet effect left		jet effect right		jet effect left		jet effect right		In which layer is the maximum jet effect?		whitening left		whitening right		whitening left		whitening right		In which layer is the maximum whitening?		Pin Protrusion			
		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]		[µm]			
		0 / 1																									
S/N 0300288	pin-number	Remaining Cu-thick. left	Remaining Cu-thick. right	Crack in section plane detected? Yes=1 ; No=0	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	jet effect left	jet effect right	In which layer is the maximum jet effect?	jet effect ave	jet effect STABW	cpk	whitening left	whitening right	whitening left	whitening right	whitening left	whitening right	In which layer is the maximum whitening?	remarks	Max. Pin Protrusion		
		[µm]	[µm]	0 / 1	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]	[µm]		
PCB B	4	22,3	28,8	0	15,1	1,5	66,5	11,1	7,7	5,2	6,1	2,6	66,5	2	14,5	21,5	#REF!	138,7	157,8	172,0	175,1	43,8	51,8	175,1	2		1615,5
PCB H	6	5,4	0	1	15,8	11,4	105,2	128,1	9,6	16,4	4,6	12,2	128,1	2	37,9	49,1	#REF!	110,3	195,7	335,1	360,5	59,5	60,0	360,5	2		1628,1

min. Cu-thickness [µm]	8
max jet effect [µm]	100
max. whitening [µm]	300
pin protrusion (µm)	2400

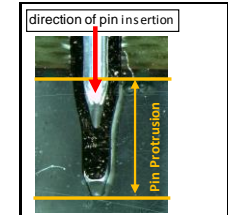
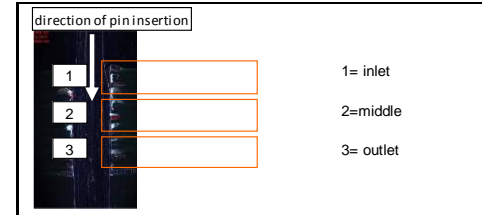


Tabela 13. Resultados dos cortes transversais no produto 300374

Criteria values												
max deformation [μm]		70										
min remaining copper thickness [μm]		8										
min. Cu-thickness at 6 o'clock / 12 o'clock [μm]		30										
max. whitening [μm]		300										

S/N 0300288	pin-number	Deformation a			Remaining Cu-thickness			Cu-thickness			Whitening			deformation a ave	deformation a STABW	cpk	remaining Cu-thickness b ave	remaining Cu-thickness b STABW	cpk (lower limit)	cpk (upper limit)	cpk (min)
		deformation left	deformation right	max deformation	remaining Cu-thickness left	remaining Cu-thickness right	min remaining Cu-thickness	Cu-thickness 12 o'clock	Cu-thickness 6 o'clock	Cu-thickness ave	whitening left	whitening right	max whitening								
		[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]								
PCB E	1	22,3	23,4	43,5	13,6	22,9	2,6	75,6	57,9	63,6	135,4	325,7	357,7	24,4	9,5	-0,9	19,5	9,4	0,7	-0,7	-0,7
	2	18,7	23,5		16,2	16,7		61,5	69,8		293,1	309,9									
	3	16,8	36,7		2,6	11,5		70,6	60,9		263,9	305,6									
	4	43,5	18,9		18,2	28,1		66,7	64,3		273,6	230,4									
	5	33,0	9,3		28,9	34,8		53,8	58,6		283,6	114,6									
	6	18,5	28,4		29,3	11,2		62,1	61,3		133,8	357,7									

Nos cortes transversais presentes na Tabela 13, é possível observar que o pino 3 da PCB E, inserido com uma força de 194N (14N acima do LSE), rompeu o cobre resultando num valor de 2,6 μm de cobre remanescente do lado esquerdo e 11,5 μm de cobre remanescente do lado direito. Além disso, os pinos 1, 2, 3 e 6 tiveram grande impacto na fibra de vidro da PCB resultando em valores de *whitening* que não se encontram de acordo com a especificação.

4.2.3.2. Análise do Plano de Manutenção

O conceito de trabalho da máquina de inserção de pinos é puramente mecânico e a manutenção assume um papel importantíssimo para o seu bom funcionamento. O estado da cabeça de inserção, das ferramentas de corte e da mesa de trabalho, assim como a limpeza, são fatores que devem ser constantemente monitorizados.

Atualmente, a manutenção preventiva à cabeça de inserção é realizada anualmente, tendo em conta o espectro temporal e a manutenção preventiva às ferramentas de corte é realizada de acordo com a degradação apresentada quando verificada, isto é, sem qualquer periodicidade de substituição definida, pelo que a sua substituição é muitas vezes esquecida.

Visto a proximidade relativamente à data da manutenção anual à cabeça de inserção, planeou-se, juntamente com a produção, uma intervenção na máquina para analisar o seu estado e realizar as tarefas de manutenção necessárias. Durante a intervenção observou-se a existência de folgas e degradação de alguns componentes pertencentes à cabeça de inserção tais como parafusos, rolamentos, guias e ainda desgaste acentuado das ferramentas de corte (Figura 41).

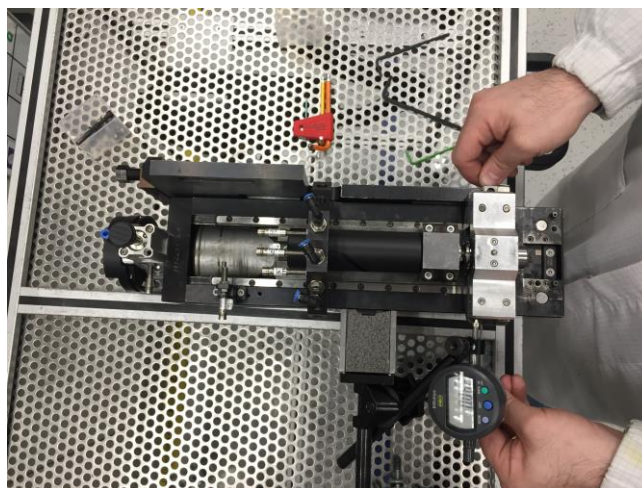


Figura 41. Cabeça de inserção

É de salientar que no período relativo aos dados em análise, realizaram-se várias intervenções, embora não tão profundas, para efetuar calibrações e averiguar a existência de eventuais anomalias na máquina envolvendo por isso várias paragens de produção.

Observou-se ainda que, no interior da máquina, na zona de trabalho, existe acumulação de limalhas provenientes da inserção de pinos. Esta acumulação é resultado do rompimento do tubo de aspiração que se atinge pela erosão provocada pelas limalhas (Figura 42).

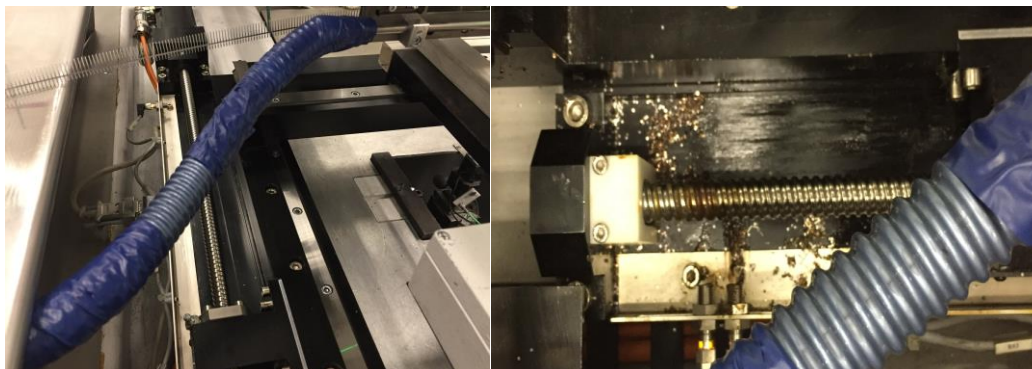


Figura 42. Limalhas provenientes do tubo

Procedeu-se à limpeza da máquina e análise da solução mais adequada para eliminar os resíduos da zona de trabalho.

Após analisar o estado da máquina e realizar todas as tarefas de manutenção necessárias discutiu-se, nas reuniões de equipa, se a forma como é controlada a periodicidade das intervenções de manutenção é a mais adequada, dado o desgaste observado nos componentes. O resultado levou à identificação de várias oportunidades de melhoria que se apresentam na fase seguinte da abordagem DMAIC.

4.2.3.3. Análise do cobre das PCBs

De forma a examinar a quantidade de cobre depositado nas PCBs, foram realizados cortes seccionais longitudinais e transversais (Figura 43 – a e b, respetivamente), em placas cujos pinos estavam a ser inseridos com excesso de força. Todos os cortes seccionais foram analisados através de um microscópio ótico com uma ampliação de 100x para vistas gerais e 500x para a vista do furo (Anexo III).

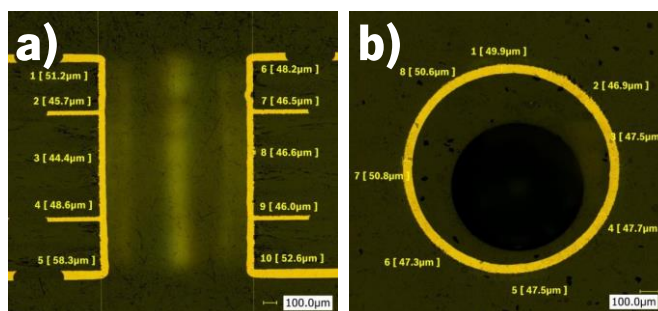
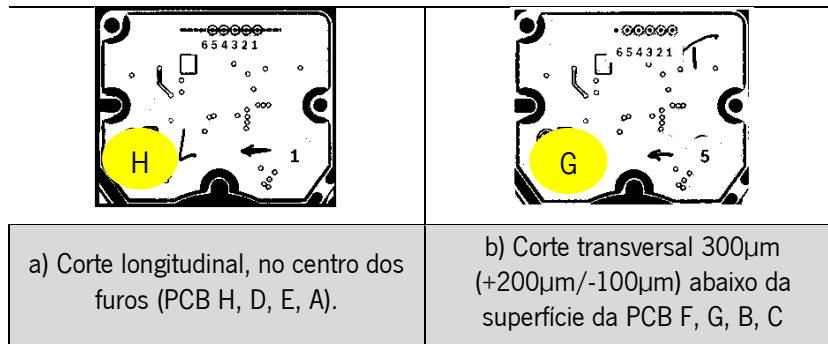


Figura 43. Medições da espessura de cobre depositado segundo cortes longitudinais e transversais no produto 300374

Para a análise do cobre presente nas furações utilizou-se como referência o produto 300374. Neste produto realizaram-se cortes longitudinais às PCB H, D, E e A e cortes transversais às PCB F, G, B e C, num plano de corte a 300 µm de distância da superfície (Tabela 14).

Tabela 14. Esquema dos cortes seccionais no produto 300374



Para determinar o cobre depositado nas furações utilizaram-se dez pontos de medição, nos cortes longitudinais e em oito pontos de medição, nos cortes transversais, representados no Anexo III. Determinou-se ainda o valor mínimo, máximo e médio do cobre depositado em cada furo das placas analisadas.

Através do valor médio de cobre depositado em cada furo das PCBs analisadas, obteve-se o gráfico da Figura 44 e Figura 45.

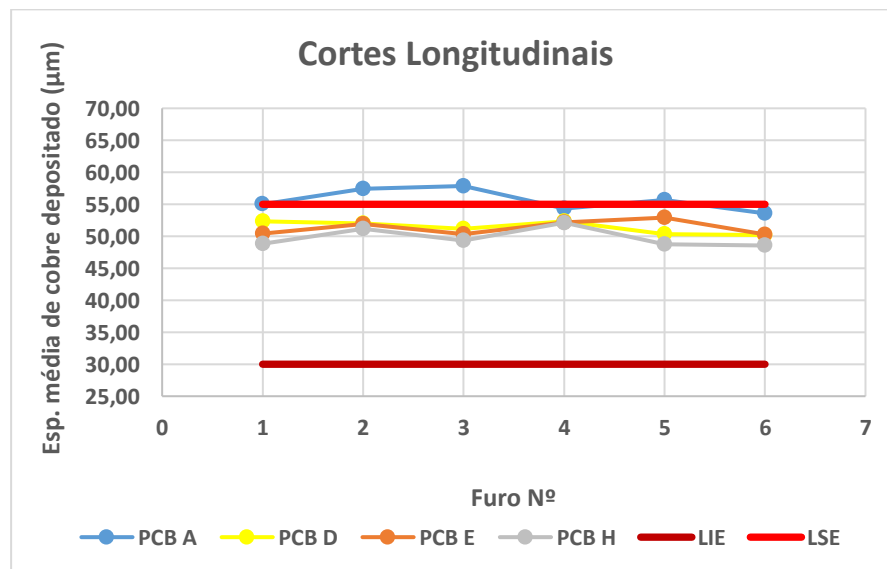


Figura 44. Valores médios de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes longitudinais no produto 300374

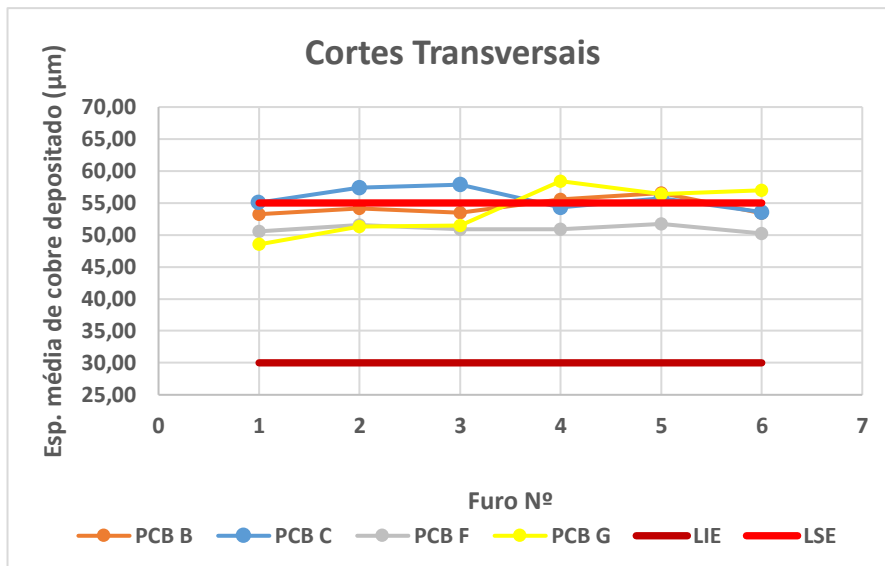


Figura 45. Valores médios de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes transversais no produto 300374

Sendo a especificação de cobre em cada furo de 30 a 55 µm, conclui-se que a espessura de cobre depositado, de uma forma geral, está acima do valor nominal (42,5 µm) sendo que, nos furos 2, 3 e 5 (PCB A) - no caso dos cortes longitudinais efetuados (Figura 44) - e no furo 5 (PCB B), furo 2, 3 e 6 (PCB C) e furo 4 e 5 (PCB G) - no caso dos cortes transversais efetuados (Figura 45) - chegam a ultrapassar o limite superior de especificação.

Note-se que as amostras dos cortes seccionais em análise são obtidas através do polimento das PCBs. Este processo é minucioso e facilmente se cometem pequenos erros, como por exemplo polir além do centro da furação, obtendo-se por este motivo valores superiores ao LSE. Assim, embora a espessura de cobre esteja claramente tangente ao limite superior, o fornecedor encontra-se a prover matéria-prima conforme.

Os valores de cobre depositado analisados são benéficos no que diz respeito à condução elétrica da PCB, não obstante, podem tornar-se prejudiciais para o processo caso caminhem para valores muito altos, reduzindo o diâmetro e dificultando a inserção dos pinos.

4.2.3.4. Análise do diâmetro dos furos das PCBs

Relembra-se que o processo de inserção de pinos é um processo de precisão, cujas tolerâncias pertencem à escala do micrometro e que o pino entra com aperto de forma a garantir contacto com as paredes dos furos das PCBs e gerar condutividade elétrica. Deste modo, sendo o diâmetro da furação crítico para o processo, procedeu-se à análise do diâmetro mínimo ao longo de toda a profundidade dos furos (*Maximum Material Condition – MMC*), com o estado atual de deposição de cobre na furação das PCBs. O diâmetro mínimo dos furos foi analisado através de cortes

longitudinais e transversais, utilizando-se como referência o produto 300374. Os valores medidos encontram-se no Anexo IV, tendo-se obtido uma média e desvio padrão do diâmetro de 1,034 mm e 0,001 mm, respetivamente.

Os furos encontram-se especificados entre 1,015 mm e 1,115 mm de diâmetro (Anexo IV), já tendo em consideração o acabamento final. Deste modo, com a análise realizada, conclui-se que apesar de todas as furações medidas estarem de acordo com a especificação, encontram-se em média abaixo do valor nominal 1,070 mm, provocando dificuldades na inserção de pinos.

4.2.3.5. Análise da geometria dos furos

Além do diâmetro da furação, um outro fator importante é a sua própria geometria pelo que a presença de rebarbas ou furos ovalizados contribui para a problemática do excesso de força. Posto isto, realizou-se uma análise à ovalidade dos furos. A ovalidade de um furo é dada pela razão entre o diâmetro máximo e o diâmetro mínimo sendo que o valor desejado para se obter um furo tão redondo quanto possível, deve ser menor ou igual a 1,02 (Anexo IV).

Na Tabela 15 é possível observar que existem casos de furos, no produto 300374, considerados como maus porque em termos de processo são problemáticos. No entanto, o acordo que existe entre o fornecedor e a Bosch é que, para efeitos de medição, as rebarbas não são consideradas, facto que coloca a empresa numa situação extremamente frágil. Os valores de ovalidade obtidos nesta análise, encontram-se discriminados no Anexo IV.

Na Tabela 16 é possível observar que também no produto 301368, existem casos de furos com rebarbas. Ainda na Tabela 16, é realizada uma comparação entre os fornecedores A e B em termos de diâmetro e estado da furação. Verificou-se, com esta análise, que a superfície dos furos do Fornecedor B se encontrava mais rugosa quando comparada com o Fornecedor A e que, além disso, os diâmetros do Fornecedor B se encontram, em média, dimensionalmente maiores e com menor variação (média=1,048 mm e desvio padrão=0,007 mm) do que os do Fornecedor A (média=1,038 mm e desvio padrão=0,011 mm) (Anexo V). Um dos furos do Fornecedor A, Tabela 16, imagem c), encontrar-se-ia fora de especificação em diâmetro se fossem consideradas as rebarbas existentes na superfície de cobre.

O posicionamento dos furos encontra-se de acordo com o espectável, ou seja, abaixo da tolerância de posicionamento em diâmetro especificada de 0,2 mm.

Tabela 15. Análise da geometria da furação do produto 300374

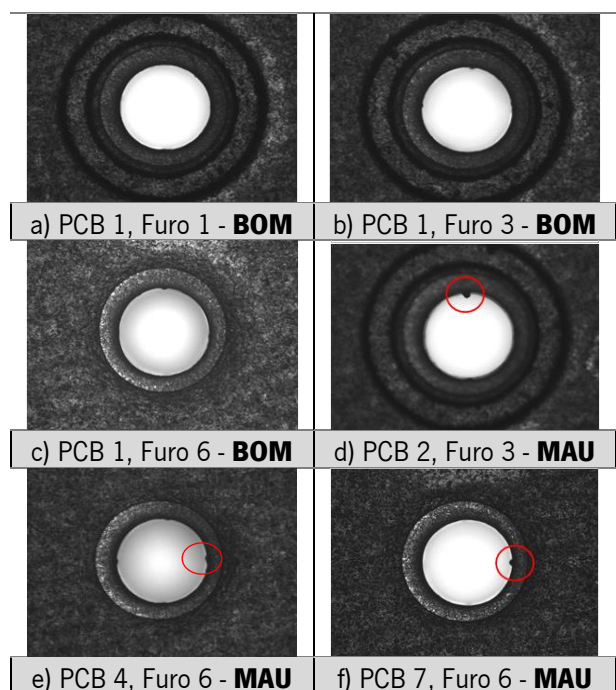
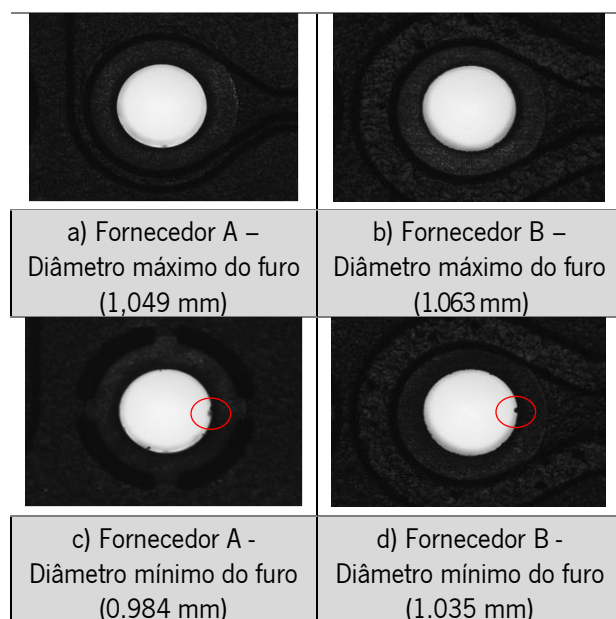


Tabela 16. Análise da geometria da furação do produto 301368



4.2.3.6. Análise dimensional dos pinos

Para a análise dimensional dos pinos procedeu-se à recolha de amostras a partir de rolos existentes em produção. A identificação dos rolos de pinos é realizada pelo fornecedor segundo um lote, data e hora de produção e número da caixa em que é colocado. Dado que para um mesmo lote, existem caixas que estão associadas a rolos com elevada rejeição, recolheram-se 4 amostras de caixas diferentes do mesmo lote de pinos.

Nas amostras recolhidas consideraram-se as caixas 1, 4 e 16 associadas a momentos de elevada rejeição e uma caixa identificada como “teste”, assim designada devido à recolha num momento em que o nível de rejeição baixou. Considerou-se o tamanho de cada amostra como uma tira de 23 pinos cada, pois trata-se de uma análise dispendiosa que requer equipamentos de precisão e, portanto, um trabalho laboratorial específico para o efeito.

Posto isto, cortaram-se 3 tiras de 23 pinos das caixas 1, 4 e 16 (Figura 46), perfazendo um total de 69 pinos, e uma tira de 69 pinos da caixa “teste”.

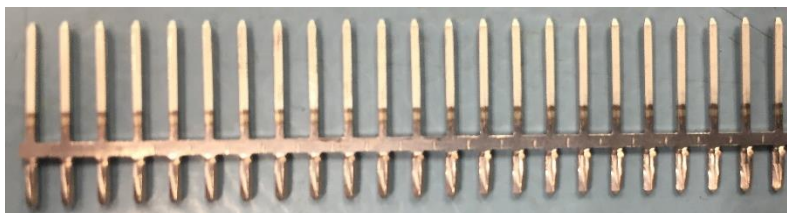


Figura 46. Amostra de 23 pinos para análise

De seguida, procedeu-se à análise do diâmetro da zona de contacto e da altura do ombro do pino, cuja especificação se encontra integrada na Figura 47 e Figura 48, respetivamente, sombreada a amarelo. Os resultados obtidos através do equipamento de análise do laboratório de metrologia da Bosch, revelam a conformidade com as especificações relativamente ao diâmetro da zona de contacto do pino (Figura 47) e a existência de pequenos desvios na altura do ombro (Figura 48).

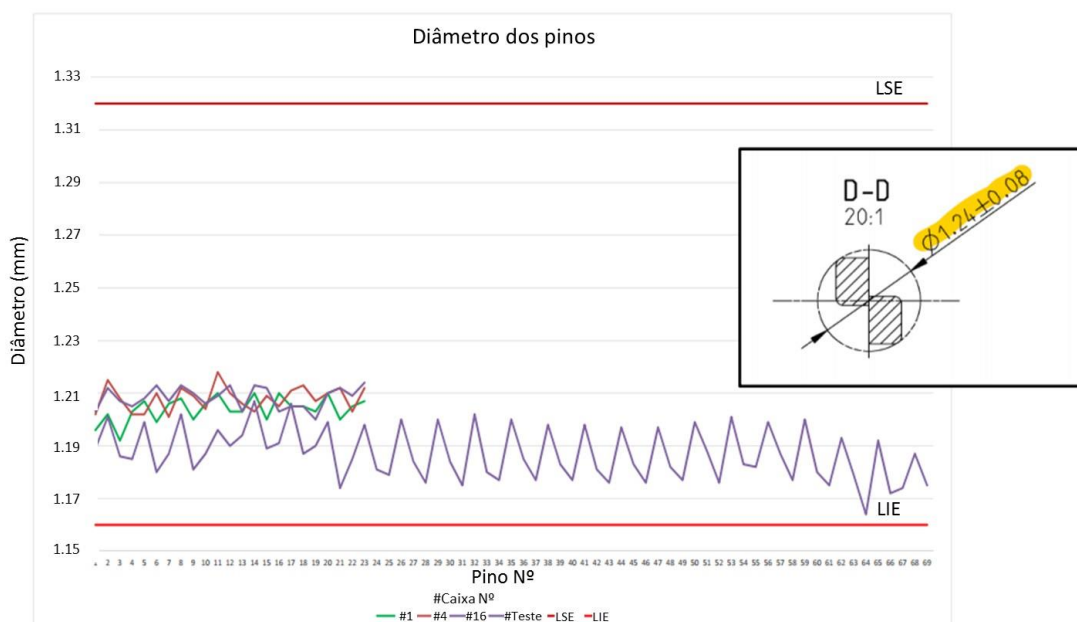


Figura 47. Análise do diâmetro da zona de contacto do pino

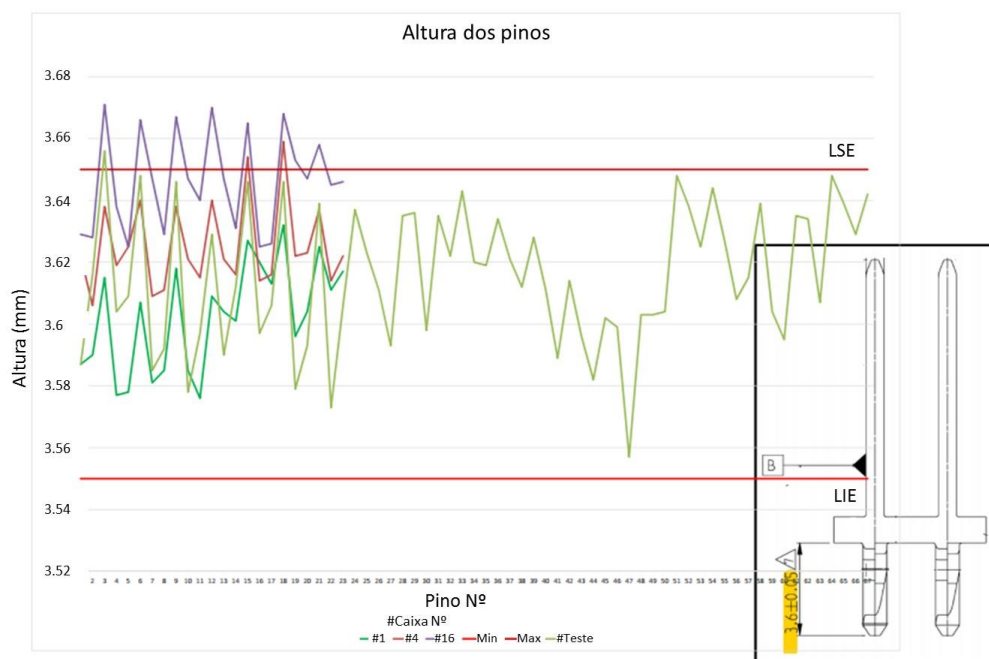


Figura 48. Análise da altura do ombro do pino

Observe-se que na Figura 47 e Figura 48, as caixas cujos pinos apresentam elevada rejeição, apresentam um diâmetro da zona de contacto e uma altura, em geral, superior à caixa “teste” associada a um nível de rejeição mais baixo. Além disso, estes resultados revelam a existência de uma tendência pois, de três em três pinos verifica-se sempre um pico, tendo sido o caso reportado ao fornecedor. Em resposta, o fornecedor referiu que os pinos são produzidos por um processo de estampagem, com uma ferramenta de corte de 3 cavidades que permite estampar 3 pinos de cada vez, controlando-se as dimensões a partir de um microscópio de medição na estampagem que, em seguida, passam ainda pelo processo de *plating*⁵ e tempera. Concluiu-se que as diferenças visíveis são apenas de alguns centésimos de milímetro, comuns em processos de corte, quinagem e conformação de materiais.

4.2.3.7. Análise da composição e geometria dos pinos

Pese embora no passado os pinos fossem constituídos por um material de base de cobre revestido por estanho e chumbo, por questões ambientais, a Bosch eliminou o chumbo (Pb) da sua composição, passando o pino a ser constituído por uma liga de cobre-níquel (CuNi) revestida por estanho (Sn). No que diz respeito à composição dos pinos, foi pedido ao fornecedor que enviasse um histórico (Tabela 17).

⁵ *Plating* é um processo que envolve a deposição de uma liga metálica sobre a superfície do pino com o propósito de inibir a corrosão e reduzir o atrito na inserção.

Tabela 17. Composição dos pinos

Ordem de produção	Ni coating (μm)		Sn coating (μm)		Mês
	min	max	min	max	
1	1,4	1,9	0,17	0,32	mai-17
2	1,5	2,0	0,17	0,33	jul-17
3	1,4	1,8	0,20	0,31	ago-17
4	1,6	1,7	0,18	0,31	ago-17
5	1,6	1,7	0,18	0,28	set-17
6	1,7	2,0	0,18	0,32	nov-17
7	1,6	2,0	0,16	0,34	dez-17
8	1,5	1,7	0,18	0,32	fev-18
9	1,6	1,9	0,16	0,24	mar-18
10	1,5	1,8	0,21	0,32	mar-18

Através da análise da Tabela 17 conclui-se que, embora os elementos se encontrem de acordo com a especificação Ni (de 1,2 μm a 2,5 μm) e Sn (de 0,15 μm a 0,35 μm), seria vantajoso que os valores de Sn se encontrassem mais próximos do limite superior pois, uma vez eliminado o Pb, é o Sn que torna o pino macio, reduzindo o atrito na inserção.

Para analisar a geometria do pino, realizaram-se cortes seccionais em três amostras de pinos (A, B, C), em que cada corte abrangeu 9 pinos num plano transversal. Os cortes seccionais foram examinados através de um microscópio ótico com uma ampliação de 500x, com o objetivo de analisar a geometria do pino na zona de contacto e medir a junta do pino (Figura 49). Os valores obtidos encontram-se na Tabela 18.

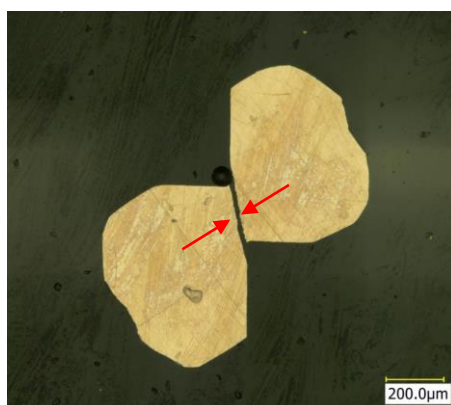


Figura 49. Análise da junta do pino

Tabela 18. Valores obtidos na análise da junta do pino

Sample	Pin	Measure (µm)	Max (µm)	Min (µm)	Average (µm)	Std Dev (µm)
A	1	10.5	10.5	5.8	7.81	1.49
	2	9.1				
	3	6.2				
	4	5.8				
	5	6.6				
	6	7.8				
	7	7.8				
	8	7.8				
	9	8.7				
B	1	5.7	12.9	5.7	7.81	2.37
	2	6.2				
	3	8.3				
	4	9.5				
	5	8.7				
	6	5.8				
	7	12.9				
	8	7.4				
	9	5.8				
C	1	21.3	21.3	5.7	9.83	4.86
	2	12.1				
	3	11.6				
	4	8.8				
	5	8.7				
	6	6.6				
	7	5.9				
	8	5.7				
	9	7.8				

4.2.3.8. Principais conclusões da fase de análise

Através das análises realizadas foi possível concluir que, de uma forma geral, as causas para o excesso de força estão relacionadas com a interação do fator furação das PCBs e o fator da zona de contacto dos pinos, tendo também a manutenção o seu contributo.

No âmbito da análise das PCBs detetou-se que a espessura de cobre depositado se encontrava em média muito próxima do limite superior, como consequência, o diâmetro diminui, para valores médios de 1,030 mm. Estes valores implicam dificuldades na inserção dos pinos. Ainda no que diz respeito à furação, a existência de rebarbas ou irregularidades nos furos (Tabela 15 e Tabela 16), provocadas pelo estado da broca do fornecedor, tornam-se uma obstrução ao pino no momento da inserção. Verificou-se que o fornecedor B consegue garantir o fornecimento de PCBs com diâmetro médio mais próximo do valor nominal e com menor desvio padrão, razão pela qual as suas PCBs são menos problemáticas.

Em relação ao pino, com as análises efetuadas, detetou-se que o estado da junta e da zona de contacto também contribuem negativamente para a problemática existente. O conceito mecânico do pino exige que a junta e a área de contacto se encontrem “polidas” de forma a não existirem obstruções no momento de inserção. Na junta, é essencial respeitar o seu estado e espaçamento para que o pino contraia o suficiente, enquanto que, o estado da zona de contacto irá ditar mais ou menos atrito na inserção.

Posto isto, é necessário atuar tanto na melhoria e ajuste dos planos de manutenção como nas PCBs e pinos, porque é a combinação destes fatores que dá origem ao excesso de força.

4.2.4 Melhorar

Mediante as conclusões relativas às causas para a ocorrência do excesso de força e tendo em conta as várias limitações do projeto, a equipa propôs ao longo da investigação um conjunto de medidas.

Medida nº 1

Esta medida consistiu na definição da periodicidade da manutenção preventiva às ferramentas de corte dos pinos (*cutter, cutter blade e feeding finger*) (Figura 50). Para a definição da periodicidade, analisou-se o desgaste das ferramentas ao fim de um milhão de pinos inseridos comparativamente a ferramentas novas (Anexo VII).

Localização	Estado atual	Melhorias
Processo de inserção de pinos	Atualmente a manutenção preventiva às ferramentas de corte é realizada de acordo com a degradação apresentada quando verificada, isto é, sem qualquer periodicidade de substituição definida, pelo que a sua substituição é muitas vezes esquecida	Com a definição da manutenção preventiva às ferramentas de corte baseada no número de ciclos ou inserções, é possível garantir que o corte do pino se realiza na perfeição, isto é, com simetria em relação ao seu eixo de revolução. Um corte simétrico implica uma inserção alinhada do pino, que contribui para a redução da força de inserção
		Mudanças Periodicidade da manutenção preventiva às ferramentas de corte com base no número de ciclos (1 milhão de pinos inseridos). Estudo presente no Anexo VII
		Atividades Definição da periodicidade da manutenção preventiva às ferramentas de corte dos pinos (<i>cutter, cutter blade e feeding finger</i>)

Figura 50. Melhoria nº 1 - Definição da periodicidade da manutenção preventiva às ferramentas de corte dos pinos

Medida nº 2

Esta medida consistiu na alteração da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção, que passará a ser realizada tendo em conta a quantidade de pinos inseridos. Como se trata de uma manutenção que envolve a paragem da linha pelo menos 8h e componentes cuja substituição requer um investimento considerável, o número de ciclos será definido tendo em conta o desgaste dos componentes 6 meses após a última manutenção anual realizada. No caso dos componentes não apresentarem desgaste considerável ao fim dos 6 meses, será realizada uma outra verificação com um intervalo de tempo a definir e recolhidos os dados da quantidade de pinos inseridos, fazendo-se de forma iterativa a definição do período ótimo de manutenção (Figura 51).

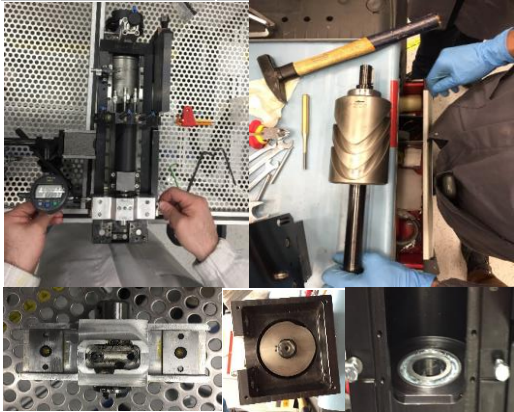
Localização	Estado atual	Melhorias				
Processo de inserção de pinos	Atualmente a manutenção preventiva à cabeça de inserção é realizada anualmente, tendo em conta o espectro temporal	Com a definição da manutenção preventiva à cabeça de inserção baseada no número de ciclos ou inserções, é possível garantir que todo o sistema mecânico funciona na perfeição, inserindo os pinos de forma alinhada e suave, o que contribui para a redução da força de inserção				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mudanças</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção com base no número de ciclos (a avaliar o nº consoante o estado da cabeça 6 meses após a manutenção realizada)</td> </tr> <tr> <th>Atividades</th> </tr> <tr> <td>Definição da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção dos pinos (rolamentos, guias, correção de folgas)</td> </tr> </tbody> </table>	Mudanças	Periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção com base no número de ciclos (a avaliar o nº consoante o estado da cabeça 6 meses após a manutenção realizada)	Atividades	Definição da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção dos pinos (rolamentos, guias, correção de folgas)
Mudanças						
Periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção com base no número de ciclos (a avaliar o nº consoante o estado da cabeça 6 meses após a manutenção realizada)						
Atividades						
Definição da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção dos pinos (rolamentos, guias, correção de folgas)						

Figura 51. Melhoria nº 2 - Alteração da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção

Medida nº 3

Esta medida consistiu na alteração do tubo de aspiração das limalhas resultantes do corte dos pinos, de forma a evitar acumulação de sujidade na zona de trabalho (Figura 52).

Localização	Estado atual	Melhorias				
Processo de inserção de pinos	Tubo de aspiração de plástico com constantes emendas devido à erosão provocada pelas limalhas resultantes do corte dos pinos	Remoção das limalhas resultantes do corte dos pinos da zona de trabalho				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mudanças</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alteração do material do tubo de aspiração e aplicação de um cotovelo junto ao bocal</td> </tr> <tr> <th>Atividades</th> </tr> <tr> <td>Limpeza da máquina; Análise da solução mais adequada ao contexto; Aplicação do novo conceito;</td> </tr> </tbody> </table>	Mudanças	Alteração do material do tubo de aspiração e aplicação de um cotovelo junto ao bocal	Atividades	Limpeza da máquina; Análise da solução mais adequada ao contexto; Aplicação do novo conceito;
Mudanças						
Alteração do material do tubo de aspiração e aplicação de um cotovelo junto ao bocal						
Atividades						
Limpeza da máquina; Análise da solução mais adequada ao contexto; Aplicação do novo conceito;						

Figura 52. Melhoria nº 3 – Alteração do tubo de aspiração das limalhas

Medida nº 4

Esta medida (Figura 53), consistiu em pedir ao fornecedor A PCBs com uma deposição média de cobre nos furos próxima do valor nominal (42,5 µm) com vista à obtenção de diâmetros próximos do valor nominal (1,070 mm) pois, tal como detetado na fase de análise, a média de

cobre depositado em cada furo das PCBs está próxima do limite superior de especificação (55 µm) (Figura 44 e Figura 45).

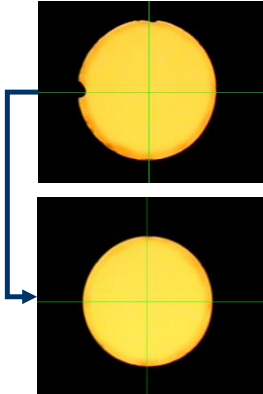
Localização	Estado atual	Melhorias				
Processo de inserção de pinos	Furação dentro de especificação mas com rebarbas e diâmetro médio a rondar os 1,030 mm	Redução dos defeitos provocados por excesso de força e obtenção de valores mais estáveis de altura e inclinação dos pinos				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mudanças</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Processo de eletrodeposição das PCBs mais lento e com tensão controlada por forma a obter uma deposição mais controlada de cobre, obtendo-se diâmetros próximos do nominal com uma superfície menos rugosa devido à formação de um grão mais pequeno e homogêneo</td> </tr> <tr> <th>Atividades</th> </tr> <tr> <td>Pedido ao fornecedor PCBs com deposição média de cobre nos furos próxima do valor nominal (42,5 µm) com vista à obtenção de diâmetros próximos do valor nominal (1,070 mm)</td> </tr> </tbody> </table>	Mudanças	Processo de eletrodeposição das PCBs mais lento e com tensão controlada por forma a obter uma deposição mais controlada de cobre, obtendo-se diâmetros próximos do nominal com uma superfície menos rugosa devido à formação de um grão mais pequeno e homogêneo	Atividades	Pedido ao fornecedor PCBs com deposição média de cobre nos furos próxima do valor nominal (42,5 µm) com vista à obtenção de diâmetros próximos do valor nominal (1,070 mm)
Mudanças						
Processo de eletrodeposição das PCBs mais lento e com tensão controlada por forma a obter uma deposição mais controlada de cobre, obtendo-se diâmetros próximos do nominal com uma superfície menos rugosa devido à formação de um grão mais pequeno e homogêneo						
Atividades						
Pedido ao fornecedor PCBs com deposição média de cobre nos furos próxima do valor nominal (42,5 µm) com vista à obtenção de diâmetros próximos do valor nominal (1,070 mm)						

Figura 53. Melhoria nº 4 – Alteração da deposição de cobre nos furos para valores nominais

Medida nº 5

Esta medida consistiu na implementação de um novo pino para futuros produtos e produtos existentes, no caso de aprovação por parte do cliente (Figura 54).

O cliente do produto 300374 aceitou a mudança para o novo pino que será implementado em meados de julho de 2018. A Bosch encontra-se ainda a tentar chegar a um acordo com cliente do produto 301368.

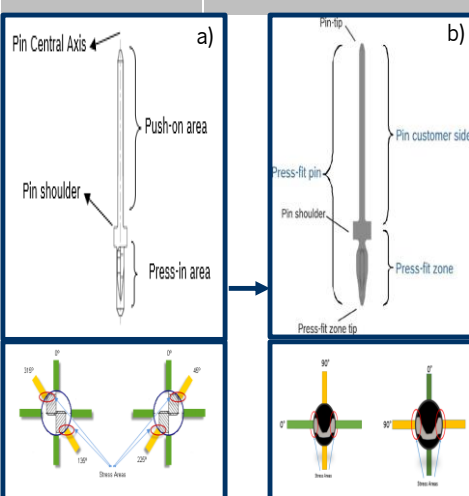
Localização	Estado atual	Melhorias				
Processo de inserção de pinos	Atualmente utiliza-se um pino temperado de liga CuNiSn	Redução dos defeitos provocados por excesso de força e obtenção de valores mais estáveis de altura e inclinação dos pinos				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mudanças</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Implementação de um pino não temperado, com a mesma composição mas com um conceito mecânico menos problemático</td> </tr> <tr> <th>Atividades</th> </tr> <tr> <td>Aprovação do pino através de um conjunto de atividades, tais como: i) medição previa das furações das PCBs do produto, provenientes do Fornecedor A e do Fornecedor B; ii) inserção do pino nas PCBs; iii) registo das forças de inserção, altura e inclinação dos pinos inseridos; iv) obtenção do Cpk; v) cortes seccionais; vi) testes de Push-out e Push-through force</td> </tr> </tbody> </table>	Mudanças	Implementação de um pino não temperado, com a mesma composição mas com um conceito mecânico menos problemático	Atividades	Aprovação do pino através de um conjunto de atividades, tais como: i) medição previa das furações das PCBs do produto, provenientes do Fornecedor A e do Fornecedor B; ii) inserção do pino nas PCBs; iii) registo das forças de inserção, altura e inclinação dos pinos inseridos; iv) obtenção do Cpk; v) cortes seccionais; vi) testes de Push-out e Push-through force
Mudanças						
Implementação de um pino não temperado, com a mesma composição mas com um conceito mecânico menos problemático						
Atividades						
Aprovação do pino através de um conjunto de atividades, tais como: i) medição previa das furações das PCBs do produto, provenientes do Fornecedor A e do Fornecedor B; ii) inserção do pino nas PCBs; iii) registo das forças de inserção, altura e inclinação dos pinos inseridos; iv) obtenção do Cpk; v) cortes seccionais; vi) testes de Push-out e Push-through force						

Figura 54. Melhoria nº 5 – Implementação de um novo pino

Na Figura 54 encontram-se representados o pino atual e o novo pino a ser implementado nos produtos através das letras a) e b), respetivamente.

Através da representação dos pinos em corte seccional presente na Figura 54, compreende-se que o conceito mecânico dos pinos é bastante diferente. Quando o pino a) é inserido existe um deslizamento na junta e as zonas de tensão estão presentes a 45°. No pino b) existe uma contração perpendicular ao eixo do pino, fazendo um efeito do tipo “mola”.

Além disso, também as especificações são distintas, pois o pino atual deve atuar num patamar de força entre 60N e 180N e a força de extração deve ser no mínimo 25N, enquanto que o novo pino deve atuar num patamar de força entre 55N e 140N e a força de extração deve ser no mínimo 50N.

Os furos das PCBs para o novo pino encontram-se especificados entre um diâmetro mínimo de 0,970 mm e um diâmetro máximo de 1,070 mm, já tendo em consideração o acabamento final (Anexo VIII). Para a aprovação do novo pino utilizaram-se PCBs de um novo produto que, tal como os dois produtos selecionados para o estudo na dissertação, são abastecidas pelos Fornecedores A e B.

Cada *nutzen* do produto utilizado para a aprovação do novo pino é composta por 18 PCBs com quatro furos cada. Mediu-se previamente as furações das PCBs procedendo-se, de seguida, à inserção dos pinos (Figura 55).

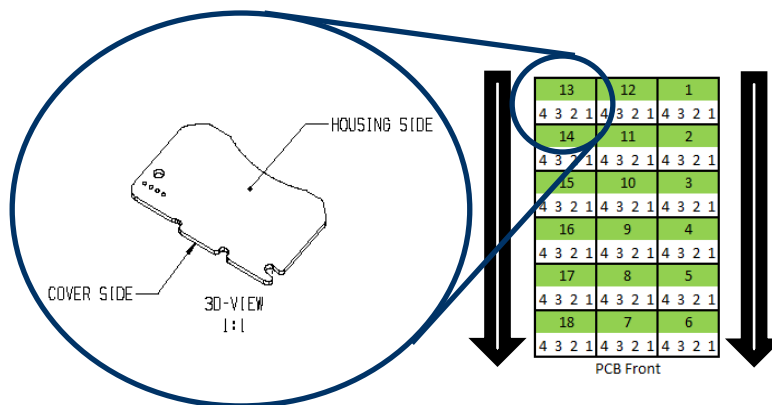


Figura 55. Sequência de inserção dos pinos nas PCBs

Os registos do diâmetro da furação e respetivas forças de inserção encontram-se no Anexo VIII, encontrando-se ambos de acordo com a especificação.

Através dos valores obtidos procedeu-se ao cálculo do Cpk através do *software* qn-STAT, obtendo-se Cpk igual a 4,21, 2,33 e 1,00 para a força de inserção, altura e desvio do pino, respetivamente. O reduzido valor de Cpk relativo ao desvio do pino (1,00), deve-se à dispersão dos valores dentro dos limites, provocada pelas diferenças nos diâmetros nas mesmas PCBs.

Na Figura 56, encontram-se as cartas de controlo relativas à força de inserção, altura e desvio dos pinos que foram obtidas após a introdução dos dados no qs-STAT.

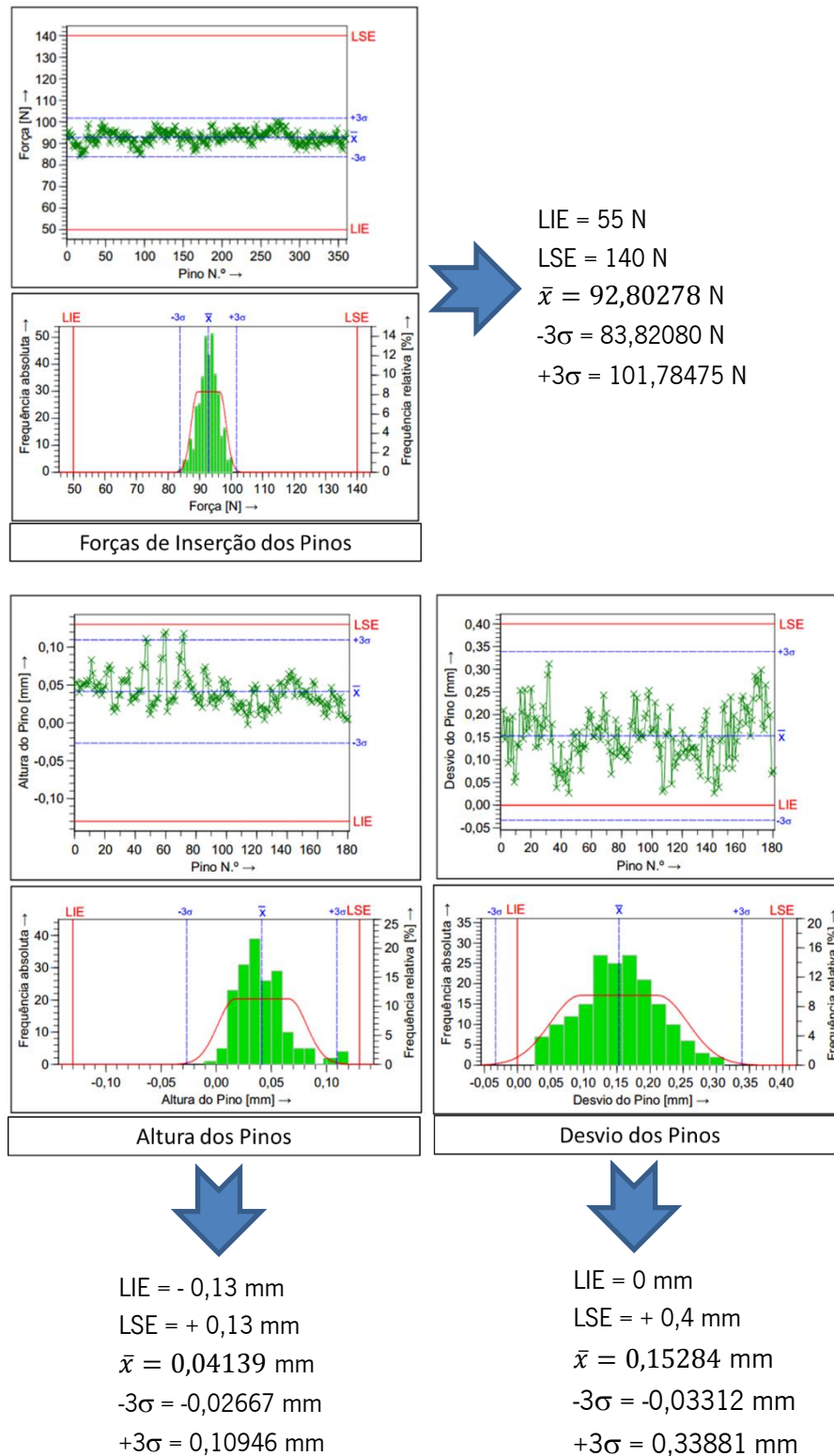


Figura 56. Gráficos de controlo de valores individuais

O processo encontra-se sob controlo estatístico pois não existem valores fora dos limites e tendências nos valores obtidos.

Com o intuito de validar a força de inserção permitida pelo pino sem que se danifique a microestrutura, realizaram-se cortes seccionais de acordo com o plano de corte 1 e 2 presente no esquema da Figura 57.

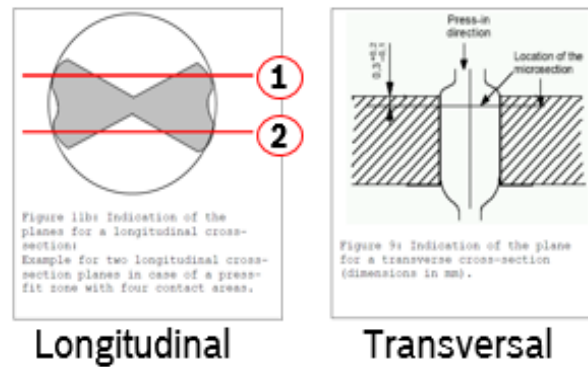


Figura 57. Esquema dos cortes seccionais realizados nas PCBs de aprovação do novo pino

Na Figura 58 encontram-se as *nutzens* utilizadas em cortes seccionais. As *nutzens* 1 e 2 são provenientes do fornecedor B e a *nutzen* 3 do fornecedor A.

Ainda na Figura 58 estão assinaladas, especificamente, as PCBs em que se realizaram cortes longitudinais e transversais, nos quais, conforme o esquema anterior, L1, L2 e T correspondem ao corte longitudinal segundo o plano 1 e 2 e ao corte transversal, respetivamente.

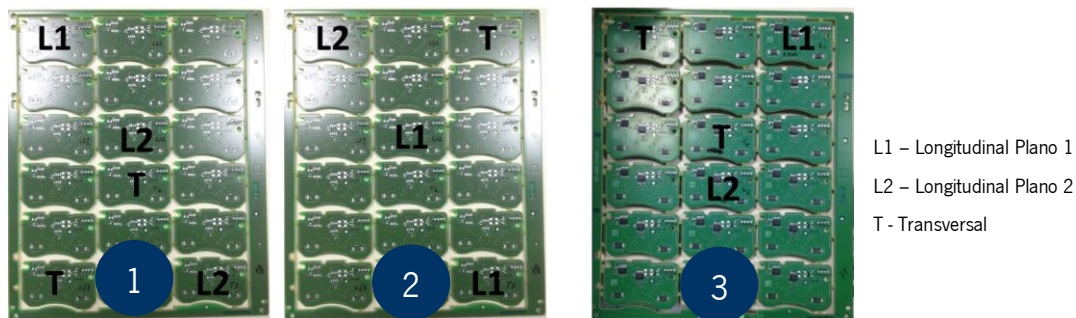


Figura 58. *Nutzens* utilizadas em cortes seccionais

Com o intuito de se avaliar a qualidade da ligação entre os pinos e as PCBs e avaliar a força com a distância percorrida pelo pino ao longo do furo, realizaram-se os testes de extração (*push-out*) e inserção (*push-through*) de acordo com a especificação geral interna de referência 1 279 927 926. Antes de se realizar estes testes observou-se um período de repouso de pelo menos 24 horas após a inserção, para que fosse assegurado o relaxamento do pino.

Da *Nutzen* 5 (Figura 59), foram utilizados 20 pinos para avaliação da força de *push-out* e 20 pinos para avaliação da força de *push-through*, utilizando-se como equipamento de teste o Zwick

Z010 da Zwick Roell. De notar que apenas a *Nutzen* 1,2,3 e 5 foram utilizadas para os testes mencionados, sendo que as restantes *nutzens* apenas foram utilizadas para a obtenção do cpk.

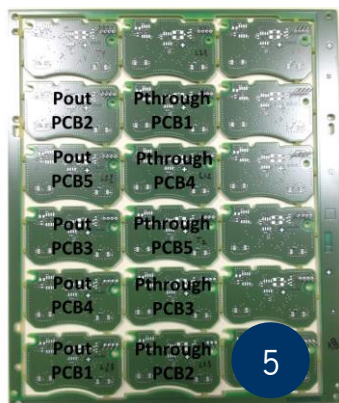


Figura 59. *Nutzen* utilizada para testes de *push-out* e *push-through*

Todas as forças de *push-out* e *push-through* medidas nos testes realizados estão de acordo com a especificação e encontram-se registadas no Anexo VIII. A título de exemplo são apresentados apenas os resultados da PCB1 (Figura 60 e Figura 61).

Nos testes de *push-out*, os pinos são extraídos perpendicularmente à PCB em sentido oposto ao de inserção, aplicando força na ponta do pino através de uma ferramenta apropriada com superfície plana e um suporte complementar da PCB. De acordo com a especificação geral interna de referência 1 279 927 926, os parâmetros de *push-out* a utilizar devem ser os seguintes:

- Pré-carga: 1 N;
- Velocidade de aproximação: 5 mm/min;
- Velocidade de teste: 10 mm/min;
- Deslocamento: 0,3 mm.

As forças típicas de *push-out* encontram-se listadas na especificação. No processo de avaliação destas forças devem ser tidos em consideração os seguintes critérios:

- A força medida (F_{out}) deve ser maior ou igual à força mínima requerida e definida na especificação (F_{out_min});
- A força medida (F_{out}) de um pino é determinada pelo máximo no gráfico de força-deslocamento, designado por “pico de rutura inicial”, que corresponde à quebra da ligação entre o pino e a PCB (Figura 60). O máximo deve ser seguido por uma queda de pelo menos 5N na força.

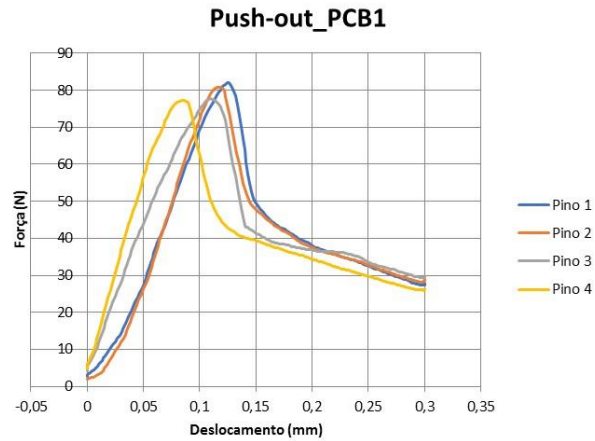


Figura 60. Forças de *Push-out* PCB1

Nos testes de *push-through* a força é medida no sentido da inserção de pinos, através da aplicação de força no ombro do pino. De acordo com a especificação geral interna de referência 1 279 927 926, os parâmetros de *push-through* a utilizar devem ser os seguintes:

- Pré-carga: 1 N;
- Velocidade de aproximação: 5 mm/min;
- Velocidade de teste: 10 mm/min;
- Deslocamento: 0,5 mm, a menos que o ombro do pino toque a PCB anteriormente.

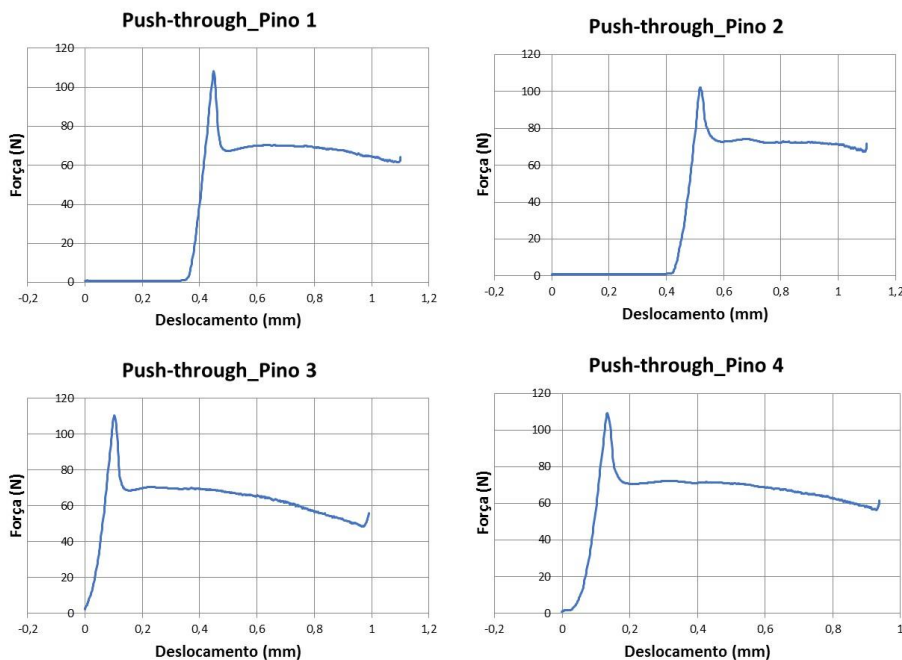


Figura 61. Forças de *Push-through* PCB1

A força medida ($F_{through}$) de um pino é determinada pelo máximo no gráfico de força-deslocamento, designado por “contacto inicial”, que corresponde ao início da ligação entre o

pino e a PCB (Figura 60). O máximo deve ser seguido por uma queda de pelo menos 5N na força.

A aprovação do novo pino revelou-se bem-sucedida na medida em que os resultados obtidos de força, altura e desvio dos pinos inseridos se revelaram estáveis e de acordo com os limites de especificação. Além disso, as análises efetuadas (cortes seccionais e testes de *push-out* e *push-through*) não apresentam desvios relativamente à especificação geral interna de referência 1 279 927 926.

Medida nº 6

Esta medida consistiu na alteração da sequência de inserção cruzada para sequência linear em todos os produtos (Figura 62). Não obstante a identificação da necessidade de implementação desta medida na fase de análise, considerou-se relevante a sua efetivação para reduzir a longo prazo o desgaste da mesa da máquina, assim como, reduzir os erros de posicionamento da placa, contribuindo desta forma para a redução do atrito e força de inserção dos pinos pela inserção mais centrada dos mesmos na furação.

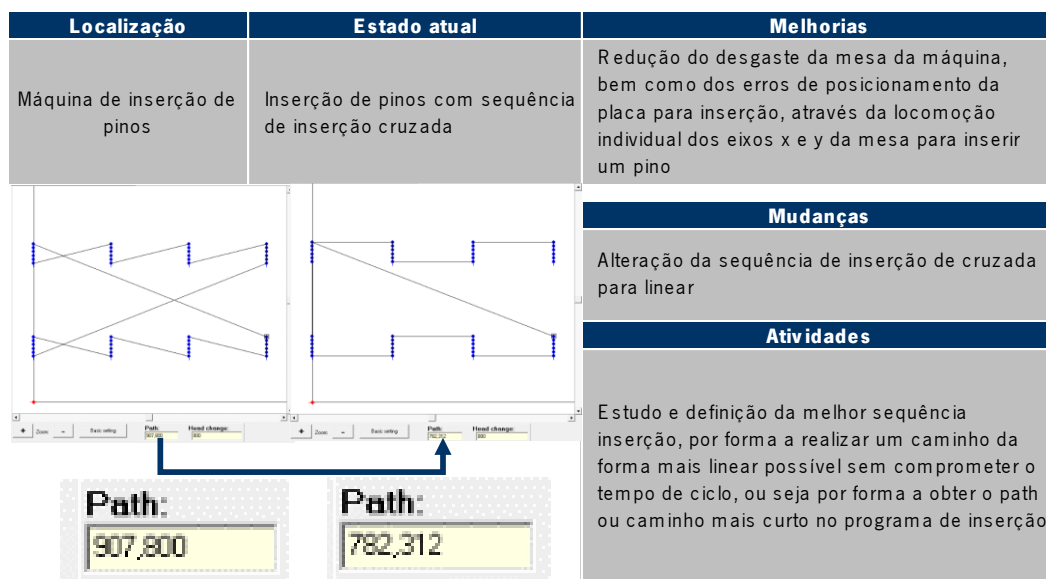


Figura 62. Melhoria nº 6 - Alteração de sequência de inserção cruzada para sequência linear em todos os produtos

Esta medida permite não só reduzir a problemática, como também o desgaste da própria máquina e o tempo de ciclo, pois apenas se movimenta um eixo de cada vez para inserir os pinos.

Medida nº 7

Esta medida consistiu na melhoria do ajuste da máquina para cada início de produção, alterando-se para tal o método de validação (Figura 63). A alteração realizada com a medida nº 7 permite produzir com maior estabilidade pois com a inspeção da altura (desde a ponta à superfície da PCB) e inclinação de todos os pinos, ajustar-se-á a máquina de forma mais precisa.

Localização	Estado atual	Melhorias
Microscópio de validação	Inspeção da altura e inclinação de dois pinos por PCB, com medição da altura do pino desde o ombro à superfície da PCB, através de dois pontos de focagem	Produção com maior estabilidade devido ao ajuste da máquina através dos dados de controlo a 100% da altura e inclinação dos pinos em cada PCB na validação
		<p>Mudanças</p> <p>Inspeção de todos os pinos em cada PCB, com medição da altura do pino desde a ponta à superfície da PCB; Procedimento de criação de programas de inspeção;</p> <p>Atividades</p> <p>Alteração do procedimento de criação de programas de inspeção; Criação dos programas de inspeção de todos os pinos por PCB para todos os produtos;</p>

Figura 63. Melhoria nº 7 – Alteração do método de validação

De salientar que, apesar da melhoria assentar no controlo de todos os pinos das *nutzens* a analisar ao invés de apenas dois pinos por PCB, o tempo de inspeção diminuiu, em média, cerca de um minuto pois a focagem dos ombros é mais demorada.

Medida nº 8

Tal como observado na etapa de análise, apesar de o fornecedor cumprir com a especificação existem valores de diâmetro da furação que se tornam problemáticos para o processo devido à quantidade de cobre depositada. Sendo assim, a medida nº 8 (Figura 64), consistiu na elaboração de programas de inspeção da furação para todos os produtos com o intuito de monitorizar os diâmetros das PCBs e alertar o fornecedor quando estes atingem o limite de reação de 1,040 mm de diâmetro, valor definido como crítico para o processo pela análise realizada.

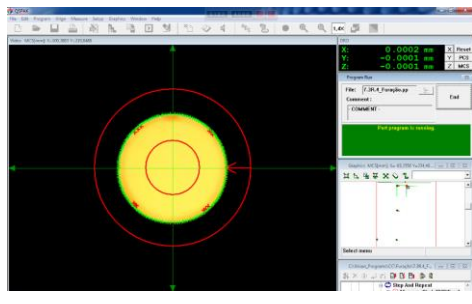
Localização	Estado atual	Melhorias
Microscópio de validação	Apenas se inspecionam os pinos	Monitorização do estado da furação, garantindo que a produção utiliza PCBs de qualidade
		
Mudanças		
Análise do estado da furação de todas as PCB de uma <i>nutzen</i> no início de cada produção		
Atividades		
Criação dos programas de inspeção de todos os furos por PCB para todos os produtos		

Figura 64. Melhoria nº 8 – Criação de programas de inspeção da furação para todos os produtos

Apesar de ser mais uma verificação para além da realizada atualmente às duas *nutzens* com pinos, não haverá qualquer impacto em termos produtivos pois trata-se de programas automáticos que serão executados enquanto se produz.

Medida nº 9

Esta medida consistiu no desenvolvimento de uma aplicação designada de “QCO Timer” que permitirá o registo dos lotes das PCBs e dos pinos. Embora internamente na Bosch esse registo já seja realizado por questões de rastreabilidade, na linha estão frequentemente presentes várias PCBs e vários rolos de pinos de lotes distintos para que não existam paragens por falta de material. Através desta aplicação será possível consultar que material de facto foi utilizado em cada produção, com o benefício acrescido de contagem do tempo de *changeover* (Figura 65).


Localização	Estado atual	Melhorias
Processo de inserção de pinos	Utilizam-se folhas de registo para documentar apenas a informação relativa à validação no microscópio, que atualmente é efetuada num início de turno, mudança de produção e mudança de rolo de pinos	Controlo do material utilizado na produção, bem como o tempo de <i>changeover</i>
		
Mudanças		
Alteração do modo de registo da informação relativa à validação no microscópio, de manual para informático através do registo no servidor e da aplicação "QCO Timer", que permite a monitorização acrescida do material utilizado na produção e tempo de <i>changeover</i>		
Atividades		
Desenvolvimento da aplicação “QCO Timer” e respetiva instrução de trabalho, para controlo dos lotes de PCBs, lotes de pinos e tempos de <i>changeover</i>		

Figura 65. Melhoria nº 9 - Desenvolvimento da aplicação “QCO Timer”

Desta forma existirá um histórico total da matéria-prima utilizada, tornando-se mais fácil rastrear problemas de fornecimento que eventualmente possam surgir.

Tornar-se-á ainda o posto de trabalho mais limpo e organizado ao eliminar as folhas de registo, passando-se a fazer todo o registo informaticamente.

4.2.5 Controlar

A fase de controlo do projeto tem como finalidade avaliar a eficácia das ações tomadas até à data de conclusão do trabalho e implementar medidas que permitam assegurar o controlo do processo. Desta forma, tornou-se possível verificar se as medidas implementadas permitiram a redução das forças de inserção no processo produtivo e, conseqüentemente, a redução da rejeição e custos associados.

A avaliação da eficácia das melhorias implementadas foi realizada através da recolha dos dados de rejeição, cálculo do nível sigma (Tabela 20) e confrontação destes com os resultados obtidos no decorrer da fase de definição do problema (Tabela 4). Embora algumas das datas previstas para a implementação das várias ações de melhoria apontem para um período que vai além do previsto para esta dissertação, conforme representado no quadro resumo da Tabela 19, será contudo possível ao autor enquanto membro da equipa Seis Sigma, acompanhar a última fase de aplicação da abordagem DMAIC e avaliar a efetividade de todas as ações implementadas, uma vez que passará a exercer funções como especialista do processo na organização.

No decorrer da implementação das melhorias no processo, a equipa acompanhou diariamente a produção na linha, dando o suporte ao que ia sendo requerido pelos operadores nomeadamente no que diz respeito à validação no microscópio. Este acompanhamento no terreno visou também averiguar a ocorrência de problemas ou necessidade de ajustes após a implementação de cada uma das ações.

A manutenção anual à cabeça de inserção e substituição das ferramentas de corte, realizada a 4 de maio de 2018 (semana 18), traduziu-se numa ligeira redução da rejeição (Figura 66), no entanto, os defeitos inerentes ao excesso de força continuaram a existir, continuando-se a sucatar bastantes PCBs. Este acontecimento permitiu à equipa concluir que, embora o estado da máquina contribua para a redução da problemática, existem outros fatores que também contribuem para a mesma.

O ajuste da quantidade de cobre depositado na furação para valores médios próximos do nominal (Melhoria nº 4), efetivado em ambos os produtos entre a semana 22 e 24 por parte do fornecedor

A, foi uma das medidas essenciais para a redução do problema (Figura 66). Este ajuste assentou na alteração do processo de eletrodeposição das PCBs, que passou a ser feito de forma mais lenta e com tensão mais controlada, tornando-se possível obter uma maior precisão na deposição de cobre, diâmetros próximos do valor nominal e paralelamente uma superfície menos rugosa devido à formação de um grão mais pequeno e homogéneo.

Tabela 19. Resumo das Melhorias Implementadas ou a Implementar

Local	Problema	Ação	Melh. N ^o	Data Implem.
Processo de inserção de pinos	Ferramentas de corte dos pinos sem periodicidade de substituição definida	Definição da periodicidade da manutenção preventiva às ferramentas de corte dos pinos com base no número de ciclos	1	Maio 2018
	Manutenção preventiva à cabeça de inserção não tem em consideração os ciclos de trabalho	Definição da periodicidade da manutenção preventiva à cabeça de inserção dos pinos, com base no número de ciclos	2	Novembro 2018
	Presença de limalhas na zona de trabalho	Alteração do material do tubo de aspiração e aplicação de um cotovelo junto ao bocal	3	Maio 2018
	Diâmetro e quantidade de cobre depositado na furação das PCBs	Pedido ao fornecedor PCBs com furação e deposição de cobre próximos do valor nominal	4	Junho 2018
	Geometria do pino atual	Aprovação de um novo pino Implementação do novo pino no produto 300374	5	Maio 2018 e Agosto 2018
	Desgaste da mesa e erros de posicionamento	Estudo e definição da melhor sequência inserção para todos os produtos, de forma a realizar um percurso o mais linear possível	6	Junho 2018
	Falta de registo dos lotes de PCBs e pinos utilizados pela produção	Desenvolvimento da aplicação "QCO Timer"	7	Abril 2018
Microscópio de validação	Ajuste inadequado da máquina para a produção	Criação dos programas de inspeção de todos os pinos por PCB para todos os produtos	8	Maio 2018
	A furação das PCBs não é controlada	Criação dos programas de inspeção de todos os furos por PCB para todos os produtos	9	Maio 2018

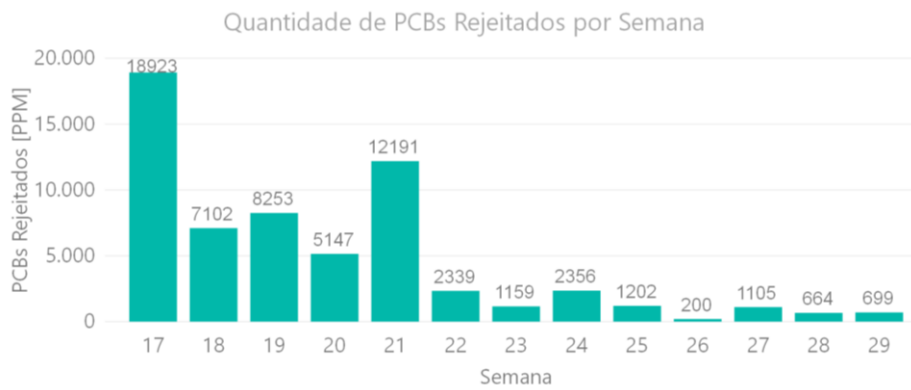


Figura 66. Valores semanais dos DPMOs em 2018, no período correspondente à implementação das melhorias O SOP do produto 300374 com o novo pino (Melhoria nº 5) deu-se a 6 de agosto de 2018, tendo-se inserido 5280 pinos com zero defeitos. Observe-se na Figura 67 a reduzida variabilidade que este pino confere. Além disso, a força média que este pino apresenta é mais baixa e próxima do valor nominal comparativamente ao pino antigo ainda integrante no produto 301368 (Figura 68).

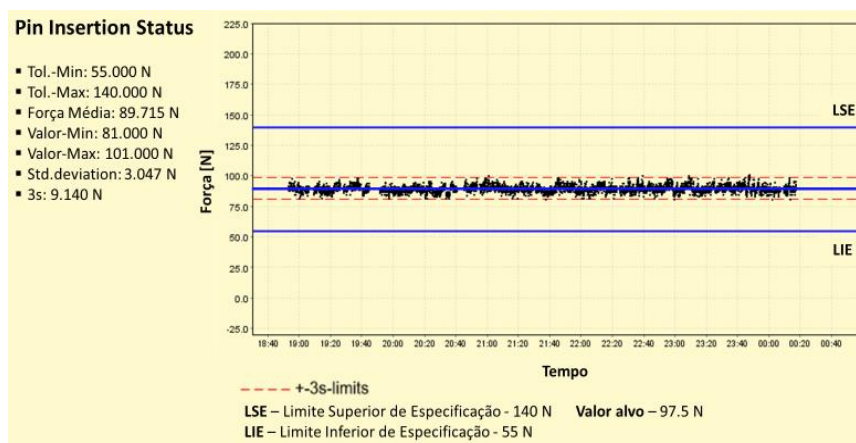


Figura 67. Variação das forças de inserção ao longo do tempo do produto 300374 com o novo pino

Dada a estabilidade deste pino muito dificilmente irão surgir novamente no produto 300374 pinos inseridos com excesso de força, encontrando-se o problema aparentemente resolvido. Com o conjunto de melhorias implementadas na máquina, no microscópio de validação e nos produtos em estudo, tornou-se possível elevar os níveis de qualidade. Estas medidas, permitiram reduzir as forças de inserção para valores próximos do nominal no produto 300374 e no produto 301368 (Figura 67 e Figura 68, respetivamente) e, conseqüentemente, os DPMOs para um valor de 312 PPM, aumentando-se o nível sigma para 4,92 (Tabela 20). Desta forma superaram-se os objetivos propostos na fase de definição do projeto, de redução em 50% dos DPMOs e alcance de um nível sigma igual a 4,44.

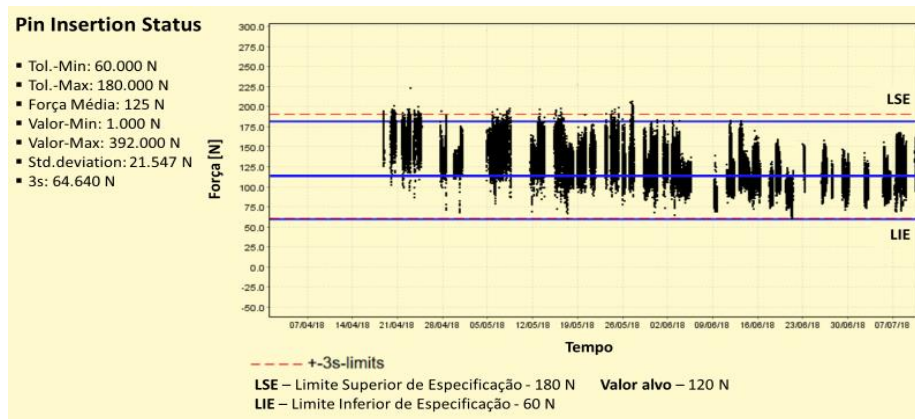


Figura 68. Variação das forças de inserção ao longo do tempo do produto 301368

Note-se que a implementação do novo pino no produto 301368 ainda se encontra em negociação com o cliente, razão pela qual a equipa propôs melhorias alternativas possíveis dentro do contexto.

Tabela 20. Cálculo do nível sigma após melhorias

Process Sigma Calculation							
Project		Six Sigma Insertion Force Reduction					
Collect Date		From	01-05-2017	to	31-08-2018		
Defects	Unit	DPU	Opport	Total Opp	DPO	DPMO	Z
1434	4590134	0,0000	1	4590134	0,0000	312	4,92

SIGMA GOAL		
DPO	DPMO	ZGOAL
0,0000	1616	4,44

$Z \leq 3 \rightarrow$ DPMO Reduction by 90%
 $Z > 3 \rightarrow$ DPMO Reduction by 50%

Traçou-se ainda o gráfico da evolução mensal dos defeitos de pinos inseridos com excesso de força, complementar ao da Figura 30, no qual é possível visualizar que após o mês de maio (início de implementação das melhorias), se reduziram os defeitos.

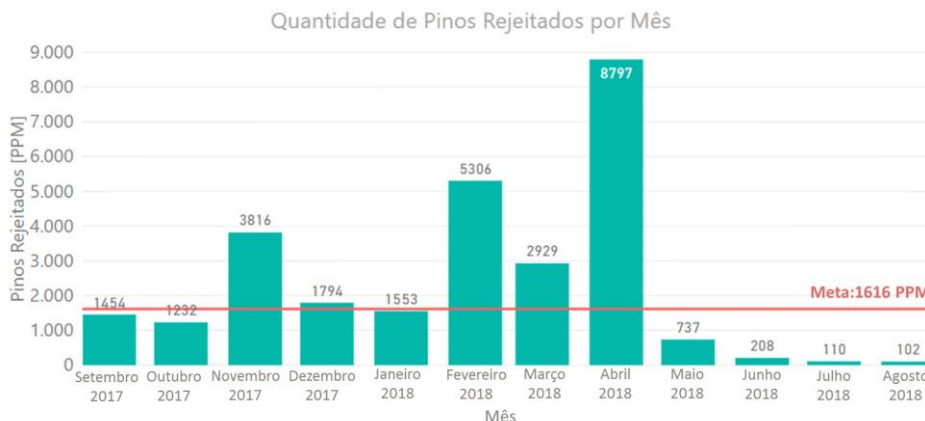


Figura 69. Valores mensais dos DPMO entre setembro de 2017 e agosto de 2018

Tendo em consideração o valor da rejeição inicial, rejeição atual e as quantidades de produção previstas dos produtos 300374 e 301368 até dezembro de 2019 calcularam-se os gastos em

euros por mês (Figura 70 e Figura 71). A última produção do produto 300374 com o pino atual, conforme representado na Figura 70, está prevista para meados de Maio de 2019, passando desde então este produto a ser produzido somente com o novo pino, que demonstrou tornar o processo bastante estável e livre de problemas.

Através do exercício matemático da diferença entre os gastos com a rejeição inicial e rejeição atual, tem-se que até dezembro de 2019 a Bosch poupará cerca de 9.529,31€ com o produto 300374 e 112.531,97€ com o produto 301368.

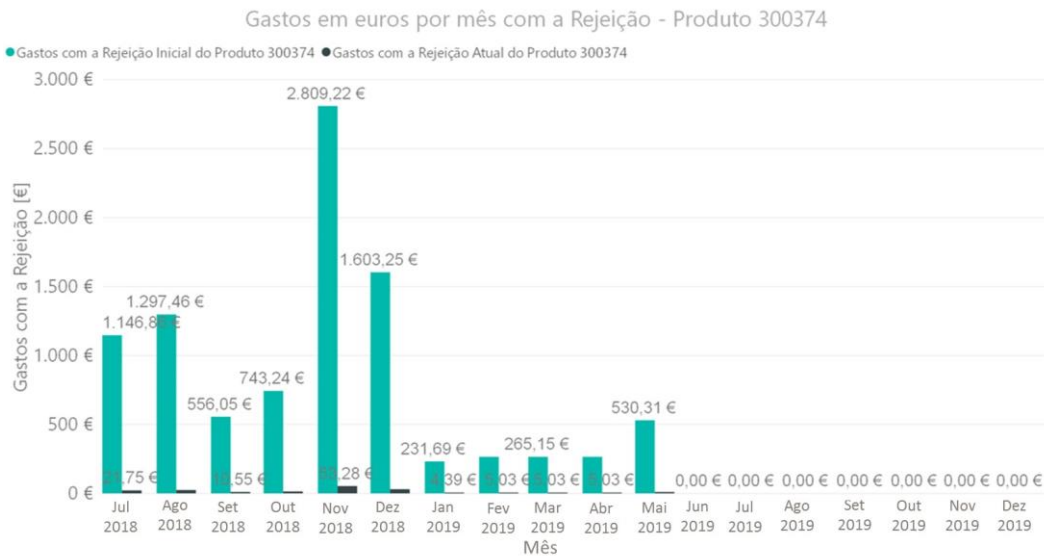


Figura 70. Gastos em euros previstos com o produto 300374

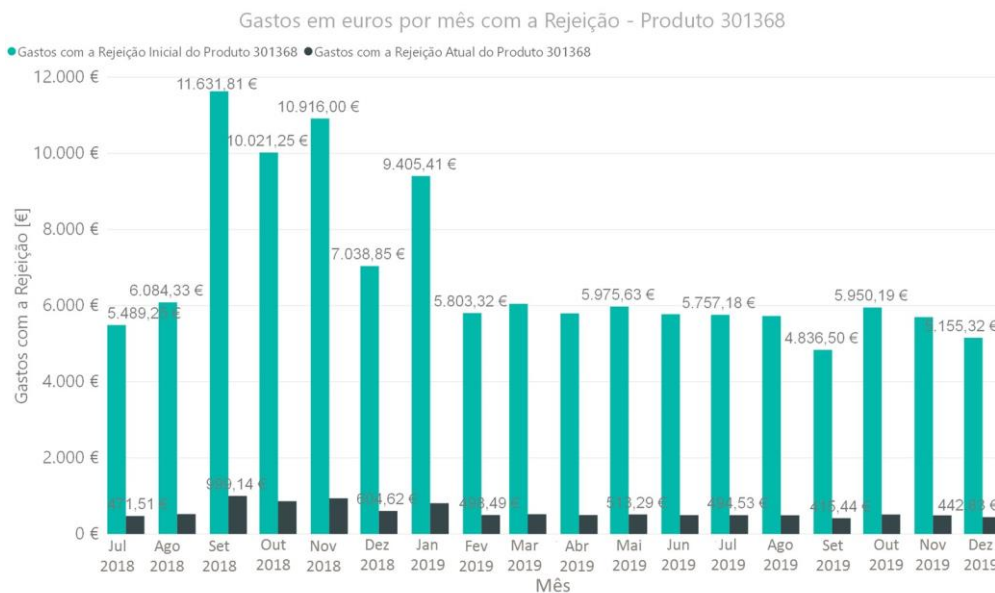


Figura 71. Gastos em euros previstos com o produto 301368

De forma a assegurar que o processo permanece sob controle, a equipa definiu um procedimento de análise da furação no arranque de cada produção (Melhoria nº 8) para garantir que as placas utilizadas em produção têm a qualidade pretendida. Ficou acordado que, após a

validação dos pinos das duas *nutzens* num arranque de produção, se irão medir, em todos os produtos a produzir, todos os furos das PCBs de uma *nutzen* com os programas de medição da furação concebidos na fase de melhoria.

Deste modo será possível fazer uma monitorização dos diâmetros das PCBs, alertando o fornecedor quando atingirem o limite de reação de 1,040 mm de diâmetro, valor definido como crítico para o processo pela análise realizada.

Este procedimento, juntamente com a aplicação “QCO Timer” (Melhoria nº 9), irá permitir ter um controlo rigoroso da matéria-prima utilizada no processo, uma vez que serão registados os lotes de pinos, lotes de PCBs e a média de diâmetros da furação das placas que se encontram em produção. Para garantir a correta execução deste procedimento elaborou-se para o efeito uma Instrução para Fabricação e Controlo (IFC) e foi dada formação aos operadores (Anexo IX). No que diz respeito aos programas de inspeção e inserção, para que se mantenham como pretendido, foi estabelecida a conexão do microscópio e da máquina a um *software* interno de forma a receber alertas de necessidade de substituição das ferramentas de corte, manutenção à cabeça de inserção e de alterações efetuadas nos programas de inserção e inspeção, garantindo que todas as alterações são aprovadas pelo especialista do processo.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as conclusões e contribuições do estudo, assim como algumas limitações que surgiram durante o projeto e sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões e contribuições do projeto de investigação

O projeto de dissertação teve como fruto a melhoria da qualidade de um processo específico da área de inserção automática da Bosch Car Multimédia Portugal S.A., o processo de inserção de pinos. O principal objetivo deste projeto consistiu em reduzir o número de unidades defeituosas produzidas pelo processo através da aplicação da metodologia Seis Sigma, permitindo reduzir os custos da qualidade inerentes e não comprometer jamais o abastecimento das linhas de montagem final. Entre 1 de setembro de 2017 e 30 de abril de 2018 a empresa teve um prejuízo acumulado na ordem dos 88.946€, pelo que, consciente da magnitude do problema a equipa trabalhou afincadamente através do projeto descrito nesta dissertação com o propósito de o colmatar.

Visto que as organizações possuem processos e produtos cada vez mais complexos, torna-se imperativo empregar metodologias e ferramentas orientadas para o cliente, tal como o Seis Sigma, para analisar dados de forma concisa e tomar decisões de forma acertada. Após uma análise detalhada da literatura foi possível identificar que, apesar do uso da metodologia Seis Sigma ser bastante comum na indústria em geral, particularmente na indústria automóvel, não há qualquer registo de aplicação desta metodologia neste processo em particular.

Partindo-se do objetivo inicial, efetuou-se uma análise exaustiva para determinar a causa-raiz, concluindo-se que é a interação de três fatores que origina o excesso de força, sendo estes as características físicas das PCBs, o fator zona de contacto dos pinos e o fator desgaste de componentes da máquina. Através do conjunto de melhorias implementadas com foco nos três fatores mencionados elevaram-se os níveis de qualidade do processo, tornando-o mais estável e com menor variabilidade ao reduzirem-se as forças de inserção para valores próximos do nominal.

Estabeleceram-se ainda medidas para assegurar o controlo do processo, tais como o procedimento de análise da furação no arranque de cada produção, para garantir que as placas utilizadas em produção têm a qualidade pretendida. Este procedimento, juntamente com a aplicação desenvolvida “QCO Timer”, permite controlar com rigor a matéria-prima utilizada no processo. A conexão da máquina e do microscópio a um *software* interno foi também estabelecida de forma a receber alertas de necessidade de substituição das ferramentas de corte, manutenção à cabeça de inserção e atualizações em tempo real de alterações efetuadas nos programas de inserção e inspeção.

Como resultado do trabalho realizado reduziram-se os DPMOs para um valor de 312 PPM, aumentando-se o nível sigma para 4,92. Desta forma, superaram-se os objetivos propostos na fase de definição do projeto, de redução em 50% dos DPMOs e alcance de um nível sigma igual a 4,44 permitindo que as ações e os resultados obtidos sejam alvo de partilha com a Bosch situada na China através das reuniões *kaizen* mensais.

Estimou-se ainda, tendo em consideração a rejeição inicial e rejeição atual dos produtos de estudo, que até dezembro de 2019 a Bosch poupará cerca de 9.529,31€ com o produto 300374 e 112.531,97€ com o produto 301368, por mérito do trabalho efetuado.

A utilização de algumas das ferramentas da qualidade e da metodologia Seis Sigma revelou-se um aspeto extremamente positivo na medida em que a sua aplicação originou melhorias significativas na qualidade do processo de inserção de pinos, no entanto, em ambiente industrial

o recurso “tempo” torna-se um obstáculo para ir mais além e utilizar ferramentas mais avançadas. É seguro afirmar que o projeto em termos de resultados obtidos e ferramentas utilizadas, é semelhante a outros projetos Seis Sigma na Indústria Automóvel existentes na literatura, ainda assim, outros projetos futuros já delineados trarão a possibilidade de se utilizar ferramentas mais avançadas da metodologia tais como o DOE.

Através dos vários passos da metodologia Seis Sigma foi possível obter um conhecimento aprofundado do processo sujeito a melhoria, criando aptidões para a resolução de problemas futuros. O sucesso do projeto contribuiu também para impulsionar o início de mais projetos, que irão permitir aumentar constantemente os níveis de qualidade da Bosch e com isso melhorar a posição estratégica da empresa tanto a nível externo como dentro de empresas do grupo.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Ainda que o desenvolvimento do projeto e a sua conclusão tenha sido positiva, na medida em que se superou os objetivos propostos na fase de definição do projeto, existem outros estudos que poderão ser realizados para continuar a desenvolver a melhoria contínua no processo produtivo.

O estudo realizado para os produtos definidos como prioritários pode ser alargado para aos restantes produtos, adotando-se a mesma abordagem com os seus fornecedores, com o intuito de receber PCBs de qualidade e menos problemáticos para o processo. Além disso, as melhorias implementadas na máquina de pinos em estudo podem ser replicadas para a outra máquina presente na linha e partilhadas com as restantes empresas do Grupo Bosch, assim como também as melhorias implementadas nos produtos e no microscópio de validação.

Acresce uma outra atividade que poderá vir a ser realizada futuramente. Esta consiste em eliminar a falsa rejeição apresentada pelo AOI, nomeadamente, com a aquisição de um sistema de visão mais preciso e que permita controlar a altura e o desvio dos pinos a 100%, eliminando-se assim o microscópio de validação da linha. Este estudo permitirá reduzir tempos de ciclo, tempos de mudança de produção e aumentar a qualidade do processo na globalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdolshah, M., & Yusuff, R. M. (2009). Fundamental elements for the successful performance of Six Sigma projects in service industries. *Paper presented at the 11th Conference on Quality Management and Organizational Development Attaining Sustainability from Organizational Excellence to Sustainable Excellence*. Helsingborg, Sweden.
- Anderson, J. C., & Rungtusanatham, M. (1994). A Theory of Quality Management Underlying the Deming Management Method. *Academy of Management Review*, *19*(3), 472–509. doi:10.5465/AMR.1994.9412271808
- António, N. S., Teixeira, A., & Rosa, Á. (2016). *Gestão da Qualidade: de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM*. Lisboa: Edições Silabo.
- Antony, J., & Banuelas, R. (2001). A strategy for survival. *Manufacturing Engineer*, *80*(3), 119–121.
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002a). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. *TQM Magazine*, *14*(2), 92–99. doi:10.1108/09544780210416702
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002b). Design for Six Sigma. *Manufacturing Engineer*, *81*(1), 24–26. doi:10.1049/me:20020102
- Antony, J., & Banuelas, R. (2002c). Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring Business Excellence*, *6*(4), 20–27. doi:10.1108/13683040210451679
- Antony, J., & Fergusson, C. (2004). Six Sigma in the software industry: Results from a pilot study. *Managerial Auditing Journal*, *19*(8), 1025–1032. doi:10.1108/02686900410557926
- Antony, J., & Karaminas, H. (2016). Critical assessment on the Six Sigma Black Belt roles/responsibilities, skills and training: A global empirical study. *International Journal of Quality and Reliability Management*, *33*(5), 558–573. doi:10.1108/IJQRM-08-2014-0106
- Antony, J., Kumar, M., & Tiwari, M. K. (2005). An application of Six Sigma methodology to reduce the engine-overheating problem in an automotive company. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. Glasgow, UK. doi:10.1243/095440505X32418
- Barbosa, G. F., de Carvalho, J., & Pereira de Souza, C. H. (2014). Deployment of a laser projection

solution for stripes plotting based on Six Sigma DMAIC methodology applied to aircraft painting shop. *Production and Manufacturing Research*, 2(1), 697–711. doi:10.1080/21693277.2014.943432

Bendell, T., Penson, R., & Carr, S. (1995). The quality gurus – their approaches described and considered. *Managing Service Quality*, 5(6), 44–48. doi:10.1108/09604529510104383

Besterfield, D. H. (1994). *Quality control* (4th edition). New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.

Bisgaard, S. (2008). Quality management and Juran's legacy. *Quality Engineering*, 20(4), 390–401. doi:10.1080/08982110802317398

Bland, F. M., Maynard, J., & Herbert, D. W. (1998). Quality costing of an administrative process. *TQM Magazine*, 10(5), 367–377. doi:10.1108/09544789810231252

Bond, T. C. (1999). The role of performance measurement in continuous improvement. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(12), 1318–1334. doi:10.1108/01443579910294291

Bosch. (2005). *Manual BPS*. Publicação Interna.

Bosch. (2009). *Manual de Acolhimento e Integração*. Publicação Interna.

Bosch. (2010). *Apresentação da Bosch Car Multimédia*. Publicação Interna.

Bosch. (2012a). *Company History*. Retrieved October 13, 2015, from http://www.bosch.com/en/com/bosch_group/history/company-history.html.

Bosch. (2012b). *Do ABS ao ESP*. Retrieved from http://www.boschesperience.com.br/br/language1/from_abs_to_esp.html

Bosch. (2012c). *Funcionamento do ESP*. Retrieved from http://www.boschesperience.com.br/br/language1/how_does_esp_work.html

Bosch. (2015). *Bosch Worldwide*. Retrieved October 13, 2015, from <http://www.bosch.com/en/com/home/index.php>.

Bosch. (2016). *Intranet*. Publicação Interna.

Bosch. (2017). *Projeto EMS*. Publicação Interna.

Bowman, C., & Ambrosini, V. (2000). Value Creation Versus Value Capture: Towards a Coherent Definition of Value in Strategy. *British Journal of Management*, 11(1), 1–15. doi:10.1111/1467-

8551.00147

Breyfogle, F. (2003). *Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods*. Hoboken, New Jersey: Wiley.

Campanella, J. (1987). *Quality Costs: Ideas & Applications* (2nd edition). Milwaukee, USA: ASQ Quality Press.

Campanella, J. (1999). *Principles of Quality Costs: Principles, Implementation, and Use* (3rd edition). Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.

Castillo, K. K., Smith, N. R., & Simonton, J. L. (2012). A model for supply chain design considering the cost of quality. *Applied Mathematical Modelling*, 36(12), 5920–5935. doi:10.1016/j.apm.2012.01.046

Chakravorty, S. S., & Franza, R. M. (2009). The implementation of Design for Six Sigma: a development experience. *International Journal of Product Development*, 9(4), 329. doi:10.1504/IJPD.2009.027468

Chiadamrong, N. (2003). The development of an economic quality cost model. *Total Quality Management and Business Excellence*, 14(9), 999–1014. doi:10.1080/1478336032000090914

Costa, M., Choi, T. Y., Martinez, J. A., & Lorente, A. R. (2009). ISO 9000/1994, ISO 9001/2000 and TQM: The performance debate revisited. *Journal of Operations Management*, 27(6), 495–511. doi:10.1016/j.jom.2009.04.002

Costa, M., Lorente, A. R., & Choi, T. Y. (2008). Simultaneous consideration of TQM and ISO 9000 on performance and motivation: An empirical study of Spanish companies. *International Journal of Production Economics*, 113(1), 23–39. doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.046

Crosby, P. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. New York, USA: McGraw-Hill.

Dahlgaard, J. J., Kristensen, K., & Kanji, G. K. (1992). Quality costs and total quality management. *Total Quality Management*, 3(3), 211–222. doi:10.1080/09544129200000029

Dahlgaard, S. M. (2011). The quality movement: Where are you going? *Total Quality Management and Business Excellence*, 22(5), 493–516. doi:10.1080/14783363.2011.578481

Dale, B. G. (2003). *Managing Quality* (4th edition). New Jersey, USA: Blackwell.

Deming, W. E. (1986). *Out of The Crisis*. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

- Demirbag, M., Tatoglu, E., Tekinkus, M., & Zaim, S. (2006). An analysis of the relationship between TQM implementation and organizational performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(6), 829–847. doi:10.1108/17410380610678828
- Dima, I., & Man, M. (2015). *Modelling and Simulation in Management*. New York, USA: Springer.
- Dooley, L. M. (2002). Case Study Research and Theory Building. *Advances in Developing Human Resources*, 4(3), 335–354. doi:10.1177/1523422302043007
- Feigenbaum, A. (1956). *Total Quality Control*. *Harvard Business Review*. Harvard Business Review.
- Feigenbaum, A. (1991). *Total Quality Control* (3rd edition). New York, USA: McGraw-Hill.
- Fonseca, L. (1988). Filosofias da qualidade: desenvolvimento duma cultura da qualidade na empresa. *Revista APQ*, 3, 9–13. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266469991_Filosofias_da_Qualidade_Quality_Gurus_Deming_Juran_CrosbyIshikawa_Taguchi_Desenvolvimento_de_uma_cultura_da_Qualidade_n_a_empresa
- Fonseca, L. (2015). From Quality Gurus and TQM To ISO 9001:2015: A review of several quality Paths. *International Journal for Quality Research*, 9(1), 167–180. Retrieved from <http://www.ijqr.net/journal/v9-n1/12.pdf>
- Freeman, R. E. (2010). *Strategic management: A stakeholder approach*. New York, USA: Cambridge University Press.
- Garcia, J. A., Pardo, M., & Bonavía, T. (2008). Longitudinal study of the results of continuous improvement in an industrial company. *Team Performance Management: An International Journal*, 14(1/2), 56–69. doi:10.1108/13527590810860203
- Ghobadian, A., & Gallea, D. (1996). Total quality management in SMEs. *The International Journal of Management Science*, 24(1), 83–106. doi:10.1016/0305-0483(95)00055-0
- Ghobadian, A., & Speller, S. (1994). Gurus of quality: A framework for comparison. *Total Quality Management*, 5(3), 53–70. doi:10.1080/09544129400000025
- Godfrey, A. B., & Kenett, R. S. (2007). Joseph M. Juran, a Perspective on Past Contributions and Future Impact. *Paper presented at the 6th annual conference of the European Network for Business and Industrial Statistics from Quality and Reliability Engineering International*. Wroclaw, Poland. doi:10.1002/qre.861

- Goldstein, M. D. (2001). Six Sigma program success factors. *Six Sigma Forum Magazine*, 1(1), 36–45. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/307632735_Six_Sigma_program_success_factors
- Gotzamani, K. D., & Tsiotras, G. D. (2001). An empirical study of the ISO 9000 standards: contribution towards total quality management. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(10), 1326–1342. doi:10.1108/EUM0000000005972
- Grütter, A. W., Field, J. M., & Faull, N. H. B. (2002). Work team performance over time: Three case studies of South African manufacturers. *Journal of Operations Management*. doi:10.1016/S0272-6963(02)00031-1
- Habidin, N. F., & Yusof, S. M. (2013). Critical success factors of lean six sigma for the malaysian automotive industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 4(1), 60–82. doi:10.1108/20401461311310526
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. New York, USA: Currency.
- Henderson, K. M., & Evans, J. R. (2000). Successful implementation of Six Sigma: benchmarking General Electric Company. *Benchmarking: An International Journal*, 7(4), 260–282. doi:10.1108/14635770010378909
- Juran, J. (1951). *Quality Control Handbook* (1st edition). New York, USA: New York: McGraw Hill.
- Juran, J. (1974). *Quality Control Handbook* (3rd edition). New York, USA: McGraw-Hill.
- Juran, J. (1998). *Juran's Quality Handbook* (5th edition). New York, USA: McGraw-Hill.
- Kane, V. (1986). Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 18(1), 41–52. doi:10.1080/00224065.1986.11978984
- Kara, A., Lonial, S., Tarim, M., & Zaim, S. (2005). A paradox of service quality in Turkey. *European Business Review*, 17(1), 5–20. doi:10.1108/09555340510576230
- Kaushik, P., Khanduja, D., Mittal, K., & Jaglan, P. (2012). A case study: Application of Six Sigma methodology in a small and medium-sized manufacturing enterprise. *The TQM Journal*, 24(1), 4–16. doi:10.1108/17542731211191186
- Keller, P. (2005). *Six Sigma Demystified: A Self-Teaching Guide* (2nd edition). New York, USA: McGraw-Hill.

- Kothari, C. (2004). *Research methodology: methods and techniques* (3rd edition). Dariya Ganj, New Delhi: New Age International.
- Krishnan, S. K., Agus, A., & Husain, N. (2010). Cost of quality: The hidden costs. *Total Quality Management*, *11*(4), 844–848. doi:10.1080/09544120050008309
- Kumar, M., Antony, J., Antony, F. J., & Madu, C. (2007). Winning customer loyalty in an automotive company through Six Sigma: A case study. *Quality and Reliability Engineering International*, *23*(7), 849–866. doi:10.1002/qre.840
- Kumar, M., Antony, J., & Cho, B. (2009). Project selection and its impact on the successful deployment of Six Sigma. *Business Process Management Journal*, *15*(5), 669–686. doi:10.1108/14637150910987900
- Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the lean sigma framework in an Indian SME: A case study. *Production Planning and Control*, *17*(4), 407–423. doi:10.1080/09537280500483350
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*, *26*(5–6), 708–715. doi:10.1016/j.technovation.2004.10.003
- Lakhe, R. R., & Mohanty, R. P. (1994). Total Quality Management Concepts, Evolution and Acceptability in Developing Economies. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *11*(9), 9–33. doi:10.1108/02656719410074279
- Laux, C., Johnson, M., & Cada, P. (2015). Project barriers to Green Belts through critical success factors. *International Journal of Lean Six Sigma*, *6*(2), 138–160. doi:10.1108/IJLSS-02-2014-0006
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., & Choo, A. S. (2003). Six Sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*, *21*(2), 193–203. doi:10.1016/S0272-6963(02)00087-6
- Lorente, A. R., & Costa, M. (2004). ISO 9000 and TQM: substitutes or complementaries?: An empirical study in industrial companies. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *21*(3), 260–276. doi:10.1108/02656710410522711
- Lorenzo, A., & Prado, J. (2003). Employee participation systems in Spain. Past, present and future. *Total Quality Management and Business Excellence*, *14*(1), 15–24.

doi:10.1080/14783360309704

MacNealy, M. S. (1997). Toward better case study research. *IEEE Transactions on Professional Communication*, 40(3), 182–196. doi:10.1109/47.649554

Magd, H. (2006). An investigation of ISO 9000 adoption in Saudi Arabia. *Managerial Auditing Journal*, 21(2), 132–147. doi:10.1108/02686900610639284

Mahendru, S., & Singh, B. (2015). DMAIC-Measuring the PVC Pipe Manufacturing Process. *American Journal of Economics, Finance and Management*, 1(4), 293–303.

Montgomery, D. (2008). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th edition). Hoboken, New Jersey: Wiley.

Motwani, J., Kumar, A., & Cheng, C. H. (1996). A roadmap to implementing ISO 9000. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(1), 72–83. doi:10.1108/02656719610108332

Oakland, J. S. (2014). *Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases* (4th edition). *Routledge*. New York, USA.

Pinelo, A. L. (2015). A theoretical approach to the concept of femicide/feminicide. *International Journal of Business and Social Science*, 3(11), 1–109. Retrieved from http://www.ijbssnet.com/journals/Vol_3_No_11_June_2012/9.pdf

Pires, A. (2016). *Sistemas de Gestão da Qualidade: Ambiente, Segurança, Responsabilidade Social, Indústria, Serviços, Administração Pública e Educação*. Lisboa: Edições Sílabo.

Plunkett, J. J., & Dale, B. G. (1988). Quality costs: A critique of some 'economic cost of quality' models. *International Journal of Production Research*, 26(11), 1713–1726. doi:10.1080/00207548808947986

Porter, L. J., & Rayner, P. (1992). Quality costing for total quality management. *International Journal of Production Economics*, 27(1), 69–81. doi:10.1016/0925-5273(92)90127-S

Powell, T. C., College, B., & Island, R. (1995). Total quality management as competitive advantage: A review and empirical study. *Strategic Management Journal*, 16(1), 15–37. doi:10.1002/smj.4250160105

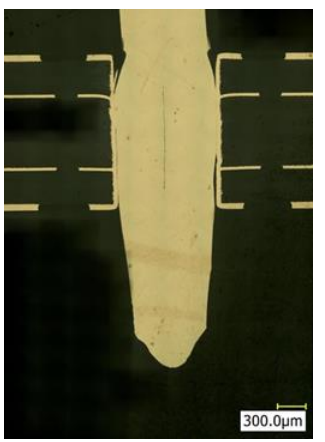
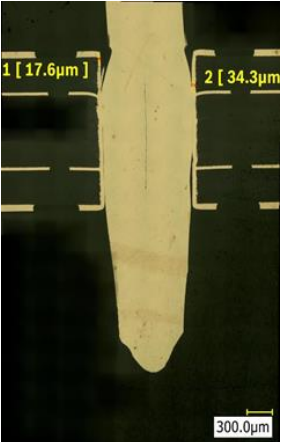
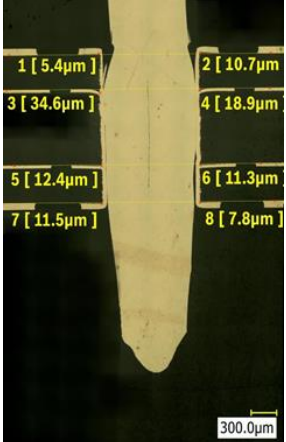
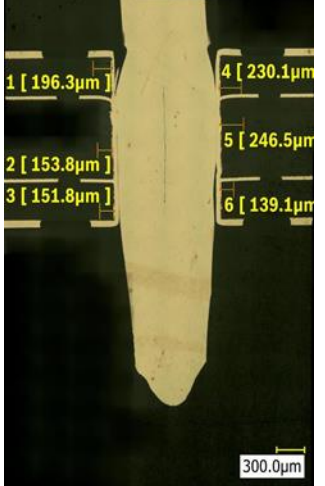
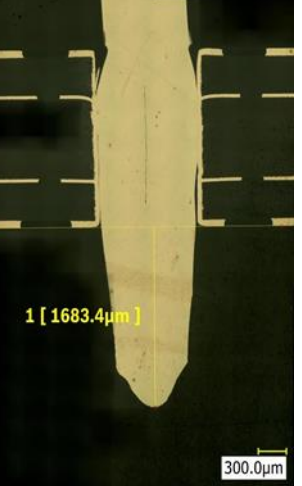
Pynnönen, M., Ritala, P., & Hallikas, J. (2011). The new meaning of customer value: a systemic perspective. *Journal of Business Strategy*, 32(1), 51–57. doi:10.1108/02756661111100328

- Pyzdek, T. (2003). *The six sigma handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Level* (3rd edition). New York, USA: McGraw-Hill.
- Rahman, S. (2001). A comparative study of TQM practice and organisational performance of SMEs with and without ISO 9000 certification. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *18*(1), 35–49. doi:10.1108/02656710110364486
- Sadraoui, T., & Ghorbel, A. (2011). Design process improvement through the DMAIC Sigma approach: a wood consumption case study. *International Journal of Productivity and Quality Management*, *7*(2), 229. doi:10.1504/IJPQM.2011.038687
- Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, *26*(4), 536–554. doi:10.1016/j.jom.2007.06.007
- Smith, L. R., & Phadke, M. S. (2005). Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, *1*(2), 151–166. doi:10.1504/IJSSCA.2005.006428
- Spector, R. E. (2006). How Constraints Management Enhances Lean and Six Sigma. *Supply Chain Management Review*, *1*(1), 42–47. Retrieved from <http://3escp33iuwsj485tugc1mb91.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2016/02/How-Constraints-Management-Enhances-Lean-and-Six-Sigma.pdf>
- Srivastava, S. K. (2008). Towards estimating Cost of Quality in supply chains. *Total Quality Management & Business Excellence*, *19*(3), 193–208. doi:10.1080/14783360701600605
- Sun, H. (2000). Total quality management, ISO 9000 certification and performance improvement. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, *17*(2), 168–179. doi:10.1108/02656710010304573
- Suthar, K., & Sindha, N. (2017). Review on Implementation of Six Sigma DMAIC Methodology in Manufacturing Industries. *International Journal of Science Technology & Engineering*. doi:10.13140/RG.2.2.36680.21767
- Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V. I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., ... Yadav, A. (2010). Six sigma: A literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, *1*(3), 216–233. doi:10.1108/20401461011075017

- Trad, S., & Maximiano, A. (2009). Six Sigma: Critical Success Factors for Its Implementation. *Revista de Administração Contemporânea*, 13(4), 647–662. doi:10.1590/S1415-65552009000400008
- Treacy, M., & Wiersema, F. (1993). Customer Intimacy and Other Value Disciplines Customer Intimacy and Other Value Disciplines. *Harvard Business Review*, 71(9301), 84–93. doi:10.1225/93107
- Vats, T., & Sujata, M. (2015). Lean Six Sigma Frameworks: An Improvement in Teaching-Learning Process. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 4(1), 17–23. Retrieved from <http://www.ijsea.com/archive/volume4/issue1/IJSEA04011003.pdf>
- Waxer, C. (2012). *Understanding Process Variation*. Retrieved from <https://www.isixsigma.com/tools-templates/variation/understanding-process-variation/>
- Wicks, A. M., & Roethlein, C. J. (2009). A satisfaction-based definition of quality. *Journal of Business & Economic Studies*, 15(1), 82–97. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/292792745_A_satisfaction-based_definition_of_quality
- Wilson, M. (2000). *Seis sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Yang, C. C. (2008). Improving the definition and quantification of quality costs. *Total Quality Management and Business Excellence*, 19(3), 175–191. doi:10.1080/14783360701600563
- Yong, J., & Wilkinson, A. (1999). The state of total quality management: A review. *International Journal of Human Resource Management*, 10(1), 137–161. doi:10.1080/095851999340684

ANEXO I. ANÁLISE DE PCBs 301368 COM PINOS INSERIDOS COM EXCESSO DE FORÇA

Tabela 21. Corte longitudinal no produto 301368 - PCB A – Pino 3

		
<p>Vista Geral</p>	<p><i>Remaining copper thickness</i></p>	<p><i>Jet effect</i></p>
		
<p><i>Whitening</i></p>	<p><i>Pin protrusion</i></p>	

ANEXO II. ANÁLISE DE PCBs 300374 COM PINOS INSERIDOS COM EXCESSO DE FORÇA

Tabela 24. Corte longitudinal no produto 300374 - PCB B – Pino 4


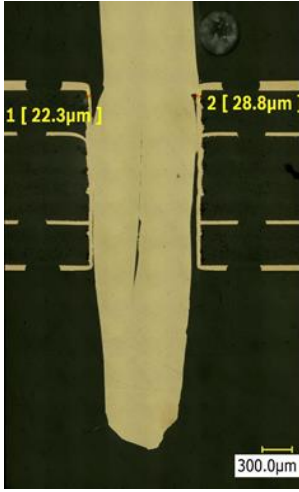
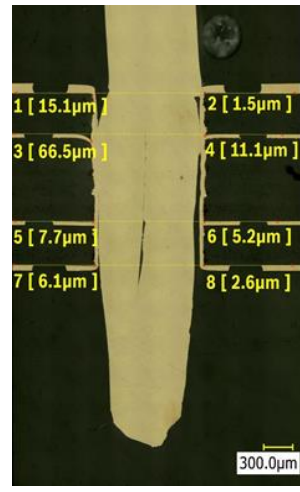
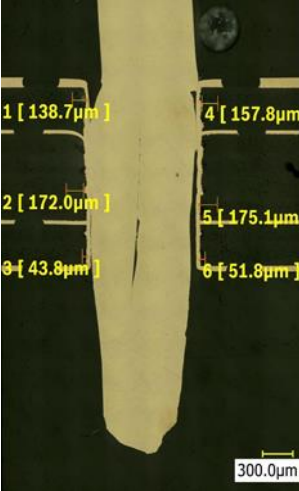
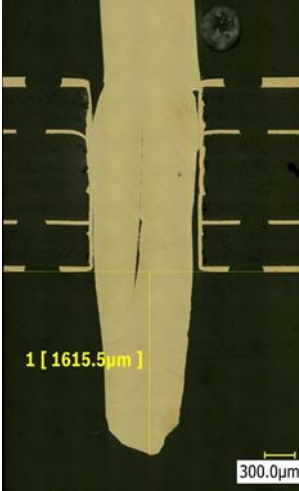

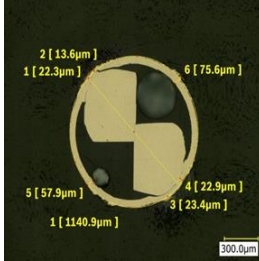


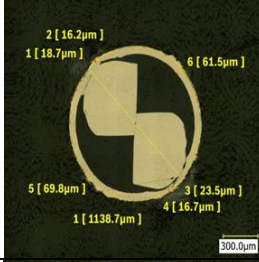
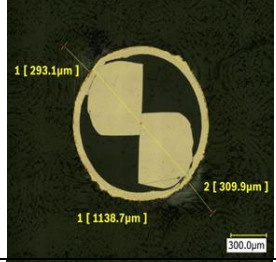
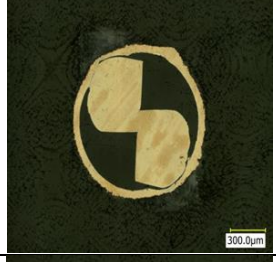
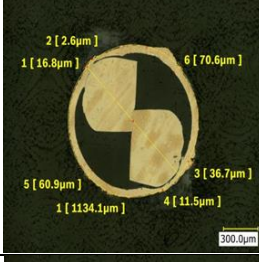


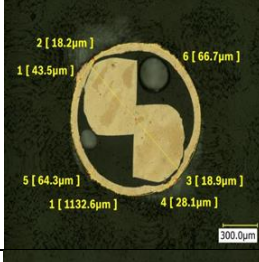


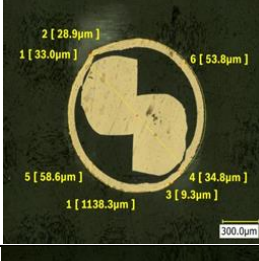


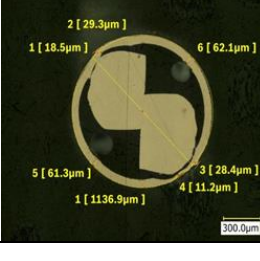

		
<p>Vista Geral</p>	<p><i>Remaining copper thickness</i></p>	<p><i>Jet effect</i></p>
		
<p><i>Whitening</i></p>	<p><i>Pin protrusion</i></p>	

Tabela 25. Corte transversal no produto 300374 - PCB C – Todos os pinos

	Vista Geral	Medições do cobre	Whitening
Pino 1		 2 [13.6µm] 6 [75.6µm] 1 [22.3µm] 5 [57.9µm] 4 [22.9µm] 1 [1140.9µm] 3 [23.4µm]	 1 [135.4µm] 1 [1140.9µm] 2 [325.7µm]
Pino 2		 2 [16.2µm] 6 [61.5µm] 1 [18.7µm] 5 [69.8µm] 3 [23.5µm] 1 [1138.7µm] 4 [16.7µm]	 1 [293.1µm] 1 [1138.7µm] 2 [309.9µm]
Pino 3		 2 [2.6µm] 6 [70.6µm] 1 [16.8µm] 5 [60.9µm] 3 [36.7µm] 1 [1134.1µm] 4 [11.5µm]	 1 [263.9µm] 1 [1134.1µm] 2 [305.6µm]
Pino 4		 2 [18.2µm] 6 [66.7µm] 1 [43.5µm] 5 [64.3µm] 3 [18.9µm] 1 [1132.6µm] 4 [28.1µm]	 1 [273.6µm] 1 [1132.6µm] 2 [230.4µm]
Pino 5		 2 [28.9µm] 6 [53.8µm] 1 [33.0µm] 5 [58.6µm] 4 [34.8µm] 1 [1138.3µm] 3 [9.3µm]	 1 [283.6µm] 1 [1138.3µm] 2 [114.6µm]
Pino 6		 2 [29.3µm] 6 [62.1µm] 1 [18.5µm] 5 [61.3µm] 3 [28.4µm] 1 [1136.9µm] 4 [11.2µm]	 1 [133.8µm] 1 [1136.9µm] 2 [357.7µm]

ANEXO III. ANÁLISE DO COBRE DEPOSITADO EM PCBs 300374

Tabela 26. Corte longitudinal no produto 300374 - PCB H – Todos os furos

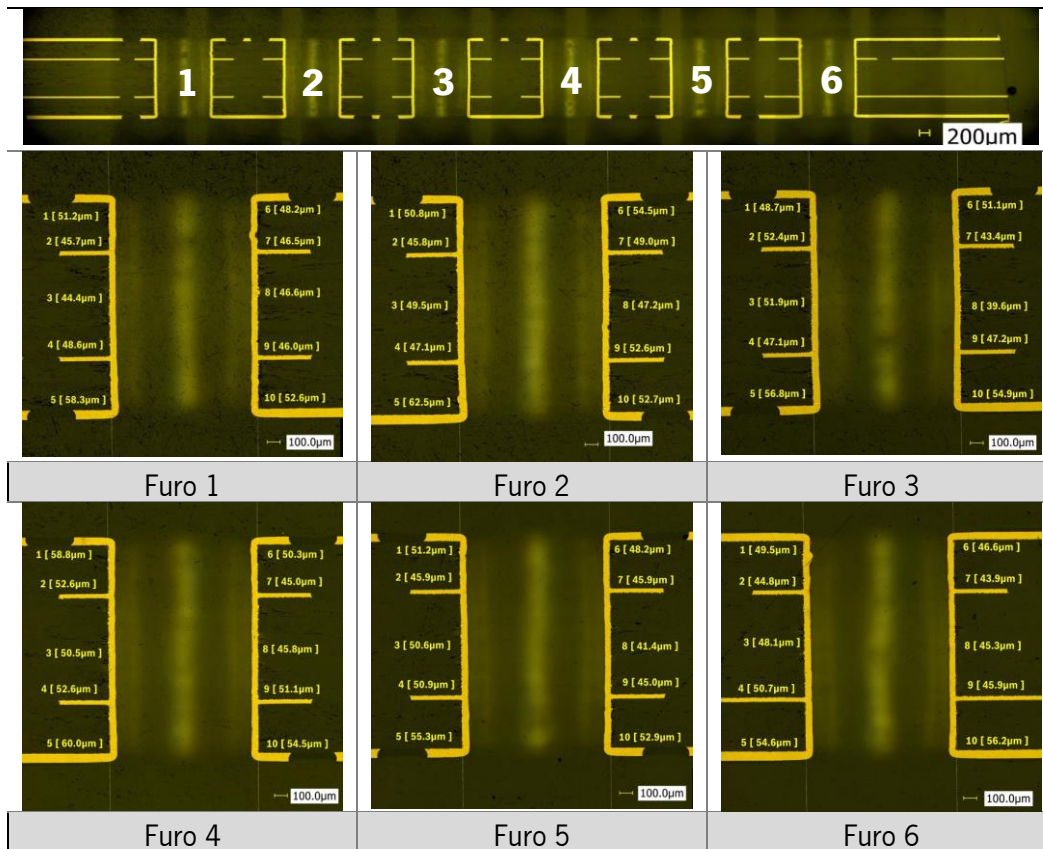


Tabela 27. Corte transversal no produto 300374 - PCB F – Todos os furos

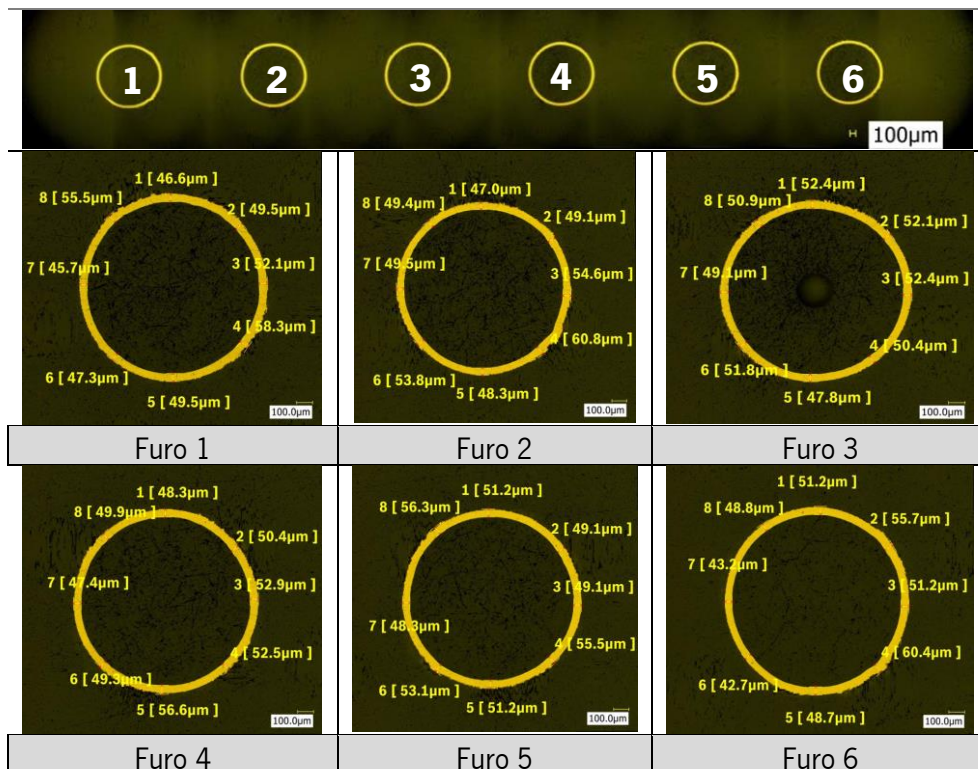


Tabela 28. Corte longitudinal produto 300374 - PCB D – Todos os furos

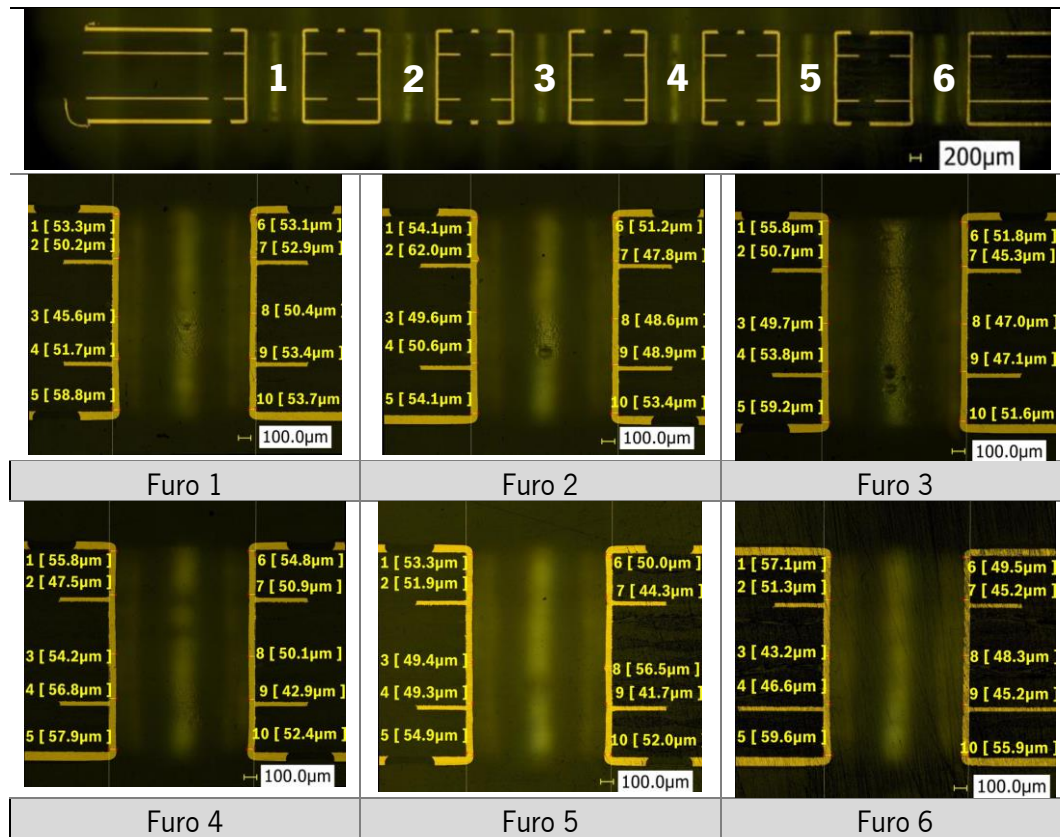


Tabela 29. Corte transversal produto 300374 - PCB B – Todos os furos

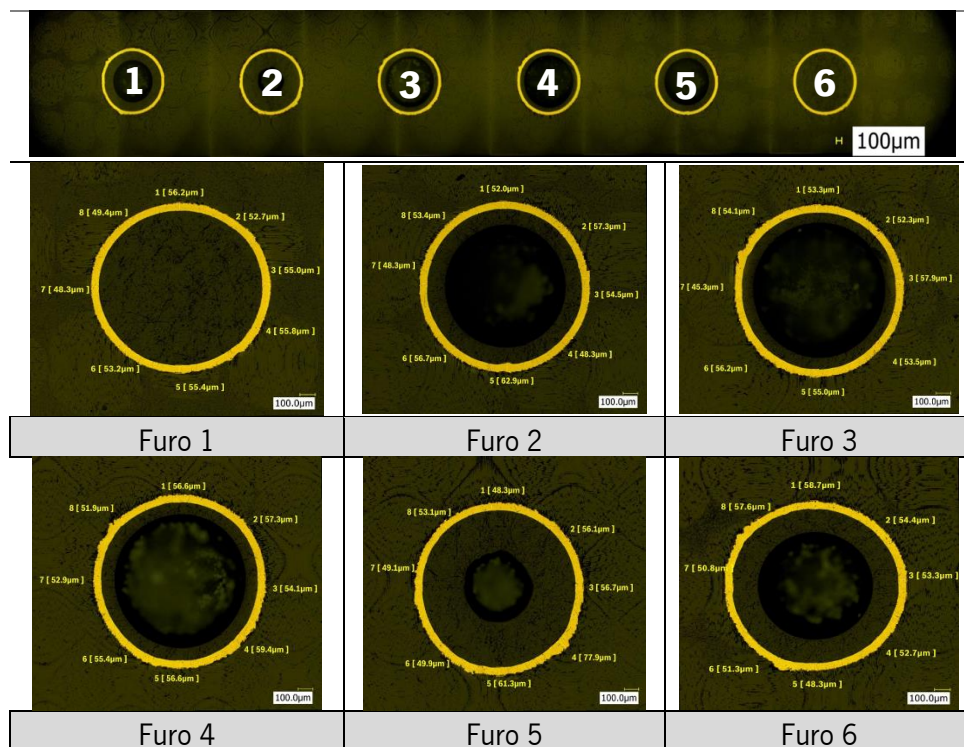


Tabela 30. Corte transversal produto 300374 - PCB G – Todos os furos

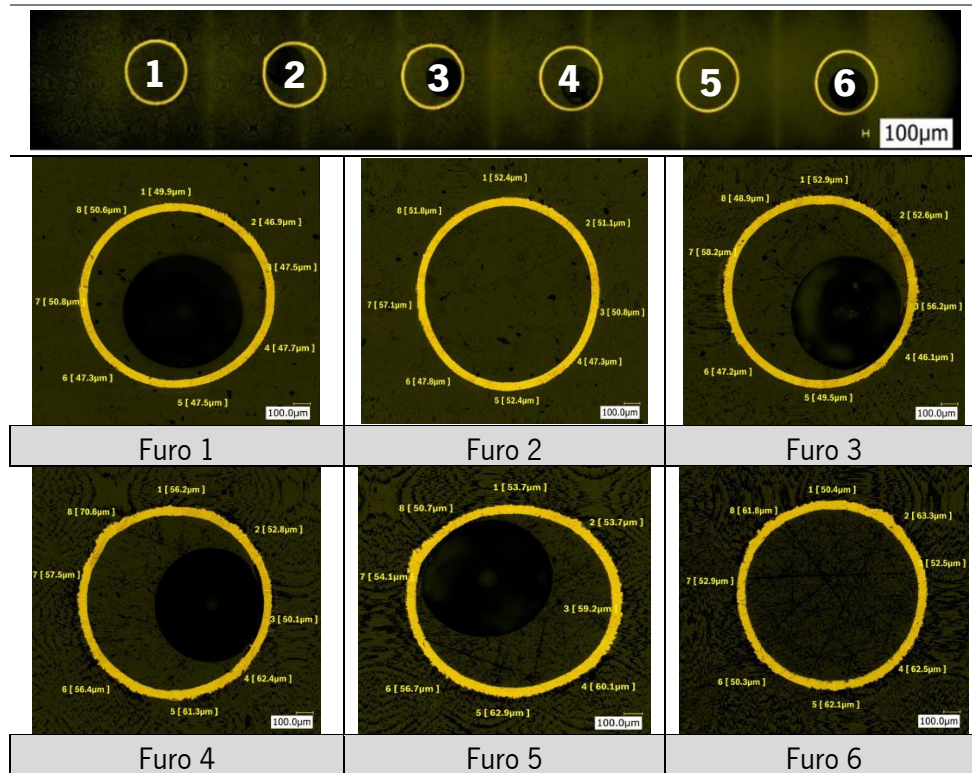


Tabela 31. Corte longitudinal produto 300374 - PCB E

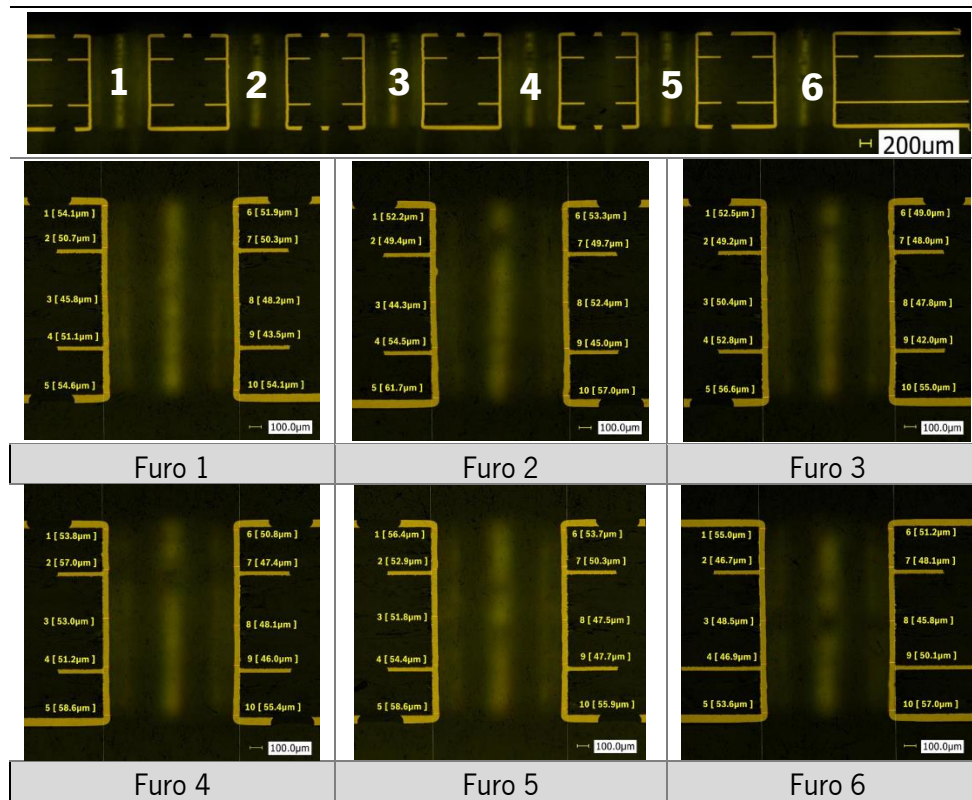


Tabela 32. Corte transversal produto 300374 - PCB C – Todos os furos

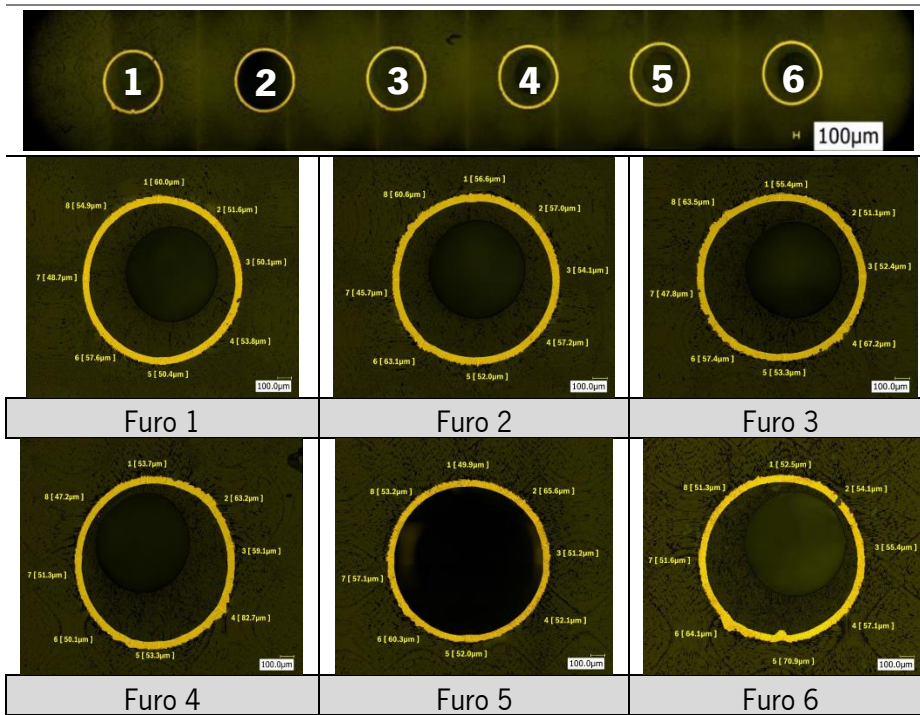


Tabela 33. Corte longitudinal produto 300374 - PCB A – Todos os furos

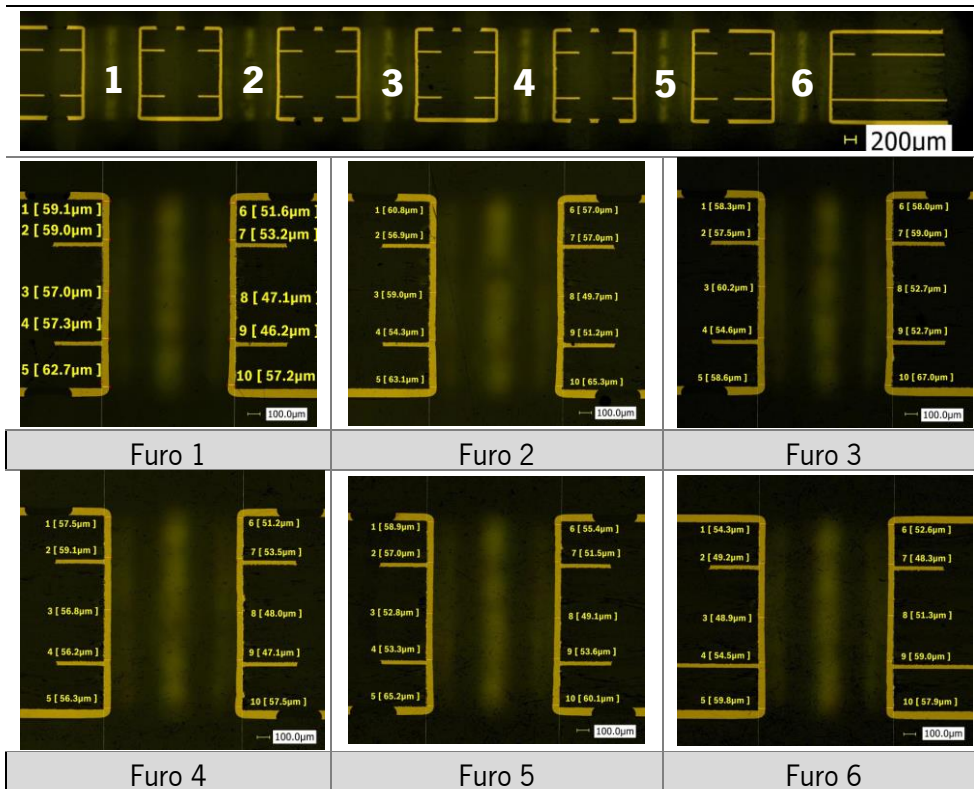
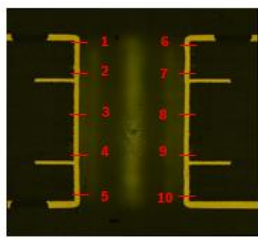


Tabela 34. Resumo dos valores de cobre depositado obtidos na análise segundo os cortes longitudinais no produto 300374

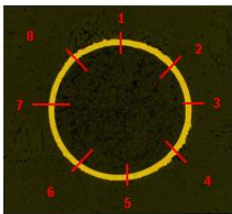


Hole	Measurement	PCB H	PCB D	PCB E	PCB A
		Value [µm]	Value [µm]	Value [µm]	Value [µm]
1	1	51,20	53,30	54,10	59,10
	2	45,70	50,20	50,70	59,00
	3	44,40	45,60	45,80	57,00
	4	48,60	51,70	51,10	57,30
	5	58,30	58,80	54,60	62,70
	6	48,20	53,10	51,90	51,60
	7	46,50	52,90	50,30	53,20
	8	46,60	50,40	48,20	47,10
	9	46,00	53,40	43,50	46,20
	10	52,60	53,70	54,10	57,20
2	1	50,80	54,10	52,20	60,80
	2	45,80	62,00	49,40	56,90
	3	49,50	49,60	44,30	59,00
	4	47,10	50,60	54,50	54,30
	5	62,50	54,10	61,70	63,10
	6	54,50	51,20	53,30	57,00
	7	49,00	47,80	49,70	57,00
	8	47,20	48,60	52,40	49,70
	9	52,60	48,90	45,00	51,20
	10	52,70	53,40	57,00	65,30
3	1	48,70	55,80	52,50	58,30
	2	52,40	50,70	49,20	57,50
	3	51,90	49,70	50,40	60,20
	4	47,10	53,80	52,80	54,60
	5	56,80	59,20	56,60	58,60
	6	51,10	51,80	49,00	58,00
	7	43,40	45,30	48,00	59,00
	8	39,60	47,00	47,80	52,70
	9	47,20	47,10	42,00	52,70
	10	54,90	51,60	55,00	67,00
4	1	58,80	55,80	53,80	57,50
	2	52,60	47,50	57,00	59,10
	3	50,50	54,20	53,00	56,80
	4	52,60	56,80	51,20	56,20
	5	60,00	57,90	58,60	56,30
	6	50,30	54,80	50,80	51,20
	7	45,00	50,90	47,40	53,50
	8	45,80	50,10	48,10	48,00
	9	51,10	42,90	46,00	47,10
	10	54,50	52,40	55,40	57,50
5	1	51,20	53,30	56,40	58,90
	2	45,90	51,90	52,90	57,00
	3	50,60	49,40	51,80	52,80
	4	50,90	49,30	54,40	53,30
	5	55,30	54,90	58,60	65,20
	6	48,20	50,00	53,70	55,40
	7	45,90	44,30	50,30	51,50
	8	41,40	56,50	47,50	49,10
	9	45,00	41,70	47,70	53,60
	10	52,90	52,00	55,90	60,10
6	1	49,50	57,10	55,00	54,30
	2	44,80	51,30	46,70	49,20
	3	48,10	43,20	48,50	48,90
	4	50,70	46,60	46,90	54,50
	5	54,60	59,60	53,60	59,80
	6	46,60	49,50	51,20	52,60
	7	43,90	45,20	48,10	48,30
	8	45,30	48,30	45,80	51,30
	9	45,90	45,20	50,10	59,00
	10	56,20	55,90	57,00	57,90

Tabela 35. Determinação da quantidade média de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes longitudinais no produto 300374

Hole	PCB H			PCB D			PCB E			PCB A		
	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]
1	58,30	44,40	48,81	58,80	45,60	52,31	54,60	43,50	50,43	62,70	46,20	55,04
2	62,50	45,80	51,17	62,00	47,80	52,03	61,70	44,30	51,95	65,30	49,70	57,43
3	56,80	39,60	49,31	59,20	45,30	51,20	56,60	42,00	50,33	67,00	52,70	57,86
4	60,00	45,00	52,12	57,90	42,90	52,33	58,60	46,00	52,13	59,10	47,10	54,32
5	55,30	41,40	48,73	56,50	41,70	50,33	58,60	47,50	52,92	65,20	49,10	55,69
6	56,20	43,90	48,56	59,60	43,20	50,19	57,00	45,80	50,29	59,80	48,30	53,58

Tabela 36. Resumo dos valores de cobre depositado obtidos na análise segundo os cortes transversais no produto 300374




Hole	Measurement	PCB F	PCB B	PCB G	PCB C
		Value [µm]	Value [µm]	Value [µm]	Value [µm]
1	1	46,60	56,20	49,90	60,00
	2	49,50	52,70	46,90	51,60
	3	52,10	55,00	47,50	50,10
	4	58,30	55,80	47,70	53,80
	5	49,50	55,40	47,50	50,40
	6	47,30	53,20	47,30	57,60
	7	45,70	48,30	50,80	48,70
	8	55,50	49,40	50,60	54,90
2	1	47,00	52,00	52,40	56,60
	2	49,10	57,30	51,10	57,00
	3	54,60	54,50	50,80	54,10
	4	60,80	48,30	47,30	57,20
	5	48,30	62,90	52,40	52,00
	6	53,80	56,70	47,80	63,10
	7	49,50	48,30	57,10	45,70
	8	49,40	53,40	51,80	60,60
3	1	52,40	53,30	52,90	55,40
	2	52,10	52,30	52,60	51,10
	3	52,40	57,90	56,20	52,40
	4	50,40	53,50	46,10	67,20
	5	47,80	55,00	49,50	53,30
	6	51,80	56,20	47,20	57,40
	7	49,10	45,30	58,20	47,80
	8	50,90	54,10	48,90	63,50
4	1	48,30	56,60	56,20	53,70
	2	50,40	57,30	52,80	63,20
	3	52,90	54,10	50,10	59,10
	4	52,50	59,40	62,40	52,70
	5	56,60	56,60	61,30	53,30
	6	49,30	55,40	56,40	50,10
	7	47,40	52,90	57,50	51,30
	8	49,90	51,90	70,60	47,20
5	1	51,20	48,30	53,70	49,90
	2	49,10	56,10	53,70	65,60
	3	49,10	56,70	59,20	51,20
	4	55,50	77,90	60,10	52,10
	5	51,20	61,30	62,90	52,00
	6	53,10	49,90	56,70	60,30
	7	48,30	49,10	54,10	57,10
	8	56,30	53,10	50,70	53,20
6	1	51,20	58,70	50,40	52,50
	2	55,70	54,40	63,30	54,10
	3	51,20	53,30	52,50	55,40
	4	60,40	52,70	62,50	57,10
	5	48,70	48,30	62,10	70,90
	6	42,70	51,30	50,30	64,10
	7	43,20	50,80	52,90	51,60
	8	48,80	57,60	61,80	51,30

Tabela 37. Determinação da quantidade média de cobre depositado por furo de cada PCB, segundo os cortes transversais no produto 300374

Hole	PCB F			PCB B			PCB G			PCB C		
	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]	Max [µm]	Min [µm]	Average [µm]
1	58,30	45,70	50,56	56,20	48,30	53,25	50,80	46,90	48,53	60,00	48,70	53,39
2	60,80	47,00	51,56	62,90	48,30	54,18	57,10	47,30	51,34	63,10	45,70	55,79
3	52,40	47,80	50,86	57,90	45,30	53,45	58,20	46,10	51,45	67,20	47,80	56,01
4	56,60	47,40	50,91	59,40	51,90	55,53	70,60	50,10	58,41	63,20	47,20	53,83
5	56,30	48,30	51,73	77,90	48,30	56,55	62,90	50,70	56,39	65,60	49,90	55,18
6	60,40	42,70	50,24	58,70	48,30	53,39	63,30	50,30	56,98	70,90	51,30	57,13

ANEXO IV. ANÁLISE DA GEOMETRIA DOS FUROS - PRODUTO 300374

Tabela 38. Diâmetro, circularidade e posicionamento dos furos do produto 300374

 BOSCH BrgP/ENG - Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8613310582 - Registration of results 00-FE-00032										Date of reception of samples		Report Nº ENG / Mec / 18 / 0402 Version: 1					
												8-fev-18							
												Date of accomplishment of measurement							
												14-fev-18							
Measurement description		Bench / Nº	Sample nº				PCB 1		PCB 2		PCB 3		PCB 4		PCB 5		Max. Value	Min. Value	Final result
			Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			
1.1	Hole 1 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.030	0.030	1.029	0.029	1.040	0.040	1.043	0.043	1.031	0.031	1.043	1.029	5 / 0
1.2	Hole 1 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.064	0.064	1.062	0.062	1.064	0.064	1.065	0.065	1.064	0.064	1.065	1.062	5 / 0
1.3	Hole 1 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.024	0.024	0.027	0.027	0.010	0.010	0.018	0.018	0.017	0.017	0.027	0.010	5 / 0
1.4	Hole 1 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.034	0.034	0.033	0.033	0.024	0.024	0.022	0.022	0.033	0.033	0.034	0.022	5 / 0
2.1	Hole 2 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.035	0.035	1.036	0.036	1.035	0.035	1.028	0.028	1.044	0.044	1.044	1.028	5 / 0
2.2	Hole 2 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.061	0.061	1.063	0.063	1.063	0.063	1.062	0.062	1.063	0.063	1.063	1.061	5 / 0
2.3	Hole 2 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.016	0.016	0.029	0.029	0.021	0.021	0.028	0.028	0.015	0.015	0.029	0.015	5 / 0
2.4	Hole 2 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.026	0.026	0.027	0.027	0.028	0.028	0.034	0.034	0.019	0.019	0.034	0.019	5 / 0
3.1	Hole 3 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.021	0.021	0.983	-0.017	1.024	0.024	1.042	0.042	1.038	0.038	1.042	0.983	4 / 1
3.2	Hole 3 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.063	0.063	1.063	0.063	1.063	0.063	1.063	0.063	1.059	0.059	1.063	1.059	5 / 0
3.3	Hole 3 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.006	0.006	0.030	0.030	0.034	0.034	0.029	0.029	0.026	0.026	0.034	0.006	5 / 0
3.4	Hole 3 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.042	0.042	0.080	0.080	0.039	0.039	0.021	0.021	0.021	0.021	0.080	0.021	5 / 0
4.1	Hole 4 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.041	0.041	1.040	0.040	1.045	0.045	1.041	0.041	1.047	0.047	1.047	1.040	5 / 0
4.2	Hole 4 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.064	0.064	1.066	0.066	1.066	0.066	1.072	0.072	1.067	0.067	1.072	1.064	5 / 0
4.3	Hole 4 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.018	0.018	0.019	0.019	0.035	0.035	0.023	0.023	0.022	0.022	0.035	0.018	5 / 0
4.4	Hole 4 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.023	0.023	0.026	0.026	0.021	0.021	0.031	0.031	0.020	0.020	0.031	0.020	5 / 0
5.1	Hole 5 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.033	0.033	1.041	0.041	1.043	0.043	1.046	0.046	1.035	0.035	1.046	1.033	5 / 0
5.2	Hole 5 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.070	0.070	1.067	0.067	1.065	0.065	1.065	0.065	1.069	0.069	1.070	1.065	5 / 0
5.3	Hole 5 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.021	0.021	0.004	0.004	0.036	0.036	0.030	0.030	0.025	0.025	0.036	0.004	5 / 0
5.4	Hole 5 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.037	0.037	0.026	0.026	0.022	0.022	0.019	0.019	0.034	0.034	0.037	0.019	5 / 0
6.1	Hole 6 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.027	0.027	1.041	0.041	1.025	0.025	1.013	0.013	1.037	0.037	1.041	1.013	4 / 1
6.2	Hole 6 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.066	0.066	1.064	0.064	1.062	0.062	1.066	0.066	1.063	0.063	1.066	1.062	5 / 0
6.3	Hole 6 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.031	0.031	0.032	0.032	0.014	0.014	0.015	0.015	0.011	0.011	0.032	0.011	5 / 0
6.4	Hole 6 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.039	0.039	0.023	0.023	0.037	0.037	0.053	0.053	0.026	0.026	0.053	0.023	5 / 0


Technician Name / Department / Date: Bruno Lopes (BrgP/ENG_Lab) 14-fev-18 Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 14-fev-18 Signature:	The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.		
	Observations:	"A" Archiving of this document is mandatory	
This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.			Page: 2/8

Tabela 39. Diâmetro, circularidade e posicionamento dos furos do produto 300374





 BrgP/ENG - Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8613310582 - Registration of results 00-FE-00032										Date of reception of samples		Report Nº ENG / Mec / 18 / 0402 Version: 1					
												8-fev-18							
												Date of accomplishment of measurement							
												14-fev-18							
Measurement description	Bench / Nº	Sample nº				PCB 6		PCB 7		PCB 8						Max. Value	Min. Value	Final result	
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.				OK / NOK
1.1	Hole 1 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.037	0.037	1.031	0.031	1.021	0.021					1.037	1.021	3 / 0
1.2	Hole 1 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.066	0.066	1.064	0.064	1.060	0.060					1.066	1.060	3 / 0
1.3	Hole 1 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.009	0.009	0.031	0.031	0.005	0.005					0.031	0.005	3 / 0
1.4	Hole 1 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.029	0.029	0.033	0.033	0.039	0.039					0.039	0.029	3 / 0
2.1	Hole 2 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.036	0.036	1.043	0.043	1.023	0.023					1.043	1.023	3 / 0
2.2	Hole 2 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.065	0.065	1.063	0.063	1.061	0.061					1.065	1.061	3 / 0
2.3	Hole 2 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.038	0.038	0.021	0.021	0.008	0.008					0.038	0.008	3 / 0
2.4	Hole 2 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.029	0.029	0.020	0.020	0.038	0.038					0.038	0.020	3 / 0
3.1	Hole 3 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.028	0.028	1.032	0.032	1.034	0.034					1.034	1.028	3 / 0
3.2	Hole 3 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.069	0.069	1.065	0.065	1.061	0.061					1.069	1.061	3 / 0
3.3	Hole 3 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.027	0.027	0.029	0.029	0.017	0.017					0.029	0.017	3 / 0
3.4	Hole 3 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.041	0.041	0.033	0.033	0.027	0.027					0.041	0.027	3 / 0
4.1	Hole 4 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.045	0.045	1.049	0.049	1.045	0.045					1.049	1.045	3 / 0
4.2	Hole 4 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.066	0.066	1.067	0.067	1.064	0.064					1.067	1.064	3 / 0
4.3	Hole 4 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.023	0.023	0.012	0.012	0.014	0.014					0.023	0.012	3 / 0
4.4	Hole 4 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.021	0.021	0.018	0.018	0.019	0.019					0.021	0.018	3 / 0
5.1	Hole 5 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.035	0.035	1.045	0.045	1.044	0.044					1.045	1.035	3 / 0
5.2	Hole 5 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.066	0.066	1.066	0.066	1.060	0.060					1.066	1.060	3 / 0
5.3	Hole 5 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.027	0.027	0.023	0.023	0.005	0.005					0.027	0.005	3 / 0
5.4	Hole 5 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.031	0.031	0.021	0.021	0.016	0.016					0.031	0.016	3 / 0
6.1	Hole 6 - MMC (Dmin)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.041	0.041	1.014	0.014	1.039	0.039					1.041	1.014	2 / 1
6.2	Hole 6 - LMC (Dmax)	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.067	0.067	1.065	0.065	1.060	0.060					1.067	1.060	3 / 0
6.3	Hole 6 - Position	5795	0.00	0.14	0.00	mm	0.042	0.042	0.021	0.021	0.018	0.018					0.042	0.018	3 / 0
6.4	Hole 6 - Circularity	25432	0.00	0.10	0.00	mm	0.026	0.026	0.051	0.051	0.021	0.021					0.051	0.021	3 / 0
																			/
Technician Name / Department / Date: Bruno Lopes (BrgP/ENG_Lab) 14-fev-18 Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 14-fev-18 Signature:		The test results are exclusively of the objects tested and conclusive. Observations:										"A" Archiving of this document is mandatory							
This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.																		Page: 3/8	

Tabela 40. Ovalidade dos furos do produto 300374

 BrgP/ENG - Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8613310582 - Registration of results 00-FE-00032										Date of reception of samples		Report Nº ENG / Mec / 18 / 0402 Version: 1					
												8-fev-18							
												Date of accomplishment of measurement							
												14-fev-18							
Measurement description	Bench / Nº	Sample nº				PCB 1		PCB 2		PCB 3		PCB 4		PCB 5		Max. Value	Min. Value	Final result	
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			OK / NOK	
1 Hole 1 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.033	0.033	1.032	0.032	1.023	0.023	1.021	0.021	1.032	0.032	1.033	1.021	0	5
2 Hole 2 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.025	0.025	1.026	0.026	1.027	0.027	1.033	0.033	1.018	0.018	1.033	1.018	1	4
3 Hole 3 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.041	0.041	1.081	0.081	1.038	0.038	1.020	0.020	1.020	0.020	1.081	1.020	2	3
4 Hole 4 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.022	0.022	1.025	0.025	1.020	0.020	1.030	0.030	1.019	0.019	1.030	1.019	1	4
5 Hole 5 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.036	0.036	1.025	0.025	1.021	0.021	1.018	0.018	1.033	0.033	1.036	1.018	1	4
6 Hole 5 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.038	0.038	1.022	0.022	1.036	0.036	1.052	0.052	1.025	0.025	1.052	1.022	0	5
Measurement description	Bench / Nº	Sample nº				PCB 6		PCB 7		PCB 8						Max. Value	Min. Value	Final result	
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			OK / NOK	
1 Hole 1 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.028	0.028	1.032	0.032	1.038	0.038					1.038	1.028	0	3
2 Hole 2 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.028	0.028	1.019	0.019	1.037	0.037					1.037	1.019	1	2
3 Hole 3 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.040	0.040	1.032	0.032	1.026	0.026					1.040	1.026	0	3
4 Hole 4 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.020	0.020	1.017	0.017	1.018	0.018					1.020	1.017	3	0
5 Hole 5 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.030	0.030	1.020	0.020	1.015	0.015					1.030	1.015	1	2
6 Hole 6 - Ovality	25432	1.00	0.02	-1.00	mm	1.025	0.025	1.050	0.050	1.020	0.020					1.050	1.020	0	3
16																			/
17																			/
18																			/
19																			/
20																			/
21																			/
22																			/
23																			/
24																			/
25																			/
Technician Name / Department / Date: Bruno Lopes (BrgP/ENG_Lab) 14-fev-18 Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 14-fev-18 Signature:		The test results are exclusively of the objects tested and conclusive. Observations:										"A" Archiving of this document is mandatory							
<small>This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.</small>																Page: 4/8			

7 Bohrungen fuer Action Pins:
HOLES FOR ACTION PINS:

Spezifikation: chem. verzinnete Durchkontaktierung fuer Einpresstechnik gemäss Tyco-Action-Pin-Zeichnung SPECIFICATION: IMMERSION-TINNED PLATED THROUGH-HOLE FOR PRESS-FIT TECHNOLOGY ACC. TO TYCO ACTION PIN DRAWING			
Basismaterial BASE MATERIAL	FR4 (Shengyu - S1000)		
Materialdicke MATERIAL THICKNESS	1.6 ± 0.14 mm		
Grundbohrung DRILLED HOLE	∅ 1.15 ± 0.025 mm		
Kupfer (Cu) COPPER (Cu)	30-55 µm		
chem. Zinn (Sn) IMMERSION TIN (Sn)	1.0-1.5 µm		
Fertigloch FINISHED HOLE	∅ 1.0 ± 0.115 mm		
Durchmesser bei Aussenlagen DIAMETER IN EXTERNAL LAYERS	1.7 mm	Restringbreite bei fertigter PCB AMBER RING WIDTH ON FINISHED PCB	min. 0.15 mm
Durchmesser bei Innenlagen DIAMETER IN INTERNAL LAYERS	2.0 mm	Durchmesser der Loetstoppsmasken- Freispannung DIAMETER OF SOLDER MASH CLEARANCE	1.5 mm

Figura 72. Especificação da furação do produto 300374

- Die Ovalität O eines Lochs ist $O = D_{max} / D_{min}$ (siehe Fig.1). Ein Wert von $O \leq 1,02$ ist zu erzielen, damit das Loch möglichst rund ist. Die Messmethode muss mit der Bosch-Qualitätsabteilung abgestimmt werden.
- The ovality O of a hole is given as the ratio $O = D_{max} / D_{min}$ (see Fig.1). Here a value of $O \leq 1.02$ is desired, in order to have a hole as round as possible. The method of measurement must be agreed upon by the Bosch quality department.

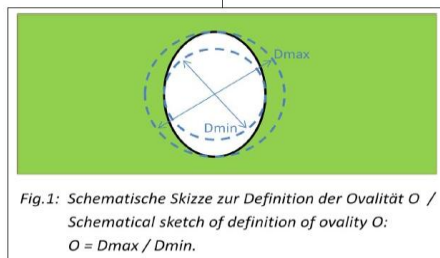


Figura 73. Método de cálculo e valor desejável da ovalidade da furação

ANEXO V. ANÁLISE DA GEOMETRIA DOS FUROS – PRODUTO 301368

Tabela 41. Diâmetro e posicionamento dos furos do produto 301368






 BOSCH BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test										Date of reception of samples		Report Nº				
		- Cover sheet - 8613312428 - Registration of results 00-FE-00032										4-abr-18		ENG / Mec / 18 / 0869				
												Date of accomplishment of measurement		Version: 0				
												9-abr-18						
Measurement description	Bench / Nº	Sample nº				Supplier A PCB 1		Supplier A PCB 2		Supplier A PCB 3		Supplier A PCB 4		Supplier A PCB 5		Max. Value	Min. Value	Final result
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			
1 Diameter - Pin #1	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.024	0.024	1.034	0.034	1.045	0.045	1.038	0.038	1.038	0.038	1.045	1.024	5 / 0
2 Diameter - Pin #2	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.031	0.031	1.045	0.045	1.048	0.048	1.037	0.037	1.049	0.049	1.049	1.031	5 / 0
3 Diameter - Pin #3	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.020	0.020	1.034	0.034	1.045	0.045	1.047	0.047	1.039	0.039	1.047	1.020	5 / 0
4 Diameter - Pin #4	25432	1.00	0.12	0.02	mm	0.984	-0.016	1.044	0.044	1.043	0.043	1.044	0.044	1.040	0.040	1.044	0.984	4 / 1
5 Diameter - Pin #5	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.038	0.038	1.047	0.047	1.048	0.048	1.040	0.040	1.043	0.043	1.048	1.038	5 / 0
6 Diameter - Pin #6	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.043	0.043	1.045	0.045	1.047	0.047	1.039	0.039	1.037	0.037	1.047	1.037	5 / 0
7 True Position - Pin #1	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.031	0.031	0.012	0.012	0.022	0.022	0.037	0.037	0.013	0.013	0.037	0.012	5 / 0
8 True Position - Pin #2	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.033	0.033	0.006	0.006	0.035	0.035	0.059	0.059	0.025	0.025	0.059	0.006	5 / 0
9 True Position - Pin #3	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.007	0.007	0.047	0.047	0.021	0.021	0.018	0.018	0.025	0.025	0.047	0.007	5 / 0
10 True Position - Pin #4	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.029	0.029	0.033	0.033	0.010	0.010	0.031	0.031	0.017	0.017	0.033	0.010	5 / 0
11 True Position - Pin #5	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.029	0.029	0.031	0.031	0.005	0.005	0.037	0.037	0.022	0.022	0.037	0.005	5 / 0
12 True Position - Pin #6	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.011	0.011	0.025	0.025	0.024	0.024	0.036	0.036	0.032	0.032	0.036	0.011	5 / 0
13 True Position (Nutzen) - Pin #1	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.090	0.090	0.068	0.068	0.122	0.122	0.064	0.064	0.091	0.091	0.122	0.064	5 / 0
14 True Position (Nutzen) - Pin #2	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.040	0.040	0.065	0.065	0.134	0.134	0.055	0.055	0.077	0.077	0.134	0.040	5 / 0
15 True Position (Nutzen) - Pin #3	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.051	0.051	0.106	0.106	0.125	0.125	0.082	0.082	0.072	0.072	0.125	0.051	5 / 0
16 True Position (Nutzen) - Pin #4	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.060	0.060	0.094	0.094	0.113	0.113	0.074	0.074	0.079	0.079	0.113	0.060	5 / 0
17 True Position (Nutzen) - Pin #5	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.054	0.054	0.093	0.093	0.099	0.099	0.064	0.064	0.079	0.079	0.099	0.054	5 / 0
18 True Position (Nutzen) - Pin #6	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.050	0.050	0.080	0.080	0.121	0.121	0.065	0.065	0.100	0.100	0.121	0.050	5 / 0
																		/
																		/
																		/
																		/
																		/
																		/
																		/
																		/
Technician Name / Department / Date: Bruno Lopes (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18		The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.																
Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18		Observations:										"A" Archiving of this document is mandatory						
Signature:		This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.												Page: 2/7				

Tabela 43. Diâmetro e posicionamento dos furos do produto 301368

 BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8613312428 - Registration of results 00-FE-00032														Date of reception of samples		Report N° ENG / Mec / 18 / 0869 Version: 0	
																4-abr-18			
																Date of accomplishment of measurement			
																9-abr-18			
Measurement description	Bench / N°	Sample n°				Supplier B PCB 1		Supplier B PCB 2		Supplier B PCB 3		Supplier B PCB 4		Supplier B PCB 5		Max. Value	Min. Value	Final result	
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.				OK / NOK
1 Diameter - Pin #1	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.047	0.047	1.036	0.036	1.049	0.049	1.053	0.053	1.052	0.052	1.053	1.036	5 / 0	
2 Diameter - Pin #2	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.044	0.044	1.046	0.046	1.046	0.046	1.058	0.058	1.046	0.046	1.058	1.044	5 / 0	
3 Diameter - Pin #3	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.047	0.047	1.038	0.038	1.045	0.045	1.054	0.054	1.063	0.063	1.063	1.038	5 / 0	
4 Diameter - Pin #4	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.048	0.048	1.038	0.038	1.047	0.047	1.044	0.044	1.049	0.049	1.049	1.038	5 / 0	
5 Diameter - Pin #5	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.051	0.051	1.039	0.039	1.061	0.061	1.048	0.048	1.057	0.057	1.061	1.039	5 / 0	
6 Diameter - Pin #6	25432	1.00	0.12	0.02	mm	1.057	0.057	1.041	0.041	1.038	0.038	1.049	0.049	1.055	0.055	1.057	1.038	5 / 0	
7 True Position - Pin #1	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.041	0.041	0.055	0.055	0.027	0.027	0.021	0.021	0.032	0.032	0.055	0.021	5 / 0	
8 True Position - Pin #2	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.023	0.023	0.039	0.039	0.061	0.061	0.034	0.034	0.048	0.048	0.061	0.023	5 / 0	
9 True Position - Pin #3	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.035	0.035	0.054	0.054	0.040	0.040	0.034	0.034	0.055	0.055	0.055	0.034	5 / 0	
10 True Position - Pin #4	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.035	0.035	0.042	0.042	0.026	0.026	0.017	0.017	0.052	0.052	0.052	0.017	5 / 0	
11 True Position - Pin #5	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.027	0.027	0.031	0.031	0.020	0.020	0.043	0.043	0.046	0.046	0.046	0.020	5 / 0	
12 True Position - Pin #6	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.024	0.024	0.024	0.024	0.035	0.035	0.045	0.045	0.054	0.054	0.054	0.024	5 / 0	
13 True Position (Nutzen) - Pin #1	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.055	0.055	0.084	0.084	0.141	0.141	0.044	0.044	0.103	0.103	0.141	0.044	5 / 0	
14 True Position (Nutzen) - Pin #2	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.021	0.021	0.090	0.090	0.167	0.167	0.035	0.035	0.099	0.099	0.167	0.021	5 / 0	
15 True Position (Nutzen) - Pin #3	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.051	0.051	0.082	0.082	0.157	0.157	0.032	0.032	0.094	0.094	0.157	0.032	5 / 0	
16 True Position (Nutzen) - Pin #4	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.044	0.044	0.085	0.085	0.135	0.135	0.048	0.048	0.093	0.093	0.135	0.044	5 / 0	
17 True Position (Nutzen) - Pin #5	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.039	0.039	0.079	0.079	0.132	0.132	0.023	0.023	0.091	0.091	0.132	0.023	5 / 0	
18 True Position (Nutzen) - Pin #6	25432	0.00	0.20	0.00	mm	0.040	0.040	0.074	0.074	0.149	0.149	0.020	0.020	0.080	0.080	0.149	0.020	5 / 0	
Technician Name / Department / Date: Bruno Lopes (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18	The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.																		
Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18	Observations:										"A" Archiving of this document is mandatory								
Signature:	This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.															Page: 4/7			


ANEXO VI. ANÁLISE DOS PINOS

Tabela 45. Diâmetro e altura dos pinos

 BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8613150061 - Registration of results 00-FE-00032										Date of reception of samples		Report Nº ENG / Mec / 18 / 2948 Version: 0				
												2-abr-18						
												Date of accomplishment of measurement						
												9-abr-18						
Measurement description	Bench / Nº	Sample nº				1		2		3						Max. Value	Min. Value	Final result
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			
1 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06	1.20	-0.04					1.20	1.18	3 / 0
2 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.59	-0.01	3.64	0.04	3.56	-0.04					3.64	3.56	3 / 0
3 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.20	-0.04	1.18	-0.06	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0
4 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.62	0.02	3.62	0.02	3.60	0.00					3.62	3.60	3 / 0
5 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.20	-0.04	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0
6 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.66	0.06	3.61	0.01	3.60	0.00					3.66	3.60	2 / 1
7 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06	1.20	-0.04					1.20	1.18	3 / 0
8 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.60	0.00	3.59	-0.01	3.60	0.00					3.60	3.59	3 / 0
9 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.20	-0.04	1.18	-0.06	1.19	-0.05					1.20	1.18	3 / 0
10 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.61	0.01	3.64	0.03	3.65	0.05					3.65	3.61	3 / 0
11 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.18	-0.06	1.20	-0.04	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0
12 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.65	0.05	3.64	0.04	3.64	0.04					3.65	3.64	3 / 0
13 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06	1.20	-0.04					1.20	1.18	3 / 0
14 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.59	-0.02	3.60	0.00	3.63	0.02					3.63	3.59	3 / 0
15 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.20	-0.04	1.18	-0.06	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0
16 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.59	-0.01	3.64	0.03	3.64	0.04					3.64	3.59	3 / 0
17 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.18	-0.06	1.20	-0.04	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0
18 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.65	0.05	3.62	0.02	3.63	0.03					3.65	3.62	3 / 0
19 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06	1.20	-0.04					1.20	1.18	3 / 0
20 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.58	-0.02	3.64	0.04	3.61	0.01					3.64	3.58	3 / 0
21 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.20	-0.04	1.18	-0.06	1.19	-0.05					1.20	1.18	3 / 0
22 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.60	0.00	3.62	0.02	3.62	0.02					3.62	3.60	3 / 0
23 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.20	-0.04	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0
24 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.63	0.03	3.62	0.02	3.64	0.04					3.64	3.62	3 / 0
25 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.19	-0.05	1.20	-0.04					1.20	1.19	3 / 0

Technician Name / Department / Date: Lionel Azevedo (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18	The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.	
	Observations:	"A" Archiving of this document is mandatory
Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18	This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.	
Signature:	Page: 2/5	


Tabela 46. Diâmetro e altura dos pinos


 BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8613150061 - Registration of results 00-FE-00032										Date of reception of samples		Report Nº ENG / Mec / 18 / 2948 Version: 0					
												2-abr-18							
												Date of accomplishment of measurement							
												9-abr-18							
Measurement description	Bench / Nº	Sample nº				1		2		3						Max. Value	Min. Value	Final result	
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.				OK / NOK
26 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.59	-0.01	3.63	0.03	3.60	0.00					3.63	3.59	3 / 0	
27 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.21	-0.03	1.18	-0.06	1.18	-0.06					1.21	1.18	3 / 0	
28 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.61	0.01	3.62	0.02	3.60	0.00					3.62	3.60	3 / 0	
29 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.20	-0.04	1.18	-0.06					1.20	1.18	3 / 0	
30 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.65	0.05	3.61	0.01	3.64	0.03					3.65	3.61	3 / 0	
31 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06	1.19	-0.05					1.19	1.18	3 / 0	
32 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.60	0.00	3.63	0.03	3.63	0.03					3.63	3.60	3 / 0	
33 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.21	-0.03	1.18	-0.06	1.18	-0.06					1.21	1.18	3 / 0	
34 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.61	0.01	3.61	0.01	3.61	0.01					3.61	3.61	3 / 0	
35 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.20	-0.04	1.19	-0.05					1.20	1.19	3 / 0	
36 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.65	0.05	3.59	-0.01	3.65	0.05					3.65	3.59	3 / 0	
37 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06	1.17	-0.07					1.19	1.17	3 / 0	
38 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.58	-0.02	3.61	0.01	3.64	0.04					3.64	3.58	3 / 0	
39 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.20	-0.04	1.18	-0.06	1.19	-0.05					1.20	1.18	3 / 0	
40 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.59	-0.01	3.60	0.00	3.63	0.03					3.63	3.59	3 / 0	
41 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.17	-0.07	1.20	-0.04	1.18	-0.06					1.20	1.17	3 / 0	
42 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.64	0.04	3.58	-0.02	3.64	0.04					3.64	3.58	3 / 0	
43 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.19	-0.05	1.18	-0.06							1.19	1.18	2 / 0	
44 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.57	-0.03	3.60	0.00							3.60	3.57	2 / 0	
45 diameter	5795	1.24	0.08	-0.08	mm	1.20	-0.04	1.18	-0.06							1.20	1.18	2 / 0	
46 Height	5795	3.60	0.05	-0.05	mm	3.61	0.01	3.60	0.00							3.61	3.60	2 / 0	
																		/	
																		/	
																		/	
																		/	
Technician Name / Department / Date: Lionel Azevedo (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18		The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.										Observations: "A" Archiving of this document is mandatory							
Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 9-abr-18		Signature:																	
This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.												Page: 3/5							



ANEXO VII. FERRAMENTAS DE CORTE

Tabela 47. Avaliação do desgaste da ferramenta *cutter plate*

 BOSCH BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.		List of inspection, measurement and test										Date of reception of samples		Report N°						
		- Cover sheet - 8600866654 - Registration of results 00-FE-00032										24/abr/18		ENG / Mec / 18 / 1609						
												Date of accomplishment of measurement		Version: 1						
												29/jun/18								
Measurement description	Bench / N°	Sample n°				#_New		#_Old		#_3		#_4		#_5		Max. Value	Min. Value	Final result		
		Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			OK / NOK		
1 DIM 20 - Diameter	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	3,016	n.a.	3,008	n.a.							3,016	3,008	n.a.	/	n.a.
2 DIM 21 - Diameter	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	8,452	n.a.	8,869	n.a.							8,869	8,452	n.a.	/	n.a.
3 DIM 22 - Diameter	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	3,125	n.a.	3,375	n.a.							3,375	3,125	n.a.	/	n.a.
4 DIM 23 - Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	1,034	n.a.	1,041	n.a.							1,041	1,034	n.a.	/	n.a.
5 DIM 24 - Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	4,218	n.a.	4,186	n.a.							4,218	4,186	n.a.	/	n.a.
6 DIM 25 - Diameter	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	2,996	n.a.	3,011	n.a.							3,011	2,996	n.a.	/	n.a.
7 DIM 26 - Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	4,142	n.a.	4,151	n.a.							4,151	4,142	n.a.	/	n.a.
8 DIM 27 - Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	2,597	n.a.	2,585	n.a.							2,597	2,585	n.a.	/	n.a.
9																			/	
10																			/	
11																			/	
12																			/	
13																			/	
14																			/	
15																			/	
16																			/	
17																			/	
18																			/	
19																			/	
20																			/	
21																			/	
22																			/	
23																			/	
24																			/	
25																			/	

Technician Name / Department / Date: Celso Oliveira (BrgP/ENG_Lab) 29/jun/18 Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 29/jun/18 Signature:	The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.		
	Observations:	"A" Archiving of this document is mandatory	
This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.		Page: 2/3	


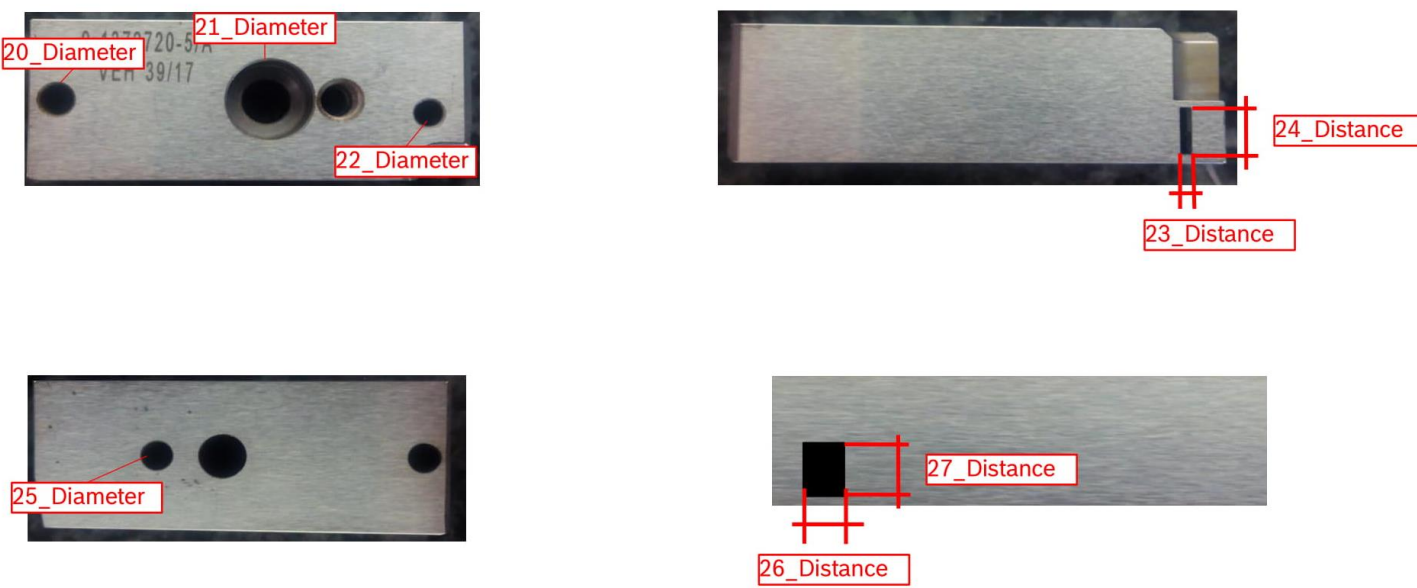


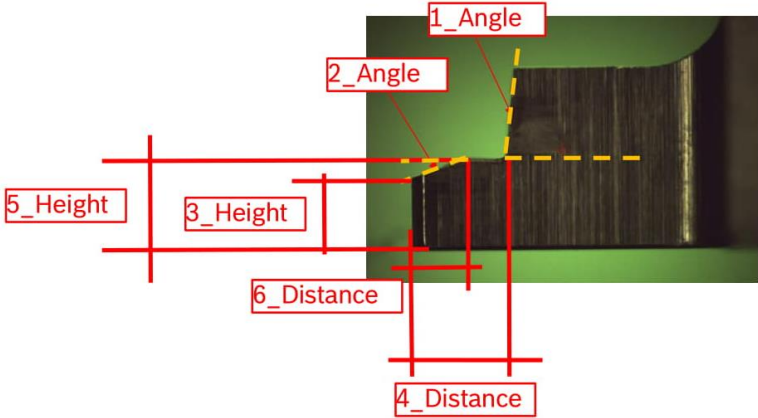
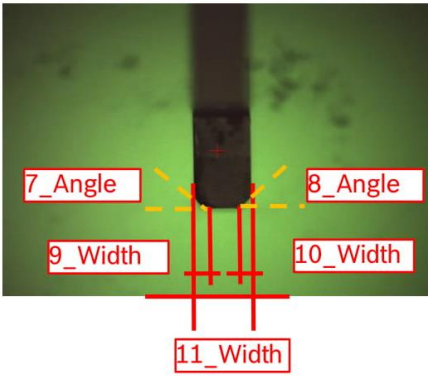
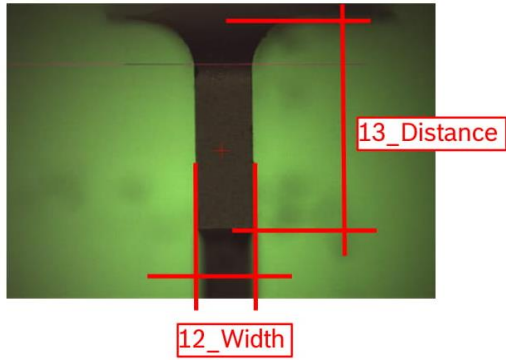
 BOSCH BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.	List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8600866654 - Drawing / Sketch 00-FE-00032	Date of reception of samples	Report Nº ENG / Mec / 18 / 1609 Version: 1
		24/abr/18	
		Date of accomplishment of measurement	
		29/jun/18	
			
Technician Name / Department / Date: Celso Oliveira (BrgP/ENG_Lab) 29/jun/18 Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 29/jun/18 Signature:	Observations:	"A" Archiving of this document is mandatory	
This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.		Page:	3/3

Figura 74. Cotas utilizadas na avaliação do desgaste da ferramenta *cutter plate*

Tabela 48. Avaliação do desgaste da ferramenta *cutter blade*

BOSCH BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.	List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8600866661 - Registration of results 00-FE-00032										Date of reception of samples 24/abr/18		Report N° ENG / Mec / 18 / 1611 Version: 1						
	Measurement description	Bench / N°	Sample n°				#_New		#_Old		#_3		#_4		#_5		Max. Value	Min. Value	Final result OK / NOK
			Nominal	USL	LSL	Unit.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.	Real value	Dev.			
1 Dim 1_Angle	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	84,357	n.a.	85,037	n.a.							85,037	84,357	n.a. / n.a.	
2 Dim 2_Angle	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	20,412	n.a.	18,042	n.a.							20,412	18,042	n.a. / n.a.	
3 Dim 3_Height	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	1,516	n.a.	1,517	n.a.							1,517	1,516	n.a. / n.a.	
4 Dim 4_Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	1,783	n.a.	1,804	n.a.							1,804	1,783	n.a. / n.a.	
5 Dim 5_Height	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	1,873	n.a.	1,923	n.a.							1,923	1,873	n.a. / n.a.	
6 Dim 6_Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	0,957	n.a.	1,009	n.a.							1,009	0,957	n.a. / n.a.	
7 Dim 7_Angle	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	44,532	n.a.	50,261	n.a.							50,261	44,532	n.a. / n.a.	
8 Dim 8_Angle	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	44,422	n.a.	45,680	n.a.							45,680	44,422	n.a. / n.a.	
9 Dim 9_Width	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	0,197	n.a.	0,172	n.a.							0,197	0,172	n.a. / n.a.	
10 Dim 10_Width	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	0,202	n.a.	0,205	n.a.							0,205	0,202	n.a. / n.a.	
11 Dim 11_Width	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	0,992	n.a.	0,993	n.a.							0,993	0,992	n.a. / n.a.	
12 Dim 12_Width	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	0,994	n.a.	1,003	n.a.							1,003	0,994	n.a. / n.a.	
13 Dim 13_Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	4,027	n.a.	4,029	n.a.							4,029	4,027	n.a. / n.a.	
14 Dim 14_Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	2,584	n.a.	2,632	n.a.							2,632	2,584	n.a. / n.a.	
15 Dim 15_Distance	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	6,000	n.a.	6,008	n.a.							6,008	6,000	n.a. / n.a.	
16 Dim 16_Angle	25432	n.a.	n.a.	n.a.	mm	0,019	n.a.	0,340	n.a.							0,340	0,019	n.a. / n.a.	
17																		/	
18																		/	
19																		/	
20																		/	
21																		/	
22																		/	
23																		/	
24																		/	
25																		/	
Technician Name / Department / Date: Celso Oliveira (BrgP/ENG_Lab) 2/jul/18		The test results are exclusively of the objects tested and conclusive.										"A" Archiving of this document is mandatory							
Responsible Name / Department / Date: Freitas, Isabel (BrgP/ENG_Lab) 2/jul/18		Observations:																	
Signature:		This report may not be reproduced, except in its entirety and with the prior written permission of the ENG-laboratory. Printed editions of this document are not covered by the amendment service.										Page: 2/4							

 BOSCH BrgP/ENG_Lab. Metrology Lab.	List of inspection, measurement and test - Cover sheet - 8600866661 - Drawing / Sketch 00-FE-00032	Date of reception of samples 24/abr/18	Report Nº ENG / Mec / 18 / 1611 Version: 1
		Date of accomplishment of measurement 2/jul/18	
			
			

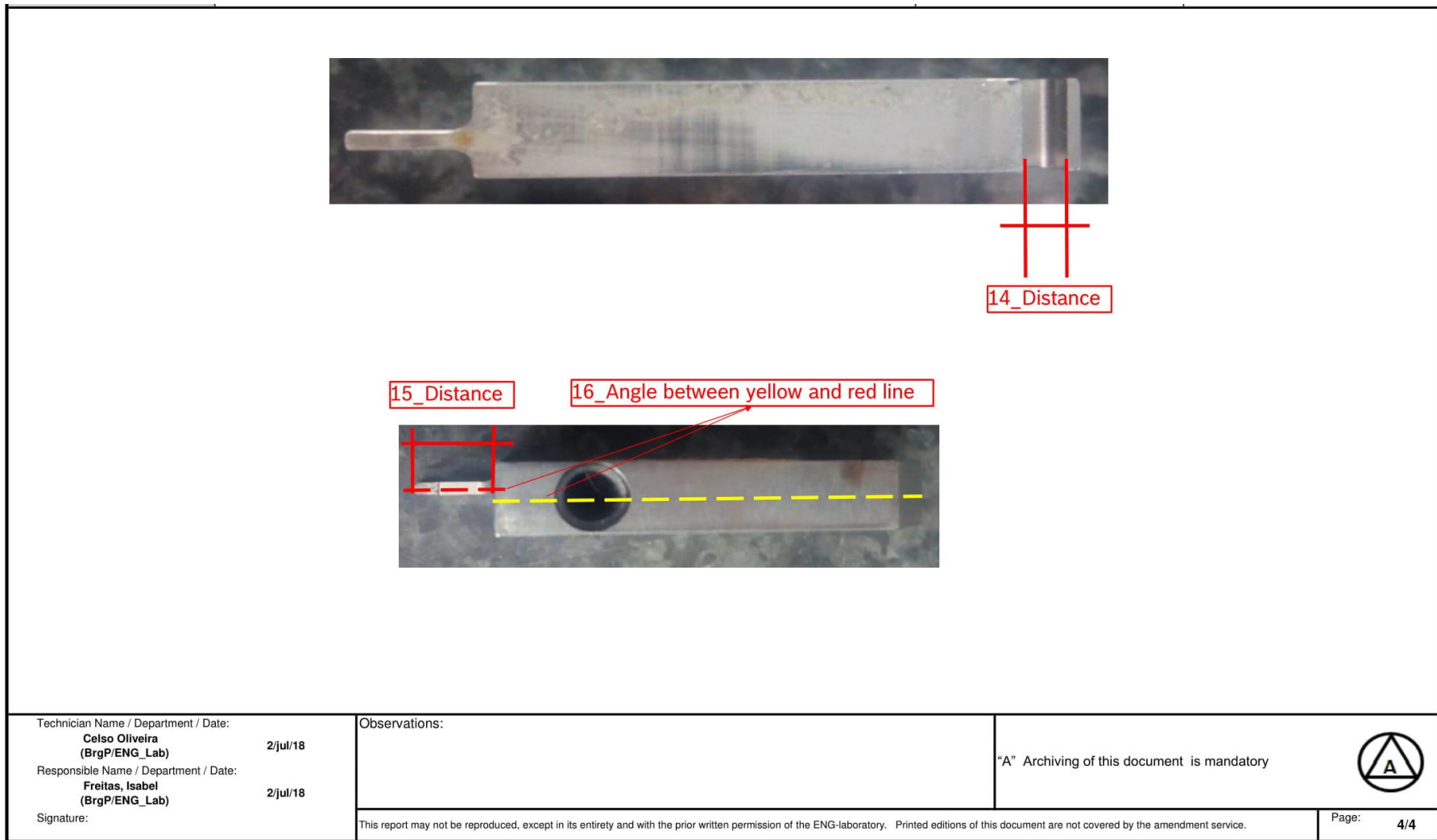


Figura 75. Cotas utilizadas na avaliação do desgaste da ferramenta *cutter blade*

ANEXO VIII. APROVAÇÃO DO NOVO PINO

Tabela 49. Dados de força de inserção, pull-out e push-through

PCB	Pino	<i>Nutzen 1</i>		<i>Nutzen 2</i>		<i>Nutzen 3</i>		<i>Nutzen 4</i>		<i>Nutzen 5</i>			
		F_in [N]	Furo Ø [mm]	F_in [N]	Furo Ø [mm]	F_in [N]	Furo Ø [mm]	F_in [N]	Furo Ø [mm]	F_in [N]	Furo Ø [mm]	F_out [N]	F_through [N]
1	1	95	1,0323	95	1,0286	90	1,0363	98	1,0175	91	1,0444	-	-
	2	92	1,0309	92	1,0291	88	1,0371	96	1,0203	90	1,0448	-	-
	3	96	1,0306	93	1,0284	93	1,0367	98	1,0207	93	1,0453	-	-
	4	94	1,0292	93	1,0289	92	1,0407	96	1,0229	94	1,0444	-	-
2	1	94	1,0386	95	1,0311	94	1,0398	94	1,02	91	1,0471	-	-
	2	93	1,0372	92	1,0302	95	1,0398	94	1,0189	90	1,0461	-	-
	3	93	1,0361	92	1,0316	93	1,0402	96	1,0166	90	1,0463	-	-
	4	89	1,0362	92	1,0309	95	1,0407	92	1,0187	87	1,0472	-	-
3	1	89	1,0417	94	1,032	93	1,0399	96	1,0188	96	1,0466	-	-
	2	88	1,0398	87	1,0319	92	1,04	95	1,0176	89	1,0471	-	-
	3	91	1,0405	91	1,031	92	1,0413	94	1,0216	90	1,0468	-	-
	4	89	1,0404	90	1,033	91	1,0417	94	1,0242	89	1,0484	-	-
4	1	89	1,043	92	1,0326	96	1,04	96	1,019	89	1,0458	-	-
	2	89	1,0421	89	1,0343	94	1,0413	96	1,0191	90	1,0462	-	-
	3	90	1,0425	92	1,034	93	1,0415	96	1,0207	92	1,0468	-	-
	4	89	1,0407	92	1,0343	92	1,0417	94	1,0196	91	1,0471	-	-

Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Melhoria da Qualidade do Processo de Inserção de Pinos

5	1	84	1,0431	88	1,034	91	1,041	92	1,0146	91	1,0461	-	-
	2	85	1,0421	87	1,0348	89	1,041	91	1,0172	89	1,0468	-	-
	3	86	1,0422	87	1,0344	86	1,041	92	1,0219	90	1,0467	-	-
	4	87	1,0415	88	1,0355	87	1,0427	89	1,0208	87	1,0466	-	-
6	1	85	1,0426	87	1,0343	89	1,0354	93	1,0217	93	1,0431	-	-
	2	86	1,0412	85	1,0335	88	1,0354	94	1,0247	91	1,044	-	-
	3	87	1,0408	85	1,0332	87	1,036	90	1,0233	89	1,0431	-	-
	4	87	1,0419	86	1,0358	89	1,0368	89	1,0241	91	1,0432	-	-
7	1	93	1,0453	90	1,0336	93	1,0385	97	1,0243	91	1,0444	-	99,290
	2	92	1,0429	90	1,034	92	1,0373	96	1,0266	93	1,0429	-	101,603
	3	97	1,0435	92	1,0353	92	1,0379	95	1,0274	92	1,0435	-	99,356
	4	99	1,0444	92	1,0365	95	1,0376	99	1,0283	95	1,0447	-	101,524
8	1	93	1,0438	91	1,0325	94	1,0436	93	1,0252	95	1,0494	-	105,397
	2	90	1,0443	92	1,0338	91	1,0435	93	1,0233	94	1,0484	-	113,528
	3	92	1,0444	91	1,0344	90	1,0431	93	1,0261	91	1,0493	-	112,134
	4	93	1,0438	91	1,0359	91	1,0444	94	1,0246	90	1,0493	-	96,893
9	1	93	1,0445	93	1,0331	91	1,0424	94	1,022	89	1,05	-	102,999
	2	91	1,0446	94	1,0329	91	1,0424	93	1,0221	89	1,0495	-	104,960
	3	92	1,0441	90	1,0343	93	1,0433	94	1,0191	88	1,0519	-	102,003
	4	90	1,0424	89	1,0352	89	1,0448	92	1,0231	91	1,0512	-	103,859
10	1	89	1,0439	94	1,033	90	1,0433	95	1,0202	93	1,0493	-	103,766
	2	90	1,0432	94	1,0307	88	1,0431	95	1,0188	94	1,0479	-	105,130
	3	92	1,0422	92	1,0299	93	1,0442	94	1,0229	90	1,0505	-	102,314
	4	91	1,0418	92	1,035	92	1,0452	94	1,0286	90	1,0515	-	106,776

Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Melhoria da Qualidade do Processo de Inserção de Pinos

11	1	94	1,0405	99	1,031	98	1,0422	95	1,0228	93	1,05	-	108,443
	2	95	1,0394	98	1,0292	98	1,0428	94	1,0185	94	1,0487	-	102,200
	3	97	1,0396	98	1,0303	98	1,0416	95	1,0205	92	1,0495	-	110,731
	4	97	1,0373	96	1,0314	99	1,0428	98	1,0258	92	1,0511	-	109,063
12	1	100	1,0284	95	1,0288	94	1,0411	97	1,0221	93	1,0482	-	-
	2	97	1,0281	95	1,0276	92	1,0417	96	1,0221	91	1,0487	-	-
	3	94	1,0285	96	1,0279	96	1,0406	96	1,0232	92	1,0491	-	-
	4	97	1,0285	98	1,0295	94	1,0415	97	1,0252	92	1,0502	-	-
13	1	98	1,0266	95	1,0281	94	1,0427	97	1,0207	91	1,0491	-	-
	2	96	1,0263	93	1,0278	91	1,0421	95	1,0224	90	1,048	-	-
	3	95	1,0249	95	1,0288	90	1,0433	96	1,0243	92	1,0486	-	-
	4	95	1,027	96	1,0307	91	1,0443	94	1,0276	91	1,0501	-	-
14	1	94	1,0389	96	1,0296	95	1,0428	100	1,0203	92	1,05	76,852	-
	2	96	1,0381	92	1,0315	93	1,0432	100	1,0226	92	1,0496	74,806	-
	3	91	1,0357	96	1,0295	92	1,0442	97	1,0191	93	1,0503	74,294	-
	4	90	1,0385	91	1,03	91	1,0452	93	1,0236	92	1,0502	70,320	-
15	1	96	1,0424	95	1,0304	92	1,045	100	1,0213	94	1,0499	80,957	-
	2	95	1,0417	93	1,0332	92	1,0446	98	1,0202	95	1,0498	73,937	-
	3	95	1,041	95	1,0328	93	1,0447	100	1,0256	94	1,0505	77,841	-
	4	95	1,0422	95	1,0334	94	1,0459	98	1,0255	97	1,0503	76,320	-
16	1	95	1,0428	95	1,0327	93	1,0437	96	1,0243	92	1,0493	75,785	-
	2	95	1,0423	94	1,0338	93	1,0445	97	1,0229	91	1,0497	73,864	-
	3	96	1,0422	94	1,0338	96	1,0448	97	1,0244	91	1,0509	70,668	-
	4	94	1,0431	96	1,034	94	1,0465	94	1,028	89	1,0517	74,786	-

Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Melhoria da Qualidade do Processo de Inserção de Pinos

17	1	92	1,0433	95	1,0326	95	1,044	98	1,02	91	1,05	80,956	-
	2	93	1,0441	96	1,0341	94	1,0427	98	1,0209	88	1,0489	78,542	-
	3	93	1,0422	98	1,0332	96	1,043	94	1,0259	87	1,05	78,203	-
	4	91	1,0424	98	1,0318	94	1,0422	93	1,0292	89	1,0502	79,345	-
18	1	94	1,0431	94	1,0325	93	1,0383	94	1,0229	93	1,045	77,301	-
	2	90	1,0429	94	1,0339	94	1,0376	94	1,0228	92	1,0449	77,674	-
	3	92	1,0422	94	1,0308	93	1,0379	94	1,0257	92	1,0451	80,886	-
	4	93	1,0408	92	1,0346	92	1,0382	93	1,0236	95	1,0443	82,025	-

Nutzen 6							
PCB	Pino	F_in [N]	Furo Ø [mm]	PCB	Pino	F_in [N]	Furo Ø [mm]
1	1	104	1,0063	10	1	101	1,0165
	2	99	1,0092		2	102	1,0194
	3	99	1,0119		3	98	1,0225
	4	98	1,0145		4	98	1,0236
2	1	103	1,0111	11	1	104	1,0139
	2	101	1,0154		2	105	1,0194
	3	99	1,0196		3	104	1,0209
	4	100	1,0206		4	102	1,0220
3	1	99	1,0150	12	1	104	1,0084
	2	98	1,0184		2	101	1,0114
	3	94	1,0219		3	98	1,0141
	4	96	1,0223		4	101	1,0163
4	1	101	1,0143	13	1	101	1,0105
	2	96	1,0189		2	101	1,0146
	3	97	1,0213		3	99	1,0165
	4	98	1,0230		4	101	1,0164
5	1	100	1,0137	14	1	104	1,0167
	2	97	1,0175		2	102	1,0190
	3	95	1,0204		3	103	1,0205
	4	95	1,0210		4	103	1,0204
6	1	101	1,0117	15	1	106	1,0131
	2	99	1,0155		2	104	1,0177
	3	95	1,0192		3	104	1,0201
	4	95	1,0203		4	98	1,0210
7	1	104	1,0125	16	1	106	1,0141
	2	101	1,0161		2	104	1,0165
	3	99	1,0174		3	107	1,0184
	4	102	1,0175		4	103	1,0188
8	1	105	1,0158	17	1	104	1,0132
	2	96	1,0201		2	103	1,0170
	3	98	1,0213		3	100	1,0190
	4	96	1,0215		4	100	1,0196
9	1	105	1,0171	18	1	104	1,0157
	2	103	1,0181		2	102	1,0169
	3	102	1,0224		3	99	1,0191
	4	100	1,0240		4	99	1,0196

Spezifikation: chem. verzinnzte Durchkontaktierung fuer Einpresstechnik gemoesst Schempp+Decker-Press-Fit-Zeichnung SPECIFICATION: IMMERSION-TINNED PLATED THROUGH-HOLE FOR PRESS-FIT TECHNOLOGY ACC. TO SCHEMP + DECKER PRESS-FIT DRAWING			
Basismaterial BASE MATERIAL	FR4 Shengui-S1000		
Materioldicke MATERIAL THICKNESS	1.6 ± 0.14 mm		
Grundbohrung DRILLED HOLE	∅ 1.10 ± 0.03 mm		
Kupfer (Cu) COPPER (Cu)	30-55 µm		
chem. Zinn (Sn) IMMERSION TIN (Sn)	1.0-1.5 µm		
Fertigloch FINISHED HOLE	∅ 1.03 ± 0.04 - 0.06		
Durchmesser bei Aussenlagen DIAMETER IN EXTERNAL LAYERS	1.73 mm	Restringbreite bei fertiger PCB AMBER RING WIDTH ON FINISHED PCB	min 0,15mm
Durchmesser bei Innenlagen DIAMETER IN INTERNAL LAYERS	2.03 mm	Durchmesser der Lotstopmasken-Freisparung DIAMETER OF SOLDER MASK CLEARANCE	1.83 mm

Figura 76. Especificação da furação para o pino novo

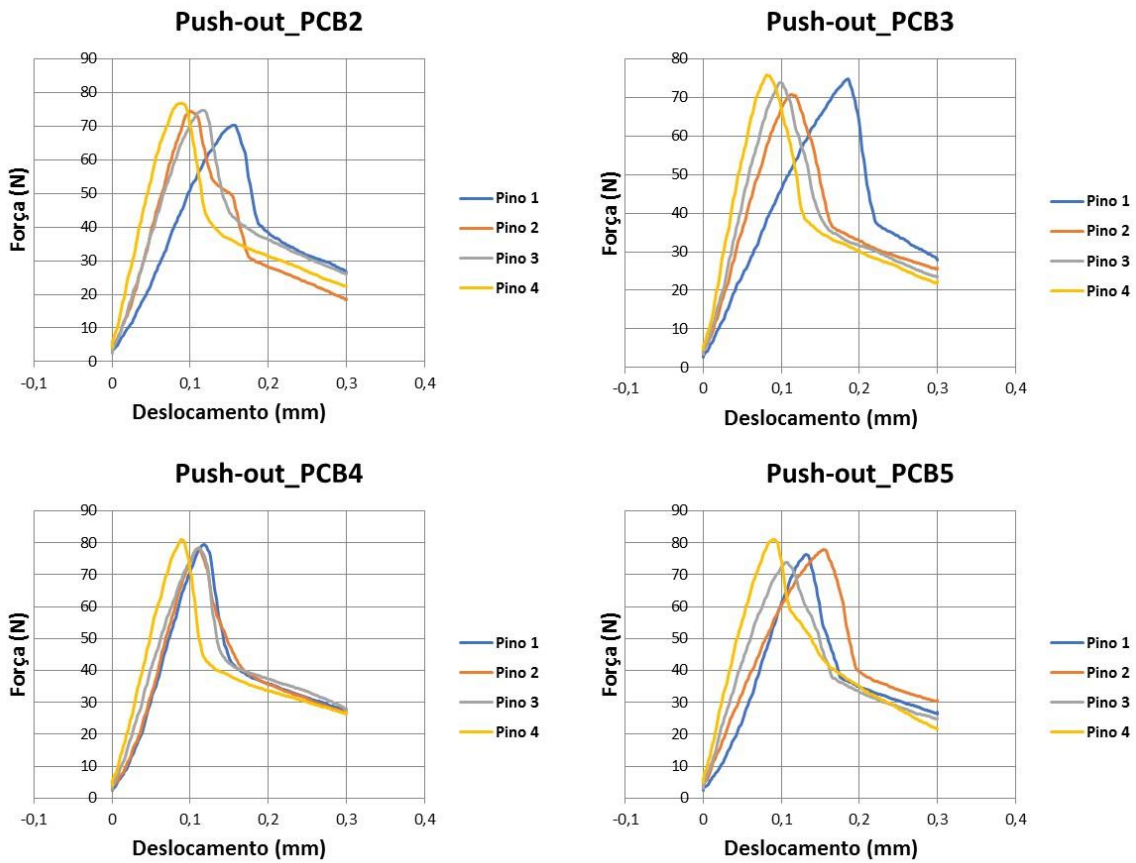


Figura 77. Forças de Push-out PCB2, PCB3, PCB4, PCB5

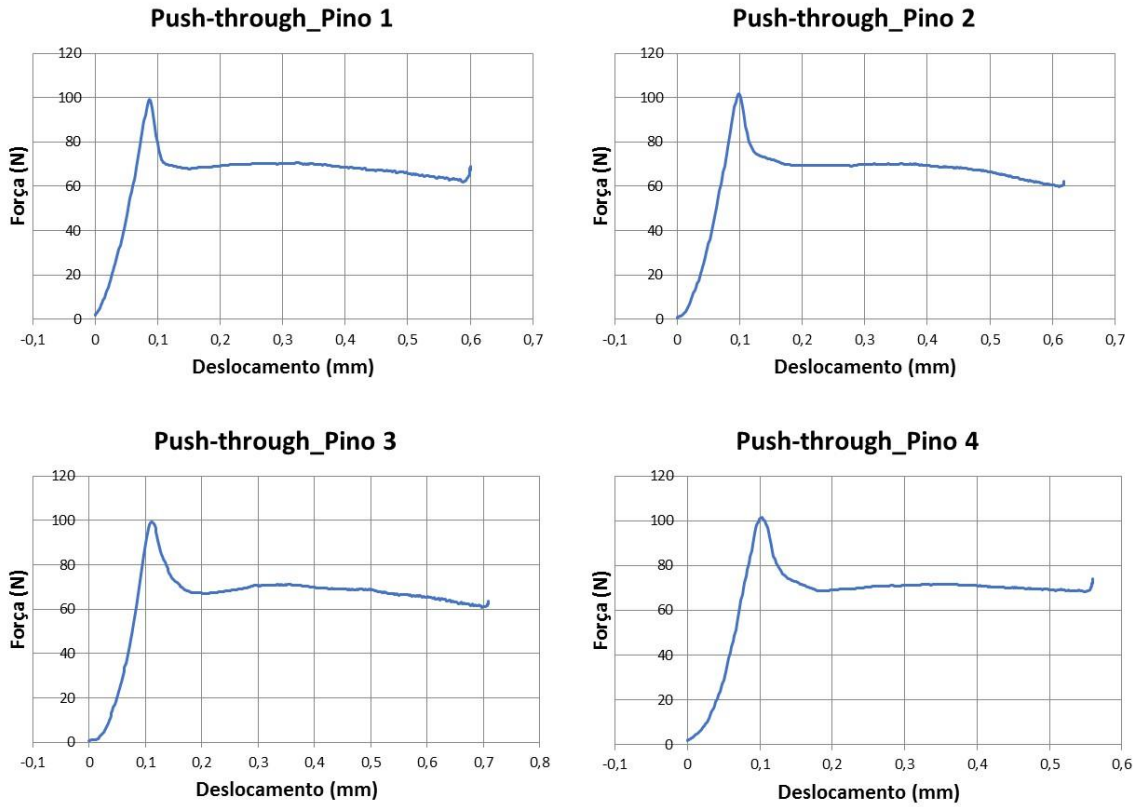


Figura 78. Forças de *Push-through* PCB2

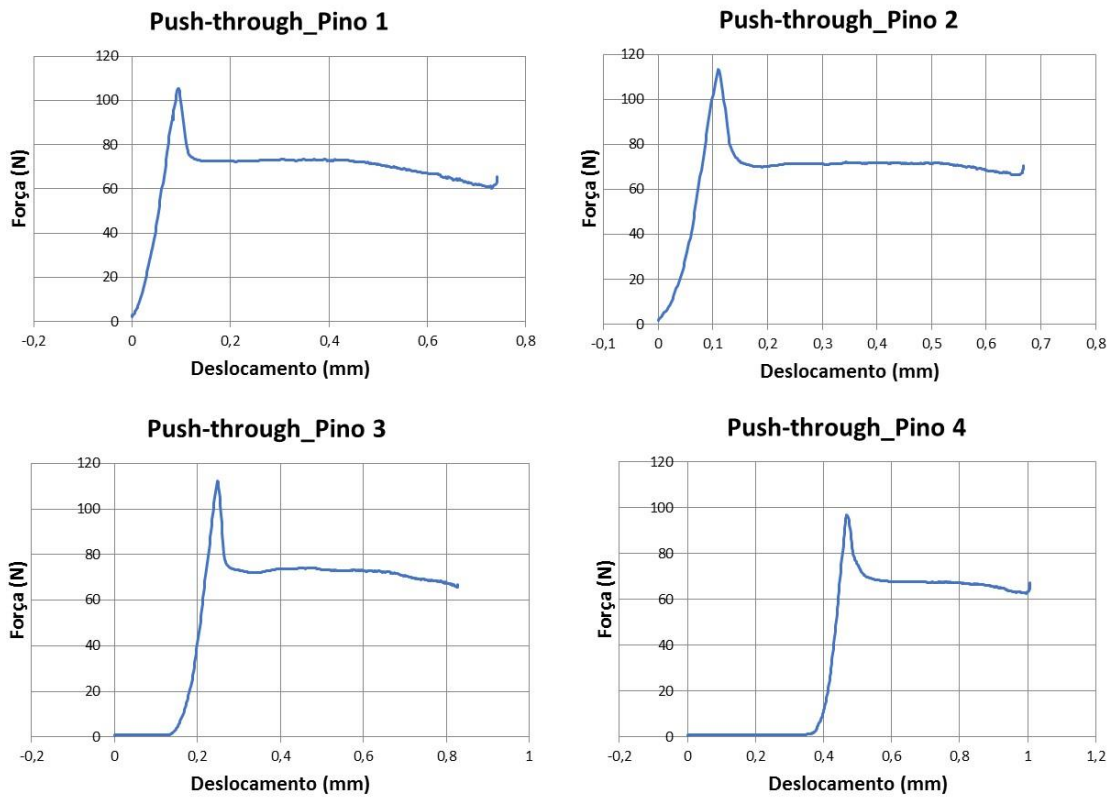


Figura 79. Forças de *Push-through* PCB3

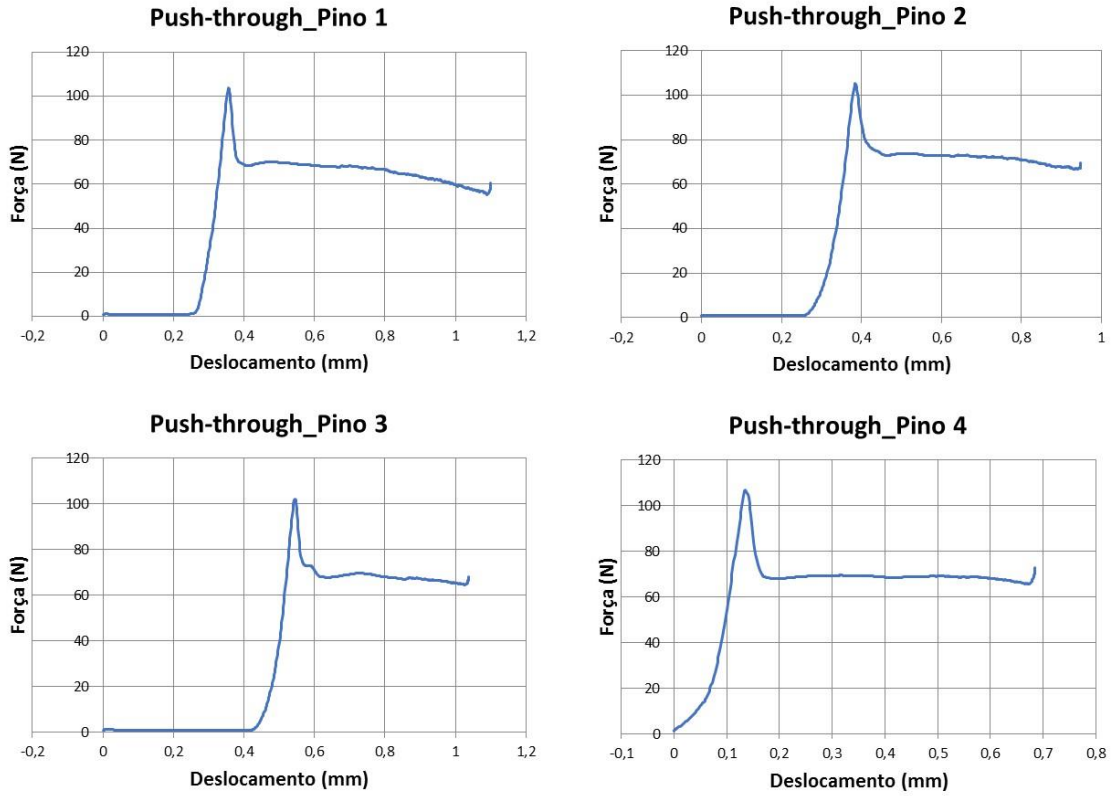


Figura 80. Forças de *Push-through* PCB4

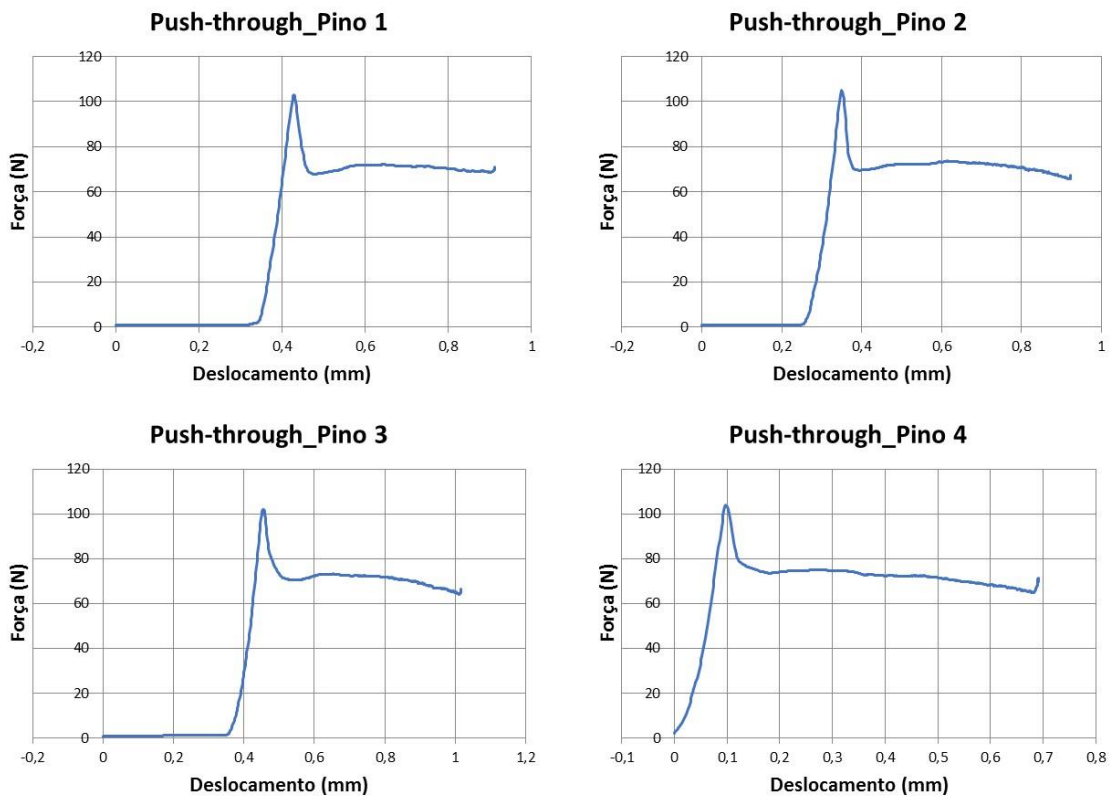


Figura 81. Forças de *Push-through* PCB5

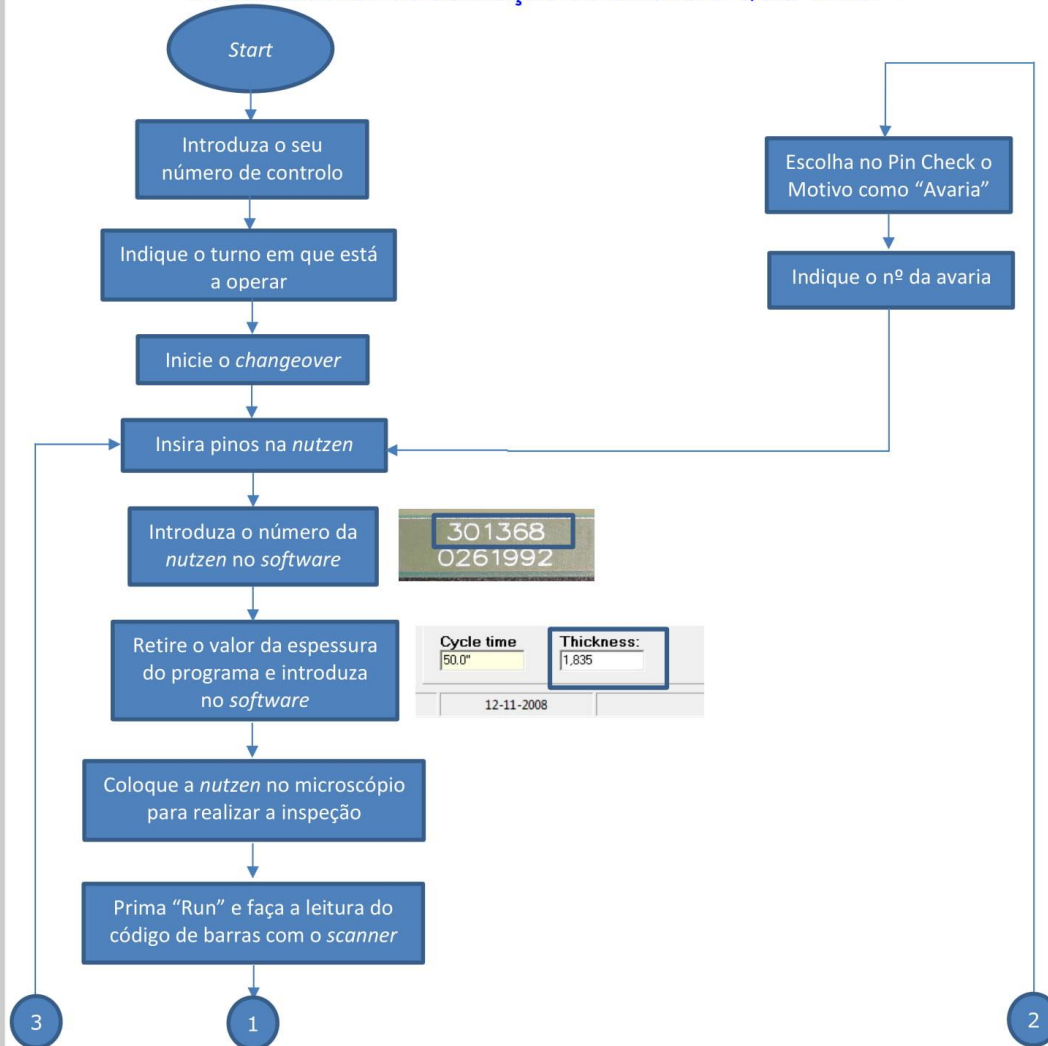
ANEXO IX. QCO TIMER - INSTRUÇÃO PARA FABRICAÇÃO E CONTROLO

Instruções para Fabricação e Controlo



Sequência de Trabalho

- Procedimento de utilização do software QCO Timer -



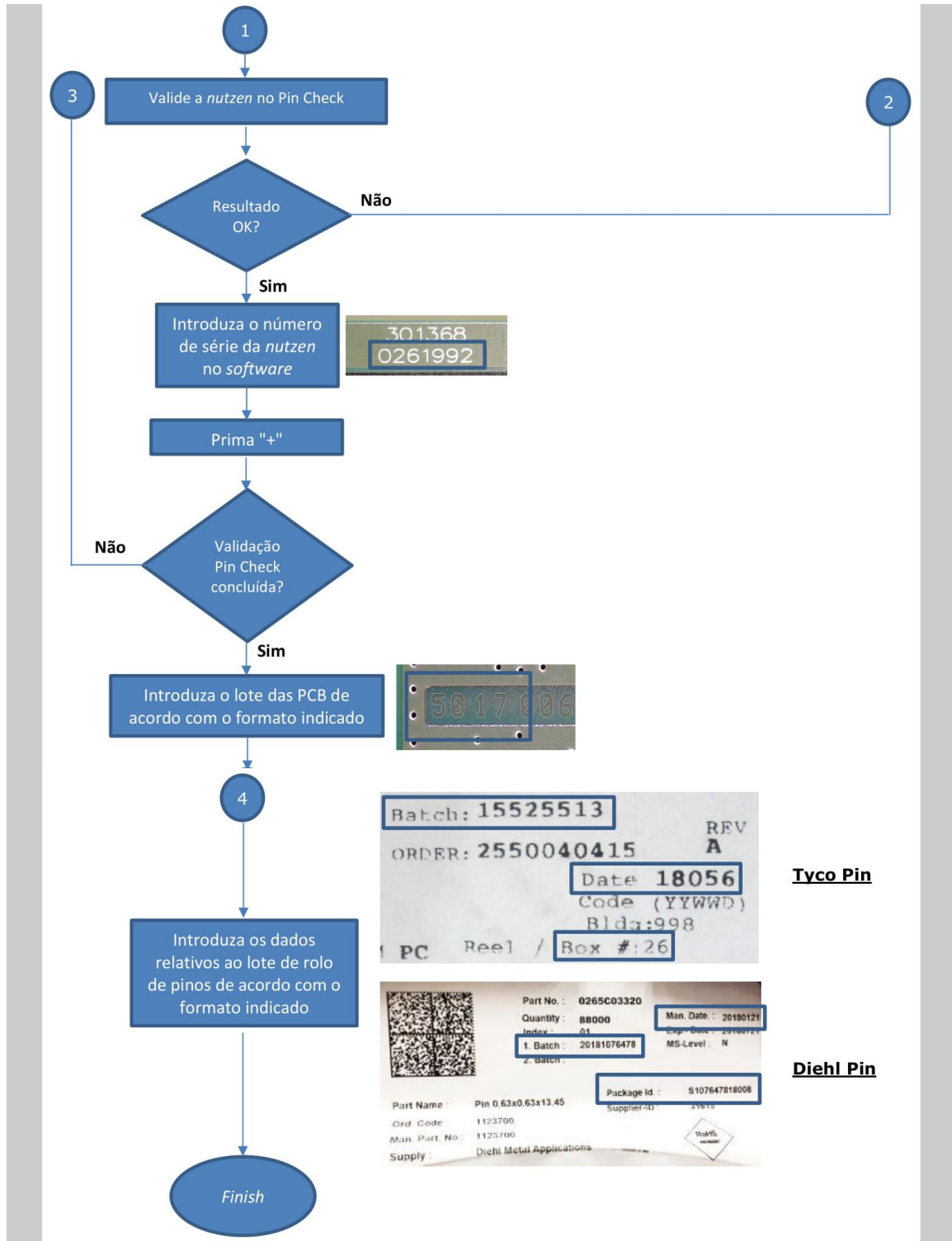


Figura 1 - Exemplo de preenchimento.

Nota: No caso de avaria durante a validação, Premir “Avaria” e introduzir o número de controlo do técnico de manutenção no *software*.

Nota: O *software* deve ser utilizado a cada Mudança de Rolo e Mudança de Produção.

Elementos Organizativos:							
Nº da IFC:	42_0003	Edição: 01	Data: 23-05-2018	Autor:	Verificação:	Motivo da Alteração:	
Família/Produto/Fase PSQP:	Inserção de Pinos			MFE2-SE2/João P. Costa	MFE2-SE	-	
Nº Peça/ Nº Fase PSQP:	42						
Localização:	2F15			Lug.	1/1		Pág
Endereço:	\\brgfs01\Group\TEF\IFC - Instruções para Fabricação e Controlo\IFC Actuais\Gerais Processo\42_Inserção de Pinos\42_0003_v01.docx						

Figura 82. IFC da aplicação QCO Timer