



CARACTERIZAÇÃO, ANÁLISE E MELHORIA DAS CONTAMINAÇÕES NAS DIFERENTES ETAPAS DO PROCESSO DE MONTAGEM DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

JOÃO PEDRO LOURENÇO DIAS

novembro de 2021

CARACTERIZAÇÃO, ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA ANTENA AUTOMÓVEL

João Pedro Lourenço Dias
1180056

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

CARACTERIZAÇÃO, ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA ANTENA AUTOMÓVEL

João Pedro Lourenço Dias
1180056

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro e coorientação do Doutor Paulo António da Silva Ávila.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira
Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Paulo António da Silva Ávila
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Professor Doutor Gustavo Guimarães Marchisotti
Professor Coordenador, Instituto INFNET

AGRADECIMENTOS

Queria expressar o meu profundo agradecimento,

Ao meu orientador, Professor Doutor Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro pela excelente orientação, disponibilidade e total apoio demonstrado ao longo deste percurso.

Ao engenheiro Nuno Martins de Almeida pela orientação, aprendizagem, disponibilidade e ajuda prestada na elaboração desta dissertação.

A toda os colaboradores da Continental *Advanced Antenna*, pelo apoio prestado em diversas situações e também por me terem recebido de braços abertos.

Ao Manuel Cardoso pela amizade demonstrada e por toda a ajuda e apoio.

Ao meu amigo Pedro Festa um sincero e profundo Muito Obrigado, pela forma amiga e generosa com que sempre me ajudou e motivou não só na elaboração desta dissertação, mas também ao longo de todo o mestrado.

Não podia terminar sem agradecer a minha avó Maria que sempre me acompanhou em todos os momentos da minha vida, por ser a minha inspiração e o meu exemplo de coragem e vida.

Por ti e para ti Maria.

Muito Obrigado!

PALAVRAS-CHAVE

Limpeza técnica, *Lean*, *Particle Trap*, *Melhoria contínua*, *Manutenção Produtiva Total*.

RESUMO

A crescente competitividade, a dinâmica dos mercados atuais e a conjuntura económica atual exigem, cada vez mais a necessidade de as empresas abordarem, adotarem e implementarem estratégias de gestão inovadoras, para permitir a sua subsistência, o seu crescimento e vantagem competitiva. Deste modo, as empresas procuram métodos de gestão que lhes possibilitem aumentar em simultâneo a eficácia e a eficiência dos seus processos, através da melhoria da qualidade dos seus produtos e/ou serviços, da redução de custos e do aumento da rentabilidade do capital e da satisfação dos clientes.

A junção dos conceitos de limpeza técnica e *Lean Manufacturing* criam um paradigma que visa, por um lado, solucionar e/ou reduzir o número de falhas em dispositivos eletrónicos relacionado com a contaminação por partículas. E pelo outro, concentra-se na eliminação do desperdício, através da definição de tudo aquilo que é desnecessário para a fabricação de um produto.

A presente dissertação incide no estudo da implementação da metodologia *Lean Manufacturing* e das suas ferramentas com o apoio da metodologia de investigação *action research*, numa empresa que é, uma das principais fabricantes mundiais de antenas para o mercado automóvel. Na fase inicial foi determinado o projeto, através de requisitos e metas propostas pelo departamento da Qualidade da empresa, com o objetivo de caracterizar, analisar, e melhorar certos parâmetros nas diferentes etapas do processo produtivo de uma antena automóvel. Desta forma, teve-se em conta os requisitos de limpeza técnica do produto final, tendo com referência os requisitos das normas ISO 14644 e 16232 e os requisitos específicos de cliente como a VDA 19.1 e VDA 19.2.

Neste propósito, foi aplicada a metodologia *Lean Manufacturing* com recurso às suas ferramentas com o objetivo de caracterizar e analisar o atual estado do processo produtivo de uma antena automóvel. Posteriormente foram identificadas oportunidades e implementadas melhorias que permitiram uma redução na geração e propagação das partículas metálicas e não metálicas, nas diferentes etapas do processo produtivo, através da implementação de um plano de limpeza dos carrinhos de transporte e da redefinição do plano de entrega e uso das luvas.

Essas medidas resultaram também numa diminuição dos desperdícios, referente às diversas etapas, como a redução de componentes eletrónicos e o reaproveitamento de parafusos descartados. Resultaram também numa melhoria dos postos de trabalho

através da implementação de um plano de manutenção autónoma e da realização de auditorias 5S e numa otimização do sistema produtivo através da implementação de um sistema *Kanban* e de um sistema *FIFO*.

KEYWORDS

Technical Cleanliness, Lean, Particle Trap, Continuous Improvement, Total Productive Maintenance.

ABSTRACT

The growing competitiveness, the dynamics of current markets and the current economic environment increasingly imply the need for companies to address, adopt and implement innovative management strategies to enable their livelihood, growth, and competitive advantage. Thus, companies seek management methods that enable them to simultaneously increase the effectiveness and efficiency of their processes by improving the quality of their products and/or services, reducing costs and increasing the return on capital and customer satisfaction.

The combination of the concepts of technical cleaning and Lean Manufacturing creates a paradigm that aims, on the one hand, to solve and/or reduce the number of failures in electronic devices related to particle contamination. And on the other, it focuses on the elimination of waste by defining everything that is unnecessary for the manufacturing of a product.

This dissertation focuses on the study of the implementation of the Lean Manufacturing methodology and its tools with the support of the action research methodology, in a company that is one of the world's leading manufacturers of antennas for the automotive market. In the initial phase the project was determined, through requirements and goals proposed by the company's Quality department, with the objective of characterizing, analyzing, and improving certain parameters in the different stages of the production process of an automobile antenna. In this way, the technical cleanliness requirements of the final product were taken into account, with reference to the requirements of ISO standards 14644 and 16232 and customer-specific requirements such as VDA 19.1 and VDA 19.2.

For this purpose, the Lean Manufacturing methodology was applied using its tools in order to characterize and analyze the current state of the production process of an automotive antenna. Subsequently, opportunities were identified, and improvements were implemented that allowed a reduction in the generation and propagation of metallic and non-metallic particles in the different stages of the production process through the implementation of a cleaning plan for transport carts and the redefinition of the delivery plan and the use of gloves.

These measures also resulted in a reduction of waste, referring to the various stages, such as the reduction of electronic components and the reuse of discarded screws. They

also resulted in an improvement of workstations through the implementation of an autonomous maintenance plan and 5S audits, and in an optimization of the production system through the implementation of a Kanban system and a FIFO system.

LISTA DE ABREVIATURAS, UNIDADES E SÍMBOLOS

Lista de Abreviaturas

A	Amperes
AOI	Inspeção Ótica Automática
CAA	<i>Continental Advanced Antenna</i>
DAB	<i>Digital Audio Broadcasting</i> (Transmissão de áudio digital)
ESD	<i>Electrostatic Discharge</i> (Descarga Electroestática)
FIFO	<i>First In First Out</i>
GPS	<i>Global Position System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IMVP	<i>International Motor Vehicle Program</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
ISO 14644:1999	<i>International Organization for Standardization – Cleanroom and associated controlled environments</i>
ISO 14644:2015	<i>International Organization for Standardization – Cleanroom and associated controlled environments</i>
ISO 14644-1:2015	<i>International Organization for Standardization - Cleanroom and associated controlled environments Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration</i>
ISO 16232:2007	<i>International Organization for Standardization – Road Vehicles – Cleanliness of componentes of fluid circuits.</i>
ISO 16232:2018	<i>International Organization for Standardization - Road Vehicles - Cleanliness of components and systems</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i> (Fabricante de Equipamento Original)
OP	Operador
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
PCBA	<i>Printed Circuit Board Assembly</i>
PM	Parque de Máquinas
PT	Posto de Trabalho
P&P	<i>Pick and Place</i>
RKE	<i>Remote Keyless Entry</i> (Sistema de Chave Inteligente)
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>
TMC	<i>Toyota Motor Company</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
TPS	<i>Toyota Production System</i> (Sistema de Produção da Toyota)

VA	Valor Acrescentado
VDA 19.1	<i>Verband der Automobilindustrie – Inspection of Technical Cleanliness (Inspeção de Limpeza Técnica)</i>
VDA 19.2	<i>Verband der Automobilindustrie – Technical cleanliness in assembly (Limpeza Técnica na Montagem)</i>
VNA	Valor Não Acrescentado
ZVEI	<i>Technical Cleanliness in Electrical Engineering</i>
5S	<i>(Seiri, Seiton, Seisou, Seiketsu, Shitsuke)</i>

Lista de Unidades

A	Amperes
L/Min	Litros por minuto
M ²	Metro Quadrado
M ³	Metro Cúbico
Ppm	Partes por Milhão
μm	Micrómetro

Lista de Símbolos

XX	Século Vinte
€	Euro
%	Percentagem

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Covid-19</i>	Doença provocada pelo coronavírus SARS-COV-2, que pode causar infeção respiratória grave como a pneumonia.
<i>Fluxo</i>	Significa que a produção deve fluir continuamente sem interrupções desde a matéria-prima até ao cliente.
<i>Handling</i>	Manuseamento.
<i>Input</i>	Matéria-prima que entra num processo de produção.
<i>Output</i>	Produto que resulta de um processo de produção.
<i>Layout</i>	Esquema.
<i>Lead Time</i>	Tempo necessário para realizar um produto, serviço, trabalho ou tarefa. É composto pelo tempo útil e o tempo não produtivo.
<i>Not Ok</i>	Não Conforme.
<i>Nutzens</i>	Placa constituída por inúmeros PCB.
<i>QR Code</i>	Código de Barras.
<i>Sistema Pull</i>	É um sistema de fabrico coordenado pelo cliente. As atividades de fabrico começam apenas na presença de um pedido ou ordem do cliente.
<i>Stocks</i>	Existência de recursos, quer matéria-prima para ser transformada quer de produto acabado para ser vendido.
<i>Target</i>	Meta, objetivo ou alvo.
<i>Versus</i>	Termo que significa: “contra”.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
FIGURA 2 - CICLO DA METODOLOGIA <i>ACTION RESEARCH</i>	6
FIGURA 3 - PARTÍCULA CONTAMINANTE A FORMAR "PONTE" ENTRE DOIS CONDUTORES.....	16
FIGURA 4 - DIAGRAMA DE UMA <i>PARTICLE TRAP</i>	17
FIGURA 5 - PROCESSO DE MEDIÇÃO E ANÁLISE DAS PARTÍCULAS CONTAMINANTES.....	19
FIGURA 6 - VALORES LIMITE PARA A CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS NO AR POR CLASSE ISO.....	20
FIGURA 7 - PROCESSO DE MEDIÇÃO	21
FIGURA 8 - CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA TOYOTA	23
FIGURA 9 - CASA DO <i>TOYOTA PRODUCTION SYSTEM</i>	25
FIGURA 10 - PRINCÍPIOS DO PENSAMENTO <i>LEAN</i>	29
FIGURA 11 - DESPERDÍCIOS <i>LEAN</i>	29
FIGURA 12 - AS TRÊS CATEGORIAS DE DESPERDÍCIOS.....	30
FIGURA 13 - DIAGRAMA 5S	31
FIGURA 14 - FÓRMULA PARA CALCULAR A QUANTIDADE DE <i>KANBANS</i>	34
FIGURA 15 - CASA TPM.....	38
FIGURA 16 - LOGÓTIPO DA CONTINENTAL.....	45
FIGURA 17 - ESTRUTURA DA EMPRESA	46
FIGURA 18 - CONTINENTAL <i>ADVANCED ANTENNA</i>	47
FIGURA 19 - MÓDULO DE ANTENA INTELIGENTE.....	48
FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS.....	49
FIGURA 21 - LAYOUT DA CONTINENTAL <i>ADVANCED ANTENNA</i>	49
FIGURA 22 - PROCESSO PRODUTIVO DA CONTINENTAL <i>ADVANCED ANTENNA</i>	50
FIGURA 23 - PROCESSO PRODUTIVO DO SMT	51
FIGURA 24 – <i>PRINTER</i>	52
FIGURA 25 - AOI.....	53
FIGURA 26 - PROCESSO PRODUTIVO NO PARQUE DE MÁQUINAS	53
FIGURA 27 - ROBOT DE SOLDADURA.....	54
FIGURA 28 - PROCESSO DE LACAGEM	54
FIGURA 29 - PROCESSO DE FRESAGEM	55
FIGURA 30 - PROCESSO PRODUTIVO DA LINHA MRA.....	56
FIGURA 31 - EVOLUÇÃO DO CUSTO VS DIMENSÃO DA PARTÍCULA MÁXIMA.....	58
FIGURA 32 - VALOR DA CORRENTE ELÉTRICA (A) SEM QUALQUER TIPO DE PARTÍCULA CONDUTORA.....	61
FIGURA 33 - PARTÍCULA METÁLICA ENTRE DOIS PONTOS CONDUTORES	61
FIGURA 34 - VALOR DA CORRENTE ELÉTRICA (A) EM CURTO-CIRCUITO.....	61
FIGURA 35 - RESULTADO DAS PARTÍCULAS METÁLICAS NO SMT	65
FIGURA 36 - RESULTADO DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS NO SMT	65
FIGURA 37 - RESULTADO DAS PARTÍCULAS METÁLICAS NO PARQUE DE MÁQUINAS	69
FIGURA 38 - RESULTADO DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS NO PARQUE DE MÁQUINAS.....	69
FIGURA 39 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS METÁLICAS NA LINHA MRA	73
FIGURA 40 - RESULTADO DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS NA LINHA MRA.....	73
FIGURA 41 - CARRINHOS DA LINHA.....	75

FIGURA 42 - DIFERENTES TIPOS DE CONTAMINAÇÃO ENCONTRADOS NOS CARRINHOS.....	76
FIGURA 43 - LUVAS ESD TOTALMENTE LIMPAS.....	76
FIGURA 44 - SEQUÊNCIA DE TRABALHOS NO TURNO DA MANHÃ.....	77
FIGURA 45 - SEQUÊNCIA DE TRABALHOS NO TURNO DA TARDE.....	77
FIGURA 46 - SEQUÊNCIA DE TRABALHOS NO TURNO DA NOITE.....	78
FIGURA 47 - GRAU DE SUJIDADE	78
FIGURA 48 - PONTUAÇÃO POR % DE ÁREA SUJA	79
FIGURA 49 - EXEMPLIFICAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO	79
FIGURA 50 - DETERMINAÇÃO DO POSTO MAIS CRÍTICO.....	80
FIGURA 51 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO POSTO MAIS CRÍTICO	80
FIGURA 52 - PEÇA METÁLICA DO CONJUNTO <i>MAINBOARD</i>	81
FIGURA 53 - CHAPA METÁLICA DA ANTENA.....	81
FIGURA 54 – CAIXAS (ESQUERDA) E BLISTERS (DIREITA) SUJOS.....	82
FIGURA 55 - PARAFUSO SOLTO NUM CARRINHO DE TRANSPORTE (ESQUERDA) E NUM EQUIPAMENTO DO POSTO 3 (DIREITA)	82
FIGURA 56 - CAIXAS DE ABASTECIMENTO DOS POSTOS DE TRABALHO	83
FIGURA 57 – CAIXAS DO PRODUTO FINAL.....	83
FIGURA 58 - PONTOS DE MONITORIZAÇÃO	84
FIGURA 59 - <i>LAYOUT</i> DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO SMT	84
FIGURA 60 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 0,5 μM NO SMT	85
FIGURA 61 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 1 μM NO SMT	85
FIGURA 62 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 5 μM NO SMT	86
FIGURA 63 - <i>LAYOUT</i> DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO PARQUE DE MÁQUINAS.....	87
FIGURA 64 – VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 0,5 μM NO PARQUE DE MÁQUINAS	87
FIGURA 65 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 1 μM NO PARQUE DE MÁQUINAS	88
FIGURA 66 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 5 μM NO PARQUE DE MÁQUINAS	88
FIGURA 67 - <i>LAYOUT</i> DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NA LINHA MRA.....	90
FIGURA 68 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 0,5 μM NA LINHA MRA	90
FIGURA 69 - VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 1 μM NA LINHA MRA	91
FIGURA 70 – VALORES MEDIDOS PARA A CLASSE DE TAMANHO 5 μM NA LINHA MRA	91
FIGURA 71 - DADOS MENSAIS	93
FIGURA 72 - CUSTO DO DESPERDÍCIO	94
FIGURA 73 - PLANO DE INSPEÇÃO VISUAL (OK)	94
FIGURA 74 – PLANO DE INSPEÇÃO (<i>NOT OK</i>)	95
FIGURA 75 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS METÁLICAS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO SMT	95
FIGURA 76 – RESULTADOS DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO SMT	96
FIGURA 77 - CARTÃO DE REGISTO	96
FIGURA 78 - CARTÃO DE REGISTO	97
FIGURA 79 - CARTÃO DE REGISTO	97
FIGURA 80 - PLANO DE LIMPEZA DA FRESA	99
FIGURA 81 - AJUDA VISUAL DO PLANO DE LIMPEZA FRESA.....	99

FIGURA 82 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS METÁLICAS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PARQUE DE MÁQUINAS.....	100
FIGURA 83 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PARQUE DE MÁQUINAS.....	100
FIGURA 84 - PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA.....	101
FIGURA 85 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS METÁLICAS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NA LINHA MRA	102
FIGURA 86 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NA LINHA MRA	102
FIGURA 87 - PLANO DE LIMPEZA DOS CARRINHOS	103
FIGURA 88 - FLUXO DO PROCESSO DE LIMPEZA DOS CARRINHOS.....	103
FIGURA 89 – EXEMPLO DO PREENCHIMENTO DA TABELA DE RECOLHA DE CARRINHOS DA LINHA	104
FIGURA 90 - TABELA DE CONTROLO DOS CARRINHOS EXISTENTES NA FÁBRICA	104
FIGURA 91 - APARAFUSADORA COM RECIPIENTE PARA PARAFUSOS DESCARTADOS	106
FIGURA 92 - CUSTO DO DESPERDÍCIO DE PARAFUSOS	106
FIGURA 93 - DESCRIÇÃO DO <i>KANBAN</i>	107
FIGURA 94 - ESQUEMA DO QUADRO <i>KANBAN</i>	108
FIGURA 95 - ESTRUTURA DO QUADRO <i>KANBAN</i>	108
FIGURA 96 - SISTEMA FIFO	112
FIGURA 97 - SISTEMA DE ABERTURA DAS PORTAS	113
FIGURA 98 - DIVISÃO DO PRODUTO FINAL EM DUAS PARTES	120
FIGURA 99 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS METÁLICAS NO PRODUTO FINAL	121
FIGURA 100 - RESULTADOS DAS PARTÍCULAS NÃO METÁLICAS NO PRODUTO FINAL.....	121

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - RELAÇÃO ENTRE AS FASES DA METODOLOGIA <i>ACTION RESEARCH</i> E FERRAMENTAS <i>LEAN</i>	6
TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ARTESANAL, EM MASSA E <i>LEAN</i>	24
TABELA 3 - PRINCÍPIOS DOS 5S	31
TABELA 4 – ESTUDOS ANÁLOGOS	41
TABELA 5 - OPERAÇÕES SELECIONADAS PARA O PROCESSO DE CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE	57
TABELA 6 - COMPRIMENTO VS FOLGA	59
TABELA 7 - ANÁLISE DAS ÁREAS CONDUTORAS MAIS CRÍTICAS DO PRODUTO	60
TABELA 8 - DESCRIÇÃO, ORDEM E LOCAL DAS <i>PARTICLE TRAPS</i> NO SMT	62
TABELA 9 - RESUMO DA ANÁLISE NO SMT	66
TABELA 10 - DESCRIÇÃO, ORDEM E LOCAL DAS <i>PARTICLE TRAPS</i> NO PARQUE DE MÁQUINAS	67
TABELA 11 - RESUMO DA ANÁLISE NO PARQUE DE MÁQUINAS	70
TABELA 12 - DESCRIÇÃO, ORDEM E LOCAL DAS <i>PARTICLE TRAPS</i> NA LINHA MRA	71
TABELA 13 - RESUMO DA ANÁLISE NA LINHA MRA	74
TABELA 14 - PONTOS MEDIDOS COM VALORES ACIMA DA CLASSE ISO 9	86
TABELA 15 - POSSÍVEIS CAUSAS IDENTIFICADAS	89
TABELA 16 - METODOLOGIA 5W2H	92
TABELA 17 - FUNCIONAMENTO DO QUADRO <i>KANBAN</i>	109
TABELA 18 - DADOS PARA CÁLCULO DO NÚMERO DE <i>KANBANS</i>	111
TABELA 19 - QUANTIDADE DE PONTOS MEDIDOS VS QUANTIDADE DE PONTOS QUE EXCEDERAM OS LIMITES DA ISO 9	113
TABELA 20 - VALORES DAS NOVAS MEDIÇÕES COM MEDIDAS CORRETIVAS NO SMT	114
TABELA 21 - VALORES DAS NOVAS MEDIÇÕES COM MEDIDAS CORRETIVAS NO PARQUE DE MÁQUINAS	114
TABELA 22 -RESUMO DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS	115

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos da Dissertação	4
1.3	Metodologia de investigação	5
1.4	Estrutura da dissertação.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	Limpeza Técnica.....	11
2.1.1	O que é a Limpeza Técnica?	11
2.1.2	Normalização da Limpeza Técnica	12
2.1.3	Normas e diretrizes da Limpeza Técnica.....	13
2.2	Dispositivos eletrónicos	14
2.2.1	Placa de Circuito Impresso (PCI/PCB)	15
2.2.2	Contaminações nos dispositivos eletrónicos	15
2.2.3	Partículas contaminantes.....	16
2.2.4	Principal defeito causado por partículas contaminantes.....	16
2.2.5	Método de medição e análise das partículas contaminantes.....	17
2.2.6	Método de medição e análise das partículas do ar	19
2.3	<i>Lean Manufacturing</i>	22
2.3.1	A sua origem e evolução histórica	22
2.3.2	Sistema de Produção da Toyota	24
2.3.3	Formas de desperdício do Sistema de Produção da Toyota	28
2.3.4	Pensamento <i>Lean</i>	28
2.3.5	Desperdícios <i>Lean</i>	29
2.4	Ferramentas <i>Lean</i>	31
2.5	Trabalhos Análogos.....	41
3	DESENVOLVIMENTO.....	45
3.1	Apresentação da Empresa	45
3.1.1	Continental AG	45
3.1.2	Continental <i>Advanced Antenna</i>	47
3.2	Descrição do processo produtivo	50
3.2.1	Armazém de componentes elétricos	50

3.2.2 <i>Surface Mount Technology</i> (SMT)	51
3.2.3 Parque de Máquinas	53
3.2.4 Armazém de componentes mecânicos	55
3.2.5 Montagem Final – Linha MRA	55
3.2.6 Inspeção	57
3.2.7 Armazém de Expedição.....	57
3.3 Caracterização e Análise do processo produtivo.....	57
3.3.1 Evolução do Custo vs Dimensão da Partícula Máxima.....	58
3.3.2 Caraterização e análise do processo produtivo no SMT	62
3.3.3 Caraterização e análise do processo produtivo no Parque de Máquinas	67
3.3.4 Caraterização e análise do processo produtivo na Montagem Final – Linha MRA.....	71
3.3.5 Caracterização e análise da quantidade de partículas do ar	84
3.4 Implementação de Melhorias	92
3.4.1 Implementação de melhorias na linha 3 do SMT.....	93
3.4.2 Implementação de melhorias no Robot de Soldura N ^o 4	96
3.4.3 Implementação de melhorias nas Fresas.....	98
3.4.4 Implementação de melhorias nos postos de trabalho da linha MRA	101
3.4.5 Implementação de melhorias nos carrinhos de transporte da linha MRA	103
3.4.6 Implementação de melhorias no plano de entrega e uso das luvas ESD.....	105
3.4.7 Implementação de melhorias no sistema de aparafusamento da linha MRA	105
3.4.8 Implementação de melhorias no sistema de abastecimento das caixas dos postos de trabalho da linha MRA.....	107
3.4.9 Implementação de melhorias no sistema das caixas do produto final.....	112
3.4.10 Implementação de melhorias na quantidade de partículas do ar	113
3.5 Avaliação das Melhorias Implementadas	115
4 CONCLUSÕES	125
4.1 Conclusões	125
4.2 Trabalhos Futuros	127
5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	131
6 ANEXOS	137
6.1 Auditoria 5S no Robot de Soldadura N ^o 4 (Antes melhorias)	137
6.2 Auditoria 5S no Robot de Soldadura N ^o 4 (Após melhorias).....	139
6.3 Plano de Limpeza do Robot	141
6.4 Auditoria 5S nas Fresas (Antes melhorias)	142
6.5 Auditoria 5S nas Fresas (Após melhorias).....	144

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

1.3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial será apresentado um enquadramento do tema, as áreas-chave envolvidas, os objetivos a serem atingidos, a metodologia de investigação desenvolvida e a estrutura da presente dissertação.

1.1 Contextualização

No mundo atual a competição entre empresas tende a crescer de dia para dia, sendo que desta forma, a competitividade assume contornos cada vez mais exigentes e complexos. Face a isso e também a conjuntura económica atual, as empresas tem a necessidade de procurarem aumentar o seu desempenho e eficácia de produção, reduzir custos, prazos e produtos defeituosos, ou qualquer outro tipo de desperdício que não acrescente valor ao seu negócio.

O *Lean Manufacturing* fundamenta-se nos métodos desenvolvidos pela *Toyota Motor Company*, focando-se na racionalização, na redução e na eliminação de todas as atividades que não agregam valor aos produtos. Com a redução dos desperdícios, pode-se verificar um aumento da flexibilidade de produção, da fiabilidade e qualidade dos produtos. A implementação da metodologia *Lean Manufacturing* nas diferentes etapas do processo produtivo de uma antena automóvel, como proposto nesta dissertação, possibilita o aumento da eficácia e da eficiência das mesmas.

Este projeto foi desenvolvido em ambiente industrial, na *Continental Advanced Antenna*, uma empresa que é das principais fabricantes mundiais, responsável pela produção de todo o tipo de antenas para o setor automóvel. Localizada na cidade de Vila Real, em Portugal, possui uma elevada diversidade de linhas de produção e de produtos finais. Sendo necessário realçar que o alvo de estudo desta dissertação será apenas uma linha de produção e o seu produto final.

O desenvolvimento deste projeto permitirá conhecer o estado atual do processo produtivo em estudo, identificar a suas falhas, fazer uma análise das causas e implementar medidas de melhoria, com a orientação dos requisitos de limpeza técnica, tendo como referência as especificações das normas ISO 14644 e 16232 e os requisitos das VDA 19.1 e 19.2.

1.2 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação tem como objetivo a caracterização, análise e implementação de melhorias nos diferentes passos do processo produtivo com vista a redução da geração e propagação de partículas metálicas e não metálicas e na otimização do sistema produtivo. As melhorias implementadas pretendem dar resposta aos requisitos de limpeza técnica do produto final de acordo com os requisitos específicos de Cliente VDA 19.1 e VDA 19.2 e normas internacionais ISO 16232 e ISO 14644.

Neste sentido foram identificados os pontos críticos do processo de fabricação no que respeita a fontes geradores de contaminação. Seguidamente propõe-se, através do uso da metodologia *Lean* e suas ferramentas, identificar as falhas, definir e implementar as respetivas melhorias, com vista à definição de um conceito de limpeza técnica que dê resposta aos requisitos do produto final.

Pela revisão bibliográfica efetuada, pretende-se mostrar a pertinência e aplicação da metodologia *Lean* para controlo e otimização de processos produtivos, bem como o seu enquadramento de acordo com os requisitos específicos do cliente e as normas ISO. Com isto será permitido um melhor entendimento do enquadramento do tema da dissertação, dos principais objetivos e a definição de um conceito de limpeza técnica que os permita alcançar.

Neste sentido será feito uma análise de um caso prático em ambiente real, para aplicação dos conhecimentos estudados. Estabeleceu-se assim um objetivo geral (Figura 1):

Caracterização, análise e implementação de melhorias no processo produtivo de uma antena automóvel com foco na prevenção de contaminações, por partículas metálicas e não metálicas.

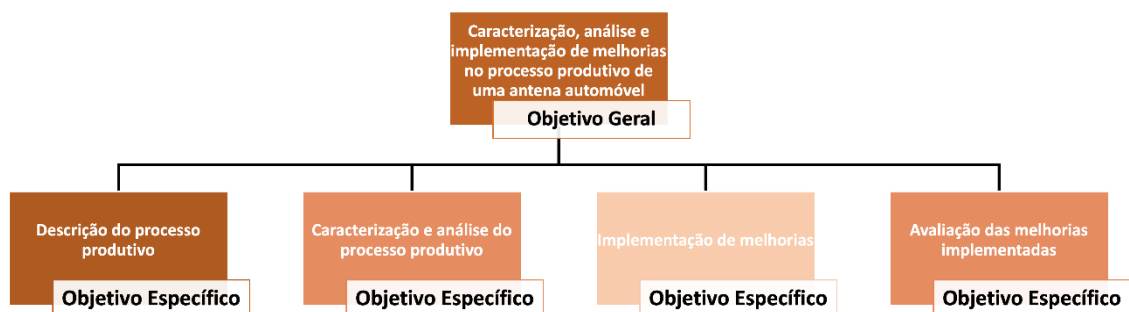


Figura 1 - Objetivo geral e objetivos específicos

Foram também estabelecidos objetivos específicos com o intuito de ser possível alcançar o objetivo geral:

- 1) Descrição do sistema produtivo, com a especificação da sequência das diferentes etapas do processo de fabrico de uma antena automóvel, com o propósito de:
 - Medir e documentar o estado atual do processo produtivo ao nível de partículas metálicas e não metálicas.
- 2) Caracterização e análise dos diferentes passos do sistema produtivo com objetivo de:
 - Identificar e priorizar falhas;
 - Analisar e identificar desperdícios inerentes ao processo.
- 3) Aplicação da metodologia *Lean* e suas ferramentas nas diferentes etapas do processo de fabrico para:
 - Dar resposta às falhas identificadas, ou seja, permitir uma redução do tamanho de partículas metálicas e não metálicas nos diferentes passos do sistema produtivo e no produto final;
 - Minimização de desperdícios inerentes ao processo;
 - Melhoria do processo produtivo.
- 4) Avaliação das melhorias implementadas através:
 - Da comparação dos resultados alcançados provenientes da aplicação da metodologia *Lean*, em detrimento ao cenário anteriormente vigente;
 - Da validação da estratégia e das ferramentas de suporte utilizadas em relação aos requisitos das normas ISO e especificações das VDA's.

1.3 Metodologia de investigação

Para a composição desta dissertação, recorreu-se à metodologia *action research* que consiste na identificação do problema, na procura de soluções e na implementação de melhorias.

Esta metodologia de investigação procura superar as barreiras das duas realidades opostas entre si, como a teoria e a prática, de forma a encontrar soluções para os problemas identificados recorrendo à realização de ciclos de investigação e ação [1].

É definida em quatro fases, representadas na Tabela 1 , assim como as ferramentas *Lean* utilizadas em cada fase da metodologia de investigação.

Tabela 1 - Relação entre as fases da metodologia *action research* e ferramentas *Lean*

Fase	Ferramenta <i>Lean</i>
1. Planeamento de uma solução	Fluxograma Histograma <i>Brainstorming</i> <i>Process Stapling</i> 5W2H Questionários
2. Implementação das melhorias	5S Gestão Visual <i>Kanban</i> TPM
3. Controlo e monitorização dos efeitos	5S Histograma TPM
4. Avaliação dos resultados	Histograma

A metodologia encontra-se representada na Figura 2.

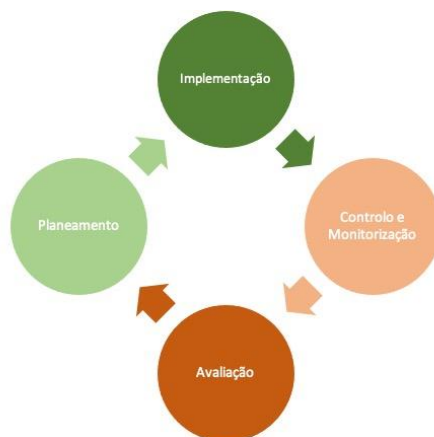


Figura 2 - Ciclo da Metodologia *Action Research*

Numa primeira fase, optou-se por realizar um estudo prático numa fábrica que produz dispositivos eletrónicos para o setor automóvel, que apresenta a contaminação ao nível de partículas metálicas não metálicas como um problema a ser resolvido, sendo esse o tema da dissertação. A metodologia *Lean* e as suas ferramentas aplicadas num processo produtivo foi adotado como a ferramenta de análise do problema apresentado pela empresa.

Para dar apoio às análises e de uma melhor compreensão do problema escolhido para a dissertação, realizou-se um estudo sobre os conceitos acima referidos, de forma a ser possível a realização da revisão bibliográfica. Com isto, recorreu-se artigos científicos, livros e outras dissertações com temas de investigação e metodologias idênticas. Também se procedeu a um estudo e uma análise de forma intensiva de uma linha de produção, onde foram identificados os pontos críticos do produto e dos processos produtivos no que respeita a fontes geradores de contaminação com o intuito de identificar oportunidades de melhoria. A escolha da linha de produção designada MRA, deveu-se ao facto, de ser uma linha nova e de nunca ter sido alvo deste tipo de estudo.

Numa segunda fase, com o objetivo do projeto definido, foram recolhidos todos os dados necessários para posterior análise, tratamento e aplicação das melhorias. Face a isto, foram calculados certos indicadores de desempenho, antes e depois da implementação das ações de melhoria, para posterior comparação.

Numa terceira fase, realizou-se o controlo e monitorização dos efeitos causados pelas implementações realizadas. E por fim, numa quarta e última fase, foi feita análise e validação dos resultados obtidos como também a discussão de propostas para possíveis melhorias.

1.4 Estrutura da dissertação

Nesta secção apresenta-se a estrutura que compõe a presente dissertação, com a descrição do conteúdo, que foi dividido em quatro capítulos.

No primeiro capítulo é feita a introdução que descreve o enquadramento teórico do tema, a definição dos objetivos, a metodologia utilizada para a realização da dissertação e a definição da sua estrutura.

No segundo capítulo é efetuada a revisão bibliográfica com o intuito de servir de apoio ao desenvolvimento do estudo de caso. Neste capítulo serão explorados conceitos referentes a limpeza técnica e as suas normas ISO 16232 e ISO 14644, aos requisitos de clientes VDA 19.1 e VDA 19.2. Também são explorados conceitos como a constituição da antena pertencente ao processo de fabrico em estudo e as suas principais contaminações ao nível de partículas metálicas e não metálicas assim como da metodologia *Lean* e as suas principais ferramentas aplicáveis num sistema de produção.

No terceiro capítulo, com base na revisão bibliográfica efetuada, é feito o estudo de caso. Neste capítulo será definido o projeto a desenvolver, serão analisadas e exploradas oportunidades de melhoria, tendo sempre em consideração os requisitos e

metas delineadas. Este capítulo será reservado para a implementação da metodologia *Lean* e suas ferramentas. Serão medidos e analisados os problemas e posteriormente apresentadas e implementadas as propostas de melhoria de forma a ter-se um termo de comparação entre o início e fim do estudo do caso.

No quarto capítulo é apresentado as conclusões e sugestões finais de acordo com os resultados obtidos. Também é avaliado o cumprimento dos objetivos estipulados e a possibilidade da execução de trabalhos futuros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LIMPEZA TÉCNICA

2.2 DISPOSITIVOS ELÉTRONICOS

2.3 METODOLOGIA *LEAN*

2.4 FERRAMENTAS *LEAN*

2.5 TRABALHOS ANÁLOGOS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este presente capítulo constitui uma base de conhecimentos, recorrendo à revisão da literatura existente. Tem como objetivo expor numa primeira fase a definição de conceitos fundamentais sobre o âmbito em que a dissertação está inserida. Será explorada informação relativa à limpeza técnica, à definição e constituição de uma antena automóvel, às diferentes formas de contaminação e ao método de medição e análise de partículas contaminantes. Numa segunda parte será explorada toda a informação existente relativa à filosofia *Lean*, desde a sua história, até à sua aplicação na produção, abordando as metodologias e ferramentas conhecidas e utilizadas para aplicação deste paradigma num processo produtivo.

2.1 Limpeza Técnica

2.1.1 O que é a Limpeza Técnica?

O termo limpeza técnica foi criado pela indústria automóvel para solucionar as falhas do sistema relacionado com a contaminação de partículas. Em contraste com o termo limpeza visual, o qual se refere à aparência visual, a limpeza técnica refere-se ao desempenho de componentes, dispositivos e sistemas [2].

A contaminação por partículas num componente automóvel geralmente não se limita a uma determinada área, podendo deslocar-se de um local não crítico para um local sensível e, portanto, prejudicar o desempenho do dispositivo. Por exemplo, uma partícula condutora de alumínio resultante de um processo de aparafusamento pode entrar em contacto com um componente eletrónico causando um curto-circuito na placa do circuito, o que irá prejudicar seu correto desempenho.

É por isso que os requisitos de limpeza técnica da indústria automóvel frequentemente aplicam-se a dispositivos completos, em que o componente mais sensível a partículas contaminantes determina o nível de limpeza e os valores limites admissíveis para todo o dispositivo e todos os componentes dentro dele.

No que diz respeito aos dispositivos, a limpeza técnica refere-se à especificação, comprimento e verificação dos valores limite, como a contagem de partículas, tipo e tamanho. Ao mesmo tempo, a indústria automóvel tolera apenas falhas na faixa de ppm (partes por milhão) [3].

2.1.2 Normalização da Limpeza Técnica

1990

A contaminação tem sido um problema crescente para a indústria automóvel desde o início dos anos 90, à medida que os sistemas de produção se tornam cada vez mais complicados face a miniaturização de componentes, a novas tecnologias, produtos mais sensíveis e complexos.

1999

No ano de 1999 surgiu a ISO 14644:1999 uma norma internacional, constituída por sete partes, relativa a constituição de salas limpas e ao controlo dos seus ambientes [54].

2004

Face aos problemas de contaminações de partículas, a indústria automóvel solicitou a introdução de requisitos gerais que regulassem a limpeza técnica dos componentes, resultando a publicação em 2004 da VDA 19 - Inspeção de Limpeza Técnica - Contaminação de Partículas em componentes automóveis com funcionamento crítico, o primeiro livro de requisitos e especificações neste assunto [4].

2007

Em 2007, surgiu uma norma internacional constituída por 10 partes, referente aos vários métodos de extração, determinação da massa, determinação do tamanho, contagem e definição da natureza de partículas contaminantes, designada por ISO 16232:2007 – *Road Vehicles – Cleanliness of componentes of fluid circuits* [55].

2010

No ano de 2010, foi publicada a VDA 19 parte 2 - Limpeza Técnica na montagem, com referência aos aspetos sobre o ambiente, logística, equipamento, pessoas e impactos da limpeza para áreas de montagem [3].

2012

Em 2012, com base nas experiências feitas nos últimos anos nesta área, juntamente com as inúmeras mudanças ocorridas e melhorias feitas na tecnologia, ficou claro que a VDA 19 precisava de ser revista. Assim foi atualizada para a segunda edição designada VDA 19 parte 1 - Inspeção de Limpeza Técnica [4].

2015

Em 2015, a ISO 14644:1999 acabou por ser atualizada sendo designada por ISO 14644:2015 - *Cleanroom and associated controlled environments* constituída por 10 partes [7].

2018

Em 2018 a ISO 16232 foi atualizada, com base na VDA 19.1, para um documento único, ficando com a designação ISO 16232:2018 - *Road Vehicles - Cleanliness of componentes and systems* [6].

Nesse mesmo ano a VDA 19 parte 2 foi alterada devido algumas normas internacionais, como a ISO 16232, pelas quais se rege terem sido atualizadas [6].

2.1.3 Normas e diretrizes da Limpeza Técnica

VDA 19.1 - Inspeção de Limpeza Técnica

Esta diretriz descreve os métodos, condições de aplicação e análise para determinar e documentar a contaminação por partículas em componentes automóveis com funcionamento crucial.

A VDA 19.1 uniformiza as especificações de limpeza técnica e os resultados dos testes de limpeza. Desta forma melhora a qualidade da informação e da comparabilidade dos resultados dos testes na cadeia de qualidade da indústria automóvel [4].

VDA 19.2 - Limpeza Técnica na Montagem

Esta diretriz é composta por vários objetivos tais como, prevenir a contaminação por partículas críticas nas áreas sensíveis, remover as partículas inevitáveis e proteger componentes e sistemas em fase de montagem contra a contaminação de partículas do meio ambiente. Como nem todas as fontes de partículas presentes num ambiente podem ser consideradas críticas para o funcionamento de um produto acabado, a diretriz também tem como objetivo identificar as fontes críticas, de forma, a evitar investimentos em soluções de limpeza ineficientes.

Outro objetivo é que serve para uniformizar todos os procedimentos de planeamento e otimização de áreas de montagem sensíveis, com o intuito de apoiar especificamente o processo de implementação de medidas relevantes na indústria automóvel. As medidas descritas na diretriz estão em conformidade com VDA 19.1 e a ISO 16232:2018 [5].

ZVEI – *Technical Cleanliness in Electrical Engineering*

Esta diretriz visa adaptar e especificar mais detalhadamente os processos de inspeção de limpeza especificamente para a fabricação de componentes e dispositivos eletrónicos, do que a VDA 19.1 e 19.2.

Também tem como objetivo melhorar a comparabilidade dos resultados através de um sistema estatístico de análise de resultados. Além disso, fornece informações sobre as etapas de fabrico e potenciais riscos de contaminação em componentes e dispositivos eletrónicos.

A diretriz inclui uma ferramenta de cálculo com base numa abordagem científica para avaliar o risco de um curto-circuito elétrico causado por partículas condutoras [3].

ISO 16232:2018 - Road Vehicles - Cleanliness of components and systems

Esta norma internacional, baseada na VDA 19.1, especifica os requisitos para a aplicação e documentação de métodos para determinar a contaminação por partículas em componentes e sistemas de veículos rodoviários.

Apresenta objetivos praticamente iguais ao da VDA 19.1, sendo aqui que a única diferença é que o setor automóvel passou de ter uma diretriz ou livro de requisitos de clientes maioritariamente das OEM (*Original Equipment Manufacturer*) alemãs para passar a ter uma norma a nível mundial [6].

ISO 14644:2015 - Cleanroom and associated controlled environments

Esta norma é constituída por 10 partes onde apenas a primeira parte será referenciada ao longo desta dissertação. Esta parte designada ISO 14644-1:2015 especifica a classificação da limpeza do ar em termos de concentração de partículas transportadas pelo ar em salas e zonas limpas [7].

2.2 Dispositivos eletrónicos

O funcionamento dos dispositivos eletrónicos consiste que, em vez de apenas converter a energia elétrica em luz, calor ou movimento como os dispositivos elétricos, este tipo de dispositivo é projetado para manipular a corrente elétrica de forma a adicionar informações significativas à corrente. Este tipo de tecnologia funciona através do controlo do movimento dos eletrões para além das suas típicas propriedades como tensão e corrente. Estes dispositivos são constituídos por componentes eletrónicos que são conectados entre si, devido a serem soldados a uma placa de circuito impresso (PCI), para criar um circuito eletrónico com uma função específica [3].

As antenas são dispositivos eletrónicos, que com a evolução tecnológica, são cada vez mais importantes num automóvel. Independentemente do seu segmento ou marca, todas as viaturas possuem várias antenas com vários tipos de funcionalidades. Num único veículo é possível encontrar-se inúmeras antenas com funções diferentes como por exemplo:

- *GPS*;
- Internet e *Bluetooth*;
- Telecomunicações;
- Controlo remoto do ar condicionado;
- Aplicações telefónicas;
- Funções de segurança (chamadas de emergência);
- *Remote Keyless Entry* (Sistema de Chave Inteligente).

Desta maneira, as antenas surgem assim como dispositivos cada vez mais cruciais para um correto funcionamento do automóvel, tanto a nível de conforto como de segurança.

2.2.1 Placa de Circuito Impresso (PCI/PCB)

As placas de circuito impresso (PCI) ou na terminologia inglesa *Printed Circuit Board* (PCB) são os componentes mais importantes e presentes na maioria dos dispositivos eletrónicos. São denominados o cérebro deste tipo de equipamentos, sendo considerados a base desta indústria [8]. As placas de circuito impresso podem ser classificadas de muitas maneiras diferentes de acordo com seus vários atributos, sendo na sua maioria placas rígidas ou placas flexíveis. Cerca de 90% dos PCB fabricados em todo o mundo são de placas rígidas [9].

O suporte mecânico de um PCB é uma placa isolante, geralmente feita de resina epóxi e fibra de vidro, revestida por uma fina camada de cobre, coberta por uma camada protetora de polímero designada por máscara de solda colorida em maior parte dos casos de cor verde, que isola as linhas condutoras e protege o circuito de contaminantes. As linhas condutoras dos circuitos são feitas de cobre, com o intuito de conectar os componentes eletrónicos soldados no PCB. Após todos os componentes terem sido soldados e instalados forma-se um conjunto de circuito impresso funcional designado de PCBA (*Printed Circuit Board Assembly*) [10].

É de realçar que como todas as antenas, independentemente da sua gama ou função, abordadas ao longo desta dissertação são constituídas por PCBs de placa rígida, e por isso deu-se maior ênfase a esse tipo de tecnologia.

2.2.2 Contaminações nos dispositivos eletrónicos

A produtividade de um dispositivo eletrónico, bem como seu desempenho, devem ser considerados tendo em conta as contaminações por partículas. Os valores limites para a limpeza do dispositivo garantem o seu desempenho e devem ser definidos o mais cedo possível. Os principais problemas de mau funcionamento devido a contaminações são [3]:

- Curto-circuito elétrico;
- Isolamento elétrico de contatos;
- Reduzida aderência de soldadura;
- Potência elétrica elevada ou reduzida;
- Correntes de fuga entre circuitos.

2.2.3 Partículas contaminantes

Uma partícula contaminante é definida como um corpo sólido composto por diferentes tipos de materiais como metal, plástico, minerais, borracha, etc. Com isto, existem vários tipos de partículas como [3]:

Partículas Metálicas

Caracterizadas principalmente por ter uma superfície metálica brilhante. Podem ser detetadas por meio de uma combinação de imagens de luz normal e polarizada, através da reflexão da luz incidente como um espelho. Uma vez que, é um processo dispendioso e demorado fazer a distinção entre partículas eletricamente condutoras e não condutoras, a análise concentra-se apenas na detecção de partículas metálicas ou partículas com algum tipo de brilho metálico. Face a esta dificuldade de caracterização do tipo de condutividade das partículas, todas as partículas metálicas são consideradas condutoras [3].

Partículas não metálicas

Caracterizadas principalmente por ter uma superfície que não apresente qualquer tipo de brilho. Podem ser detetadas por meio de uma combinação de imagens de luz normal e polarizada, através da alteração ou modificação da direção da luz incidente devido à luz poder penetrar no material. Nesta categoria de partículas contaminantes não são consideradas as fibras [3].

2.2.4 Principal defeito causado por partículas contaminantes

Nos dispositivos eletrónicos o defeito mais comum, que origina um incorreto funcionamento ou falha total, é o curto-circuito. Resultante de um contato elétrico criado quando dois condutores de corrente se conectam através de uma partícula contaminante e condutiva como é ilustrado na Figura 3.

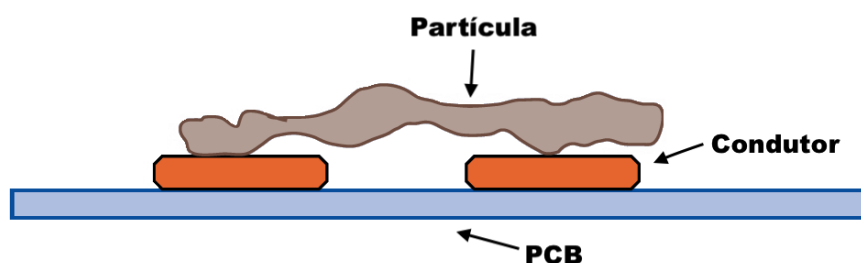


Figura 3 - Partícula contaminante a formar "ponte" entre dois condutores.

(Fonte: adaptado de [3])

O curto-circuito é um termo que define uma ligação de baixa resistência entre dois pontos condutores de um dispositivo eletrônico, que causa a passagem de um excesso de corrente elétrica capaz de provocar danos na placa eletrônica.

As indústrias de componentes e dispositivos eletrônicos, em caso de defeito dos seus produtos provocados por contaminações de partículas, têm um custo elevado para substituição das placas eletrônicas danificadas, além de interrupções e transtornos nos processos produtivos que geram prejuízos imprevisíveis e significativos.

O controlo e redução das contaminações por partículas é um processo essencial dentro da cadeia de produção deste tipo de produtos, de forma a remover ou diminuir o valor de partículas potencialmente prejudiciais para o correto funcionamento das placas de circuito impresso. Não só os processos de produção mas também o ambiente de produção e a embalagem final influenciam o nível de contaminação dos componentes [3]. Se a contaminação por partículas for suficientemente baixa no dispositivo eletrônico e não causar qualquer dano no desempenho a curto ou longo prazo, o dispositivo é considerado adequadamente limpo no contexto da limpeza técnica [11].

2.2.5 Método de medição e análise das partículas contaminantes

A medição das partículas contaminantes é feita através do uso de uma *particle trap* [5]. Este dispositivo permite coletar as partículas metálicas e não metálicas provenientes de um processo produtivo, com o objetivo de investigar as diferentes etapas do processo e caracterizar as fontes de partículas (Figura 4).

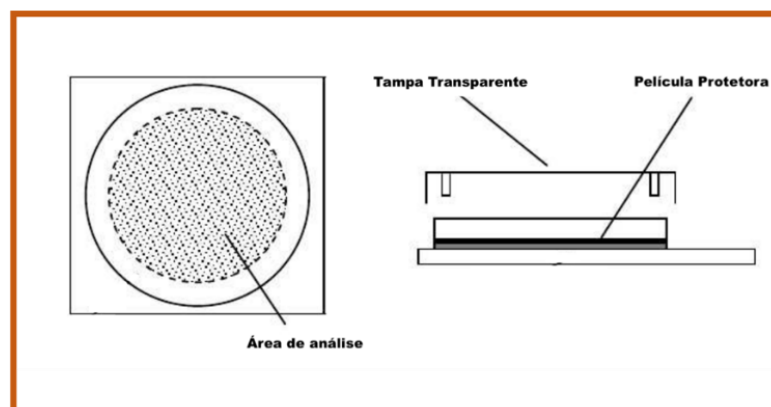


Figura 4 - Diagrama de uma *particle trap*.

(Fonte: adaptado de [5])

Processo de medição

O processo de medição das partículas, de acordo com a VDA 19.2, deve ser feito da seguinte forma [5]:

1) Posicionamento das *particle traps*

- a) A função da *trap* é medir as partículas sedimentadas e deve ser colocada na posição horizontal.
- b) A *particle trap* deve ser fixada se houver risco de deslizar durante o período de análise.
- c) A *trap* deve ser sempre posicionada o mais próximo possível do processo produtivo ou da fonte geradora de partículas.
- d) A *particle* deve ser etiquetada com um sinal de advertência ou similar para evitar contaminações cruzadas ou evitar que a contaminação seja removida por pessoas desinformadas.

2) Ativação da *Particle Trap*

- a) A *particle* deve possuir um campo de registo de forma a possibilitar a classificação posterior do local de medição na análise. Este deve ser preenchido antes de iniciar o teste.
- b) A tampa da *trap* deve ser removida e mantida numa embalagem limpa e fechada até que o teste seja concluído e volte a ser recolocada sobre a *particle trap*.
- c) Utilizar pinças para levantar e puxar para fora a película protetora do campo de sedimentação. A camada adesiva é colocada na horizontal para absorver as partículas e as sedimentá-las. Esta camada é homogênea, sem brilho e sem pré-carregamento de partículas. Certificar-se de que a superfície de medição (camada adesiva) não esteja danificada ou contaminada.

3) Tempo de exposição

- a) Os tempos de medição podem variar dependendo da fonte de partículas em estudo. Um tempo de medição até uma semana tem se mostrado útil na indústria automóvel.
- b) Não tocar na *particle trap* e evitar processos não representativos por cima da mesma.

4) Desativação da *particle trap* e transporte para análise

- a) Fechar a *trap* com a tampa de plástico transparente e limpa. A tampa não pode ser aberta até que a *particle* seja analisada.
- b) As *particle traps* destinam-se a contagem microscópica automatizada. As amostras devem ser transportadas com cuidado até ao local da análise. Embora as partículas estejam presas a superfície de medição por uma camada adesiva, se forem agitadas podem soltar-se novamente.

Processo de análise

As *particle traps* são analisadas microscopicamente e documentadas de acordo com a VDA 19.1 e ISO 16232:2018 [6]. As partículas retidas na *particle trap* são analisadas, contadas, medidas e divididas entre partículas metálicas e não metálicas com recurso a microscópicos automatizados (Figura 5).

Se for feita uma comparação dos resultados de diferentes locais deve ser selecionado o mesmo período de medição [4].

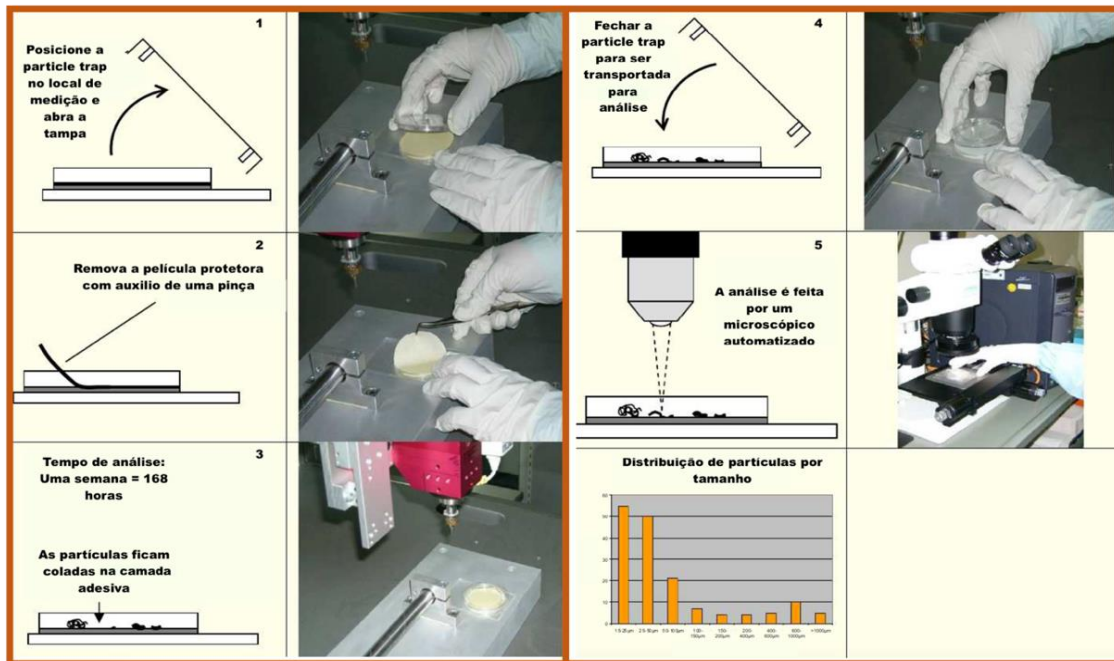


Figura 5 - Processo de medição e análise das partículas contaminantes

(Fonte: adaptado de [6])

2.2.6 Método de medição e análise das partículas do ar

Âmbito

Não só os processos produtivos, mas também o ambiente de produção influencia a quantidade de partículas metálicas e não metálicas presentes nas diferentes etapas do processo produtivo e nas antenas.

As análises da quantidade de partículas do ar, tem como objetivo a monitorização da qualidade do ar para conferir que vai de acordo com os requisitos da norma ISO 14644:2015 parte 1. De acordo com a norma ISO e a VDA 19.2, os locais em análise deverão ser classificados com a classe ISO 9.

De acordo com esta classificação, os valores limite para a concentração de partículas no ar encontram-se definidos em função dos seus diâmetros na Figura 6.

Classe	Concentração máxima permitida (partículas/m ³) para partículas iguais ou maiores do que os tamanhos considerados		
	0,5 µm	1 µm	5 µm
14644:2015	0,5 µm	1 µm	5 µm
Classe ISO 5	3.520	832	29
Classe ISO 6	35.200	8.320	293
Classe ISO 7	352.00	83.200	2.930
Classe ISO 8	3.520.000	832.000	29.300
Classe ISO 9	35.200.000	8.320.000	293.000

Figura 6 - Valores limite para a concentração de partículas no ar por classe ISO

Pontos de medição

De acordo com a ISO 14644, o número de pontos de medição de cada área depende diretamente da área total de cada espaço, podendo ser calculado através Equação 1.

$$Nl = \sqrt{A}$$

Equação 1 - Número de pontos de medição

Em que:

- Nl: Número de pontos de medição;
- A: Área.

Metodologia

A monitorização é feita com recurso ao equipamento *Fluke 980*, que se coloca em cima de um carrinho, em cada ponto de medição. Na Figura 7 encontra-se o exemplo de um ponto de medição.



Figura 7 - Processo de medição

A norma refere que em cada localização devem ser amostrados pelo menos 2 litros com um tempo mínimo de 1 minuto de duração em cada amostragem. Como o equipamento tem capacidade de 2,83 l/min, basta fazer 1 minuto para cada ponto. O resultado final de cada área é a média das monitorizações feitas para cada diâmetro de partículas (0,5, 1 e 5 μm).

2.3 *Lean Manufacturing*

“Why not make the work easier [...] so that people do not have to sweat? [...] People don't go to Toyota to Work they go to Think”.

Taiichi Ohno

2.3.1 A sua origem e evolução histórica

O sistema de produção artesanal que, até aos dias de hoje, subsiste em pequenos nichos de mercado, foi até ao início do século XX o modelo de produção mais utilizado na indústria.

Este sistema caracteriza-se pela sua flexibilidade e exclusividade, pois trata de gerar um produto único, porém o custo de produção é bastante elevado, os volumes são extremamente reduzidos e a qualidade dos produtos é instável [12].

No ano de 1913, Henry Ford, o fundador da *Ford Motor Company* apresentou técnicas de produção em massa para o fabrico de automóveis, modificando os paradigmas do fabrico artesanal para o fabrico em série. Estas inovadoras técnicas possibilitaram que os operadores reduzissem o número de ações por cada montagem, os custos de produção baixassem e que o volume de vendas disparasse [13].

O resultado destas técnicas permitiu o que o volume de vendas da *Ford* atingisse os 2 milhões de unidades por ano [14]. Com isto, o modelo de produção industrial adotado pela grande maioria das empresas passou a ser o de produção em massa.

No entanto no início do ano de 1920, o fundador da *Ford*, deparou-se com uma quebra de vendas e com alguns problemas no seu sistema de produção, como os custos de produção que aumentaram devido ao aumento do *stock*, inúmeros erros na linha de montagem e a incapacidade de produção de acordo com as preferências e necessidades dos consumidores [12].

Após a derrota na II Guerra Mundial, o Japão deparou-se com uma elevada escassez de recursos financeiros, humanos e de materiais. As indústrias norte-americanas e europeias dominavam os mercados mundiais por terem elevadas capacidades e recursos. Face a esta situação o fundador e presidente da *Toyota Motor Company* (TMC), Eiji Toyoda e o seu diretor de produção Taiichi Ohno, decidiram passar três meses na fábrica da *Ford* nos Estados Unidos, com o intuito de estudar e compreender, quais os métodos e técnicas de produção usados naquele País, uma vez que a produtividade dos funcionários americanos era dez vezes superior à dos funcionários japoneses [15].

Após o estudo do sistema de produção, Toyoda e Taiichi conseguiram identificar os problemas de produção em massa e compreenderam que este tipo de sistema em larga escala utilizada pela *Ford*, não poderia ser adaptada à industrial japonesa, pois centrava-se na redução do custo final de cada unidade produzida. Verificaram ainda que as indústrias ocidentais, apresentavam processos de produção e de gestão complexos e muito pouco flexíveis, o que levava a uma fraca diversidade de produtos [12].

Desta forma, tanto o fundador como o diretor da TMC concluíram que nem o sistema de produção em massa nem o sistema de produção artesanal eram indicados, e que a solução passaria por adotar os dois tipos de sistemas, como representa a Figura 8, formando assim um novo sistema que aumentasse a eficiência da produção através do reconhecimento e eliminação das perdas.

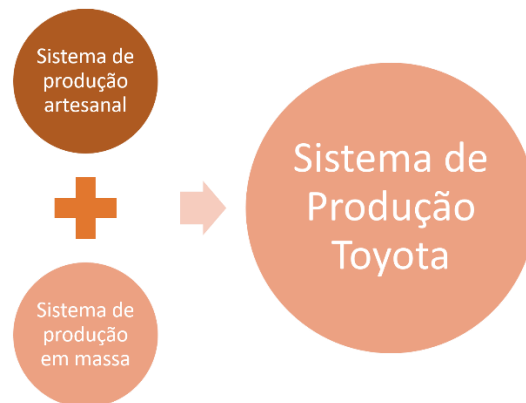


Figura 8 - Constituição do Sistema de Produção da Toyota

A única forma de se destacar dos seus concorrentes do ocidente seria oferecer algo que estes não podiam, ou seja, oferecer variedade de produto mantendo uma elevada qualidade a um custo reduzido [15].

Surge assim, no Japão em 1950, na indústria automóvel o termo *Lean Production* com a implementação do sistema de produção *Toyota* ou na terminologia inglesa *Toyota Production System* (TPS) [16].

O termo TPS passou a ser utilizado para descrever um inovador sistema de produção que reúne as vantagens do sistema de produção artesanal com o de produção em massa [17].

O TPS é uma evolução dos sistemas de produção, mais especificamente do sistema de produção em massa que apresenta como principais objetivos a eliminação do desperdício e a satisfação do cliente [18].

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os três sistemas de produção abordados anteriormente.

Tabela 2 - Comparação entre os sistemas de produção artesanal, em massa e *Lean*

(Fonte: adaptado de [19])

	Produção Artesanal	Produção em massa	<i>Produção Lean</i>
Origem	-	Henry Ford	Eiji Toyoda e Taiichi Ohno
Profissionais	Altamente qualificados	Pouco ou nada qualificados	Polivalentes com tarefas de grande valor em todos os níveis da organização
Equipamento	Simple e flexíveis	Dispendiosos e com uma única função	Sistemas manuais e automatizados com capacidade para produzir uma vasta variedade de produtos
Produção	Baixa produção com elevado custo	Produção excessiva de elevado custo para stocks	Produção somente através das encomendas do cliente
Produtos	Produtos únicos	Pouca variedade	Elevada variedade
Produtividade	Pouca	Elevada	Elevada
Stocks	Reduzido	Excessivo	Reduzido
Organização	-	Hierárquica	Delegação das responsabilidades na organização
Filosofia	Qualidade elevada	Qualidade razoável	Zero defeitos – chegar a perfeição

2.3.2 Sistema de Produção da Toyota

Os extraordinários resultados deste novo sistema de produção foram alvo de investigação por parte do *International Motor Vehicle Program* (IMVP) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) que tinha como objetivo analisar os níveis de qualidade e produtividade relativos aos processos de montagem de automóveis em várias empresas, no caso particular, em empresas japonesas.

Os resultados desta investigação indicaram que os fabricantes de automóveis japoneses, mais propriamente a *Toyota*, lideravam a indústria em termos de produtividade, qualidade e minimização de *stocks* [17]. O TPS recebeu maior atenção quando John Krafcik do MIT, publicou os resultados do sistema e o apelidou de *Lean Production*. Por consequência, o TPS recebeu mais atenção e tornou-se mais popular no seio indústria. Este sistema de produção tem como objetivo [20]:

- Melhorar a qualidade através da redução de falhas e de retrabalho nos processos de produção;
- Redução dos custos de investimento, de não qualidade, de serviços, de manutenção de equipamentos, de matéria-prima e de horas extras;
- Redução dos tempos de entrega e de processos de produção;
- Redução da quantidade de matérias-primas, produtos em vias de fabrico e produtos acabados;
- Aumento da disponibilidade de equipamentos.

Para melhor compreensão do funcionamento do TPS é necessário analisar as características da sua estrutura. Esta estrutura assenta na denominada “casa TPS” desenvolvida por Fuijo Cho em 1970. A casa TPS foi desenvolvida desde á base até ao topo sendo os alicerces e os pilares cruciais para a sustentação dessa filosofia numa organização. A base desta casa é constituída pela produção nivela, por processos estáveis e padronizados e também pela gestão visual. No centro da casa encontra-se a melhoria contínua e os dois pilares, designados como *Just-in-Time* (JIT) e *Jidoka*, que possibilitam chegar ao topo e atingir os objetivos como a redução dos prazos e custos, maior qualidade, motivação e segurança [15]. A Figura 9 apresenta os elementos fundamentais da casa TPS.

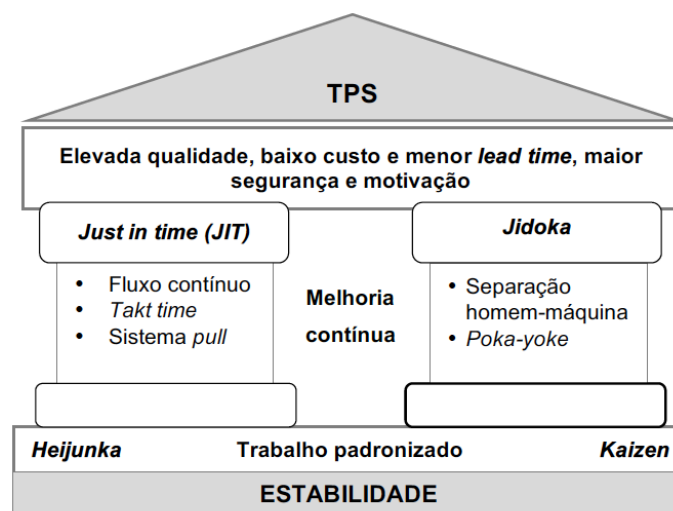


Figura 9 - Casa do Toyota Production System

(Fonte: adaptado de [15])

Imediatamente são descritos os pilares fundamentais da casa:

Just-in-Time (JIT): significa produzir apenas o necessário, nem mais cedo nem mais tarde, nem mais nem menos [21]. Exige que a produção seja comandada a pedido do cliente, de acordo com o sistema *pull* e que haja um fluxo contínuo de materiais e de informação a trabalhar num tempo de ciclo o mais aproximado. Este sistema apresenta alguns objetivos como [22]:

- Zero defeitos;
- Zero *stocks*;
- Zero movimentações;
- Tempo de *setup* nulo;
- Lotes unitários.

Jidoka: termo japonês que significa automação, trata-se de um mecanismo que consiste na automação das máquinas, de forma a permitir um maior controlo e rendimento dos processos [21]. Permite também que o operador seja autónomo para parar a produção quando é detetada algum tipo de anomalia, permitindo um maior controlo da qualidade, visto que o problema pode ser resolvido no momento que em é detetado. Com isto, consegue-se aumentar os índices de qualidade e da credibilidade do trabalho pois evita-se o retrabalho no final do processo.

Pode-se definir o *jidoka* através dos seguintes atributos [23]:

- Diferenciação entre o trabalho da máquina e do operador;
- As máquinas e os operadores trabalham independentemente;
- O *setup*, carga e descarga do equipamento devem ser à prova de qualquer falha.

Desta forma, a finalidade deste conceito é atingir a meta dos zero defeitos, ou seja, nunca deixar passar qualquer tipo de produtos defeituosos, eliminando o risco de o cliente vir a receber algum artigo com algum tipo de anomalia não detetada previamente. De uma forma resumida, o *Jidoka* está relacionado com a capacidade das máquinas detetarem algum tipo de problema e serem capazes de parar o processo, evitando assim qualquer propagação de defeitos ao longo do processo produtivo e a ocorrência de anomalias no processamento [24].

Trabalho padronizado (Standard Work): Tem como objetivo a eliminação dos erros nas atividades e incentiva a participação dos colaboradores no processo de melhoria contínua [25]. Os procedimentos do trabalho padronizado estipulam uma sequência de trabalho a ser repetida, com o intuito de alcançarem níveis de segurança, qualidade e produtividade elevados. Também garante que todos aqueles que realizem uma operação irão fazê-lo de forma correta com as ferramentas e materiais adequados [26]. Com isto o *Standard Work* fornece um método padronizado para a realização de um trabalho da forma mais eficiente e também serve de base para eventos e atividades *Kaizen*. Assim, o trabalho padronizado pode ser considerado um método

mais eficiente de realizar um trabalho visto que tem como objetivo maximizar o nível de qualidade empresarial [26].

Kaizen: É um termo de origem japonesa que significa melhoria contínua (*Kai* – significa mudança e *Zen* significa fazer melhor) [27]. O *Kaizen* consiste na análise dos elementos do processo como intuito de se compreender o seu funcionamento, de forma a ser possível, descobrir oportunidades de melhoria. Este género de mentalidade constitui a base de toda a filosofia *Lean*, sendo que através dela atuam todas as ferramentas e metodologias *Lean*.

Para Masaaki Imai, o criador do termo *Kaizen*, quando é colocada em prática esta mentalidade no local de trabalho, implementa-se uma metodologia suportada na identificação de oportunidades de melhoria, de forma contínua, na sua análise e implementação em toda a organização. Esta metodologia envolve todos os processos e é transversal a todos os colaboradores da organização [18].

Deve-se elaborar um evento *Kaizen* sempre que é identificada uma área com algum tipo de problema. Todos os elementos da organização desde administração aos colaboradores devem estar envolvidos no *Kaizen*, adicionando um elemento externo de forma a este oferecer uma visão mais crítica sobre o processo. Cada evento deste tipo deve conduzir a soluções para o problema identificado, de forma a definir-se um programa de implementação de melhoria [28]. Identifica-se dois tipos de *Kaizen* [27]:

- *Kaizen* de fluxo: Estuda a cadeia de valor agregada ao fornecimento de um produto ou serviço;
- *Kaizen* de processo: Tem como objetivo diminuir os desperdícios associados a cada atividade.

De uma forma resumida, o *Kaizen* consiste numa mentalidade de suporte de todo o paradigma *Lean*, sendo um esforço de melhoria contínua, efetuado por todos à procura da eliminação de desperdícios. O seu método de aplicação baseia-se na realização de eventos *Kaizen*, os quais procuram pela identificação de oportunidades de melhoria e implementação dessas possíveis melhorias, através de métodos ou ferramentas de produção *Lean*.

Heijunka: Consiste em nivelar a produção em variedade e volume com o objetivo de manter o sistema estável sem grandes oscilações, garantindo o nível de *stock* mínimo [29].

Estabilidade: Base central da casa do TPS, o que demonstra a importância da existência de processos estáveis para atingir os objetivos [15].

2.3.3 Formas de desperdício do Sistema de Produção da Toyota

O TPS considera diferentes formas de desperdício. Para melhor entendimento da definição de desperdício é possível identificarem três grupos de atividades [30]:

1. **Atividades de valor acrescentado (VA):** São todas as atividades que acrescentam mais valor ao produto ou serviço, na perspetiva do cliente final.
2. **Atividades de valor não acrescentado (VNA):** São atividades que não acrescentam qualquer tipo de valor ao produto ou serviço, na perspetiva do cliente final. São consideradas desperdícios e são as atividades prioritárias a serem eliminadas.
3. **Atividades necessárias de valor não acrescentado:** São atividades definidas da mesma forma do que as anteriores com a diferença de serem necessárias, e que não podem ser completamente eliminadas do processo, ou seja, devem ser reduzidas através de alterações de melhoria do processo.

2.3.4 Pensamento *Lean*

O TPS foi evoluindo ao longo de vários anos sendo implementado por várias empresas que queriam ter melhorias nos seus resultados, tendo com isso, amadurecido e dado lugar a um conceito amplo denominado *Lean Thinking*. Este conceito foi apresentado inicialmente pelos investigadores James Womack e Daniel Jones, com o objetivo de demonstrar que o *Lean* não era apenas uma técnica ou filosofia aplicável à indústria automóvel mas também era extensível a qualquer área de negócio [31].

O investigador Krafcik em 1998 definiu que o *Lean Thinking* era uma abordagem inovadora às práticas de liderança e gestão empresarial, e que necessita de menos recursos. Esta abordagem maximizava a produtividade, a eficiência e a flexibilidade, sendo mais ágil e capaz de fazer frente as mudanças do mercado [32].

Por sua vez, o pensamento *Lean* sustenta-se em cinco princípios fundamentais que são [31]:

1. Identificar as atividades que geram valor para o cliente;
2. Identificar a cadeia de valor;
3. Otimizar o fluxo de forma a reduzir os tempos de processamentos;
4. Produzir através de um sistema *pull*;
5. Alcançar a perfeição.

Estes princípios foram projetados com uma sequência específica, para servir como um plano de ação, para a implementação da filosofia *Lean* nas organizações, como se pode observar na Figura 10.

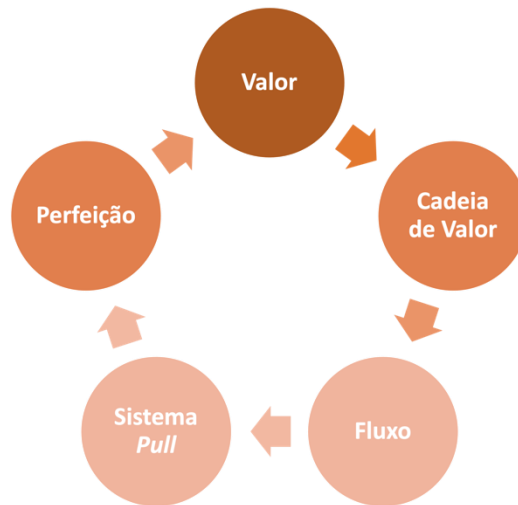


Figura 10 - Princípios do Pensamento *Lean*

2.3.5 Desperdícios *Lean*

Num processo de definição do *Lean* é crucial compreender-se o conceito da eliminação completa do desperdício. É considerado desperdício qualquer atividade que seja parte integrante de um processo e que não acrescente valor (Figura 11). De outra forma, todo o “muda”, termo de origem japonesa usado para designar desperdício, deve ser eliminado [19].



Figura 11 - Desperdícios *Lean*

(Fonte: Continental, 2020)

Deste modo, foram determinados sete tipos de desperdícios:

1. **Excesso de Produção:** Quando se produz uma quantidade excessiva de produtos em relação à procura dos mesmos ou então quando não se segue o princípio do JIT, resultando em custos elevados e na necessidade de criar *stocks* [33].
2. **Processamentos excessivos ou incorretos:** Processos desnecessários, incorretos ou não otimizados que não acrescentam qualquer tipo de valor ao produto.
3. **Tempos de espera:** Todo o tempo em que não esteja a ser adicionado valor a um produto. Período de tempo em que o material, equipamento e pessoas não estão disponíveis quando são necessários [34].
4. **Excesso de Stocks:** Esta relacionado com o excesso de matérias-primas, materiais em processamento e produtos acabados retidos, por um determinado período de tempo, o que significa num desperdício de investimento, aumento dos custos de transporte e de armazenamento [34].
5. **Movimentos desnecessários:** Qualquer tipo de movimentação de pessoas, equipamentos e materiais que não acrescentem valor ao produto final.
6. **Transporte desnecessário:** Movimentos desnecessários de pessoas, materiais e informação, provocando o gasto desnecessário de capital, energia e tempo.
7. **Defeitos:** A produção de artigos com algum tipo de defeito provoca desperdícios de tempo, materiais, disponibilidade de equipamentos, mão-de-obra e de recursos usados na conceção desses produtos. Com isto será necessário recorrer a reparação, retrabalho e inspeção dos produtos com defeito, o que provoca um maior consumo de tempo e recursos [33].

Os sete tipos de desperdício podem inserir-se em três grupos distintos: Homem, Máquina e Material como se pode verificar na Figura 12.



Figura 12 - As três categorias de desperdícios

(Fonte: adaptado de [35])

2.4 Ferramentas *Lean*

2.4.1 5S

A palavra 5S provém do acrónimo formado pelos termos de origem japonesa, *Seiri* (Organização), *Seiton* (Arrumação), *Seiso* (Limpeza), *Seiketsu* (Uniformização) e *Shitsuke* (Disciplina) (Figura 13). Todas as atividades inerentes a esta metodologia têm como objetivo eliminar os desperdícios que contribuem para erros, defeitos e redução de custos, através da implementação de um método de gestão visual.



Figura 13 - Diagrama 5S

A utilização dos 5S permite que os intervenientes façam uma distinção entre situações normais e situações invulgares, conduzindo a uma melhoria significativa dos processos e produtos. A ordem das atividades do 5S não é algo importante visto que todas elas estão interligadas e devem ser implementadas simultaneamente e de forma cíclica [36]. As cinco atividades estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Princípios dos 5S

(Fonte: adaptado de [36])

5S	Princípios
Seiri (Organização)	Remover do local de trabalho todos os objetos desnecessários para a realização das tarefas.
Seiton (Arrumação)	Identificar e organizar os objetos existentes no local de trabalho, de maneira a facilitar o seu uso.
Seiso (Limpeza)	Manter o local de trabalho limpo, livre de qualquer sujidade ou de qualquer material considerado de desperdício.
Seiketsu (Uniformização)	Criação de um método consistente de como realizar as tarefas diárias, incluindo a implementação das três atividades acima referidas.
Shitsuke (Disciplina)	Garantir uma disciplina de melhoria contínua dentro da organização, de forma que, as implementações de todas as atividades alcancem o sucesso a longo prazo.

2.4.2 Cinco Porquês

A ferramenta 5 *Why's* ou 5 Porquês é usada com o objetivo de impulsionar os intervenientes a pensarem nas causas de um problema, ajudando a prevenir a implementação de soluções superficiais, que a longo prazo possam fracassar [37]. Esta ferramenta organiza-se da seguinte forma:

- Selecionar uma das causas e garantir que todos os envolvidos no projeto entendam o propósito da mesma;
- Fazer a pergunta “como é que o resultado apresentado aconteceu?”
- Selecionar na questão anterior uma das razões encontradas e perguntar “porque é que o resultado apresentado aconteceu?”
- Prosseguir a colocar questões até que a causa raiz do problema seja identificada.

2.4.3 Gestão Visual

A gestão visual é um método visto como um mapa que representa as condições reais de uma empresa, destinado a todos aqueles que saibam interpretar os sinais físico e visuais gerados por este método. Esta ferramenta de gestão pretende que qualquer pessoa consiga compreender o estado atual da empresa. [31]. A gestão visual é um meio de comunicação que pode ser observado e interpretado pelos operadores numa área de trabalho e também por todas as pessoas que por essa área passem. Esta ferramenta torna visível a informação de todos os processos e é extensível a todas as atividades que se realizem numa empresa, sejam elas informações de processos produtivos, manutenção dos equipamentos, instruções de trabalho, etc. A disponibilização destas informações deve ter em conta dois aspetos [38]:

- Território visual: Local onde se deve dispor as informações;
- Documentação visual: Forma de como se dispõem as mesmas informações.

Existem várias maneiras de disponibilizar as informações como, quadros sinalizadores, folhas de trabalho padronizado, marcação física de áreas etc. A gestão visual tem como grande vantagem auxiliar a gestão e o controlo dos processos de produção de modo a evitar desperdícios e erros [43].

2.4.4 Kanban

Criado por Taiichi Ohno, nas linhas de produção da *Toyota* nos anos 50, o *Kanban* surgiu como uma solução para combater a tendência das empresas em produzir mais do que necessário. Este sistema é um meio de controlo de gestão e dos seus fluxos de informação, que recorre a cartões ou sistemas visuais de forma a nivelar a procura do cliente e a produção. Tem como objetivo produzir o que o cliente pretende, quando pretende e nas quantidades que pretende, definindo-se como um dos pilares do sistema de produção *Toyota* [33].

Caracteriza-se por ser simples, barato e eficaz, sendo uma ferramenta muito utilizada para controlo de inventários, produção e abastecimento de linhas. Esta ferramenta tem como objetivo que o *kanban* substitua o planeamento tradicional, sendo possível ao operador controlar e programar a produção diária com recurso a sinas e regras pré-estabelecidas [39].

⇒ **Funcionamento do sistema *Kanban***

O *Kanban* funciona como um sistema que integra toda a cadeia de valor permitindo a ligação de todos os processos e a conexão de todo o fluxo de material com a procura do cliente. Este sistema pode ser dividido em dois tipos:

- ***Kanban de produção*** – É o cartão que acompanha a palete de peças durante o processo produtivo até as linhas de montagem. Terá de conter informações de rotina que permitam fazer o acompanhamento do fluxo do processo, ou seja, a identificação do material, capacidade da palete de peças, número de cartões em circulação, destino das peças, lote de produção, etc.
- ***Kanban de transporte*** – Cartão que incluirá também a origem e destino das peças e é usado entre o setor de montagem e o supermercado das peças. Neste caso, os cartões são trocados por paletes de peças do supermercado dando início a montagem.

⇒ **Diferentes formas de *Kanban***

Este sistema permite um controlo visual ao longo de todo o processo de fabrico, possibilitando identificar falhas ou desperdícios que poderão ser corrigidos no imediato. Assim, o sistema *Kanban* pode assumir diferentes formas como:

Cartão

É a forma mais tradicional e usada de apresentação de um *Kanban*, pois também é, a forma mais barata e simples de controlar o sistema produtivo. O cartão pode ter os dois tipos de *Kanbans* existentes, sendo que deve ser o mais simples possível e também conter informação necessária como [40]:

- Descrição da peça;
- Capacidade da palete;
- Referência da peça;
- Processo anterior;
- Processo seguinte.

Quadro *Kanban*

Sistema semelhante ao dos cartões sendo que são utilizados imanes, fichas de plástico, etc., como sinal. O quadro contém, todos os processos pelos quais o produto irá passar, sendo que quando este é movido, o sinalizador é movido no quadro também.

Quando o produto é consumido, o sinal que o representa é movido para a fila de espera do quadro *Kanban* [40].

⇒ Dimensionamento do Sistema *Kanban*

Para a implementação de um sistema *Kanban* é necessário definir dois pontos fundamentais:

Capacidade de cada palete

A capacidade de cada paleta para a implementação do *Kanban* é um dos pontos fulcrais, e para isso, é necessário definir o tipo de paleta e as quantidades de peças indicadas para essa mesma paleta. A escolha tem de ser feita considerando as características do produto, peso, volume e procura de peças garantindo a fluidez da produção.

Número de paletes/ Cartões *Kanban*

A implementação de um sistema deste tipo deve ter como início a determinação do número de *Kanbans*. Um dos métodos tradicionais é começar por um número elevado de *Kanbans* e através da análise continua ao sistema, fazer-se melhorias até se encontrar o número ideal.

No caso de um processo produtivo, padronizado e repetitivo existe uma fórmula que permite calcular a quantidade de *Kanbans* (Figura 14).

$$K = \frac{D * LT * (1 + FS)}{C}$$

Figura 14 - Fórmula para calcular a quantidade de *Kanbans*

K – Número de *Kanbans*

D – Procura de Paletes por dia

LT – *Lead Time*

FS – Fator de Segurança

C – Capacidade da Paleta

⇒ Implementação do Sistema *Kanban*

1ª Etapa: Projetar o *Kanban*

Após o dimensionamento do sistema *Kanban* é preciso definir qual o mecanismo de sinalização que será usado no processo produtivo. O mecanismo escolhido deverá conter toda a informação necessária, de forma, a que seja o mais simples possível para todos os envolvidos no processo, conseguindo qualquer pessoa controlar a sequência e quantidade de material a produzir ou transportar [39].

2ª Etapa: Formação aos Operadores

Posteriormente a definição da forma do *Kanban* é essencial dar formação a todos os intervenientes envolvidos no sistema de produção para se garantir um correto funcionamento do mesmo. Na formação existem três passos fundamentais [39]:

- Explicação do que é e para que serve o *Kanban*;
- Especificação do funcionamento do *Kanban*;
- Comunicação das regras do sistema.

A formação deve ser feita de forma intuitiva e simples com o objetivo de que todos os intervenientes compreendam o sistema para que sejam mais cooperantes na sua implementação.

3ª Etapa: Monitorização e melhoria do sistema

Depois das duas etapas estarem concluídas, o sistema pode ser iniciado. Sendo necessário implementar a última etapa que consiste na monitorização e avaliação do sistema, com o intuito de evitar e/ou corrigir falhas e manter o correto funcionamento. A monitorização é feita de acordo com os seguintes tópicos:

- O sinalizador desapareceu?
- O inventario está correto?
- O interveniente tem alguma dúvida sobre o processo?
- O dimensionamento continua ajustado?

Se alguns destes tópicos forem postos em causa, o sistema deverá ser analisado e corrigido o mais rápido possível. Este processo de ações de melhorias deve ser realizado até se conseguir uma solução final, em que seja impossível reduzir mais o número de *Kanbans* [39].

2.4.5 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto é utilizado na identificação de fontes de problemas num processo. É baseado pelo princípio que 80% dos problemas existentes num processo são provocados por 20% das causas possíveis de os provocar [41]. É um gráfico de frequências que demonstra a contribuição de cada causa para os problemas em análise, o que possibilita visualizar as fontes de determinado problema. A representação

gráfica é feita através de barras dispostas por ordem decrescente sendo que cada uma das barras representa uma potencial causa.

2.4.6 Brainstorming

O *brainstorming* é uma ferramenta importante para a produção, num curto período de tempo, de um elevado número de ideias acerca de um tópico. Na grande maioria dos casos é realizado em grupo o que permite estimular o pensamento criativo e certifica que as ideias de todos os intervenientes de um projeto são consideradas [42]. Para uma sessão de *brainstorming* é aconselhado cumprir as seguintes regras:

1. Escolha de um líder para coordenar as atividades do grupo;
2. Todos os intervenientes do grupo devem dar a sua opinião sobre possíveis causas do problema;
3. Nenhuma das ideias apresentadas deve ser criticada;
4. Todas as ideias devem ser registadas;
5. Evitar a tendência de culpar as pessoas.

Outra opção é realizar um *brainstorming* negativo que consiste na elaboração de uma lista de todos os acontecimentos que devem ocorrer para o projeto ser considerado um desastre. Através deste método os participantes do grupo conseguem identificar todos os possíveis erros a serem evitados.

2.4.7 Diagrama Causa-e-Efeito ou Diagrama de *Ishikawa*

O diagrama de Causa-e-Efeito ou diagrama de *Ishikawa* é uma ferramenta que tem uma representação gráfica idêntica a espinha de um peixe, onde são listadas as causas e as sub-causas de um determinado problema. O uso desta ferramenta possibilita obter uma visão simples e eficaz de inúmeras causas de um determinado efeito, sendo estruturada em três categorias: causas principais (espinhas), sub-causas (ramificações das espinhas) e o efeito.

Com isto tem-se seis categorias de causas: Materiais, medições, métodos, mão-de-obra, meio ambiente e máquinas. Deverá ser identificado o número máximo de potenciais causas para o problema dentro de cada uma das categorias, podendo ramificar cada categoria até um máximo de quatro níveis.

2.4.8 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta que de uma forma ordenada permite ilustrar, através do uso de uma simbologia normalizada, as etapas de um processo, as suas entradas e saídas que contribuem para a obtenção de um resultado que seja tangível ou intangível [43].

2.4.9 Histograma

O histograma é usado para resumir dados discretos ou contínuos. Fornece uma interpretação visual desses dados, mostrando o número de pontos que se enquadram numa faixa específica de valores.

2.4.10. Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é uma ferramenta estatística que permite identificar, por meio de análises gráficas, a possível relação existente entre duas variáveis quantitativas distintas.

Por meio de coordenadas cartesianas, com o conjunto de dados dispersos, pode-se verificar o grau de influência que uma variável dependente “X” influencia a independente “Y”, ambas relacionadas a uma ou mais causas e efeitos em comum. Esta ferramenta é uma boa alternativa na criação da regressão linear e na identificação de pontos dispersos. Estes pontos são explicados por erros de medida ou mudança nas condições de operação, sendo necessário o isolamento e tratamento dos mesmos para eliminação de suas causas [44].

2.4.11 *Process Stapling*

O *Process Stapling* é uma técnica que tem o intuito de se conseguir visualizar uma série de atividades que compõem um processo, por meio de uma fotografia ou vídeo, consegue-se seguir o processo de montante a jusante, registrando cada passo, possibilitando localizar as atividades de valor não acrescentado. Esta técnica possibilita os intervenientes entenderem os passos envolvidos no processo, conseguirem identificar o fluxo de valor e as possíveis oportunidades de melhoria [45].

2.4.12 5W2H

Esta ferramenta caracteriza-se por permitir planejar a implementação de melhorias e ser bastante útil em qualquer processo de decisão. Consiste na obtenção de resposta a seis perguntas:

- *Who* (Quem);
- *Where* (Onde);
- *What* (O quê);
- *Why* (Porquê);
- *How* (Como);
- *How Much* (Quanto).

Em suma, o problema é identificado e é planeado a sua solução.

2.4.13. Questionários

Um questionário é um instrumento de investigação que visa recolher informações com base na inquirição de um grupo representativo da população em estudo. Para isso, coloca-se uma serie de questões que abrangem um tema de interesse para os investigadores. Um questionário é extremamente útil para quando um investigador pretende recolher informação sobre um determinado tema. Desta forma, através da aplicação de um questionário a um público-alvo é possível recolher informações que permitam identificar lacunas e oportunidades de melhoria. A importância dos questionários passa também pela facilidade com que se interroga um elevado número de pessoas num espaço de tempo relativamente curto.

2.4.14 Total Productive Maintenance

O TPM (*Total Productive Maintenance*) é uma metodologia de melhoria que conduz á otimização dos equipamentos e eliminação de falhas através da manutenção preventiva e preditiva. Transfere a responsabilidade para executar algumas tarefas diárias de manutenção para os operadores, o que leva a um aumento da produtividade conseguida à custa de uma maior disponibilidade dos equipamentos e de uma melhoria da qualidade dos produtos. Tem como objetivo eliminar as fontes de desperdício como por exemplo [46]:

- Tempos de preparação e ajustes;
- Pequenas paragens;
- Redução da velocidade;
- Produtos defeituosos.

Esta metodologia é alicerçada em 8 pilares que dão origem a casa TPM (Figura 15):

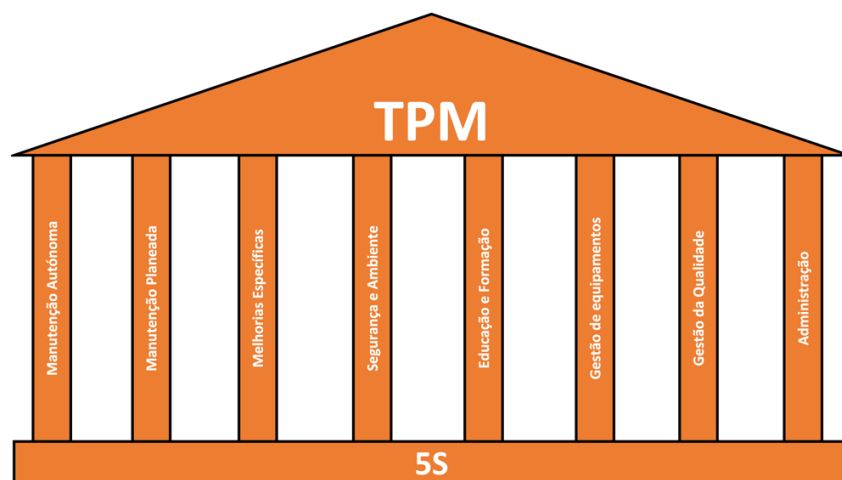


Figura 15 - Casa TPM

- **Manutenção Autônoma:** Manutenção realizada pelos operadores das máquinas com objetivo de manter os equipamentos em funcionamento de uma forma eficiente e estável [47];
- **Manutenção Planeada:** O objetivo desta manutenção é eliminar falhas tornando os equipamentos mais fiáveis. Porém mesmo que se realizem práticas de manutenção sistemáticas podem ocorrer avarias, já que os intervalos planeados para as manutenções podem não estar ajustados com as falhas do equipamento. Sendo necessário calcular o tempo médio entre as falhas de forma a ajustar o planeamento para prevenir aquele tipo de falhas [47];
- **Melhorias Específicas:** Corresponde às atividades de melhoria realizadas nos equipamentos por operadores de diversas áreas. Esta melhoria tem como objetivo reduzir as perdas visando os zero defeitos, zero falhas e zero desperdícios. É neste pilar que se procura a eliminação dos desperdícios associados aos equipamentos [47];
- **Segurança e Ambiente:** Este pilar tem como objetivo a criação de um local de trabalho com as condições de segurança necessárias para se alcançar a meta dos zeros acidentes e zero danos na saúde. Estes objetivos são alcançados com a implementação dos 5S que permite obter um posto de trabalho mais limpo e organizado, levando assim a eliminação de riscos que colocam em causa a segurança do operador. Através da melhoria dos equipamentos é possível implementar proteções e mecanismos que aumentem a segurança do operador. Ao nível da proteção ambiental pretende-se reduzir o impacto das manutenções através da reciclagem, eliminação de resíduos e diminuição do consumo de energia [47];
- **Educação e Formação:** O objetivo é educar e formar operadores tornando-os capazes de executar as práticas da metodologia TPM, fazendo com que se dediquem eficazmente às tarefas. Só através da formação contínua é possível que os operadores estejam ligados ao seu equipamento de forma a manusear e cuidar da maneira correta [47];
- **Gestão de Equipamentos:** Consiste em atividades realizadas durante a fase de planeamento de compra ou construção de equipamentos, que realça a importância de garantir a fiabilidade, economia, durabilidade e segurança dos equipamentos [48];

- **Gestão da Qualidade:** Este pilar visa a criação de condições para atingir a meta de zero defeitos, ou seja, prevenir defeitos originados pelo equipamento. As características do produto são influenciadas pelas condições dos componentes do equipamento. Para indústrias que tem alta dependência de equipamentos, este pilar é de muito importante, já que identificando os defeitos causados pelos equipamentos, pode identificar-se quais os componentes do equipamento que causam esses defeitos permitindo assim encontrar-se a causa do problema. Posteriormente cria-se planos de manutenção que permitam substituir esses mesmos componentes atempadamente prevenindo a ocorrência de defeitos [47];
- **Administração:** A implementação da metodologia TPM nas áreas administrativas tem como objetivo criar uma base de dados de informação de qualidade com o objetivo de agilizar o fluxo de informação e análise de processos [47].

Estes alicerces e a base fazem a sustentação de toda a casa. Na base esta a metodologia 5S que é um fator chave para o sucesso e sustentação duradoura da implementação.

2.5 Trabalhos Análogos

Durante as pesquisas bibliográficas foram identificados cinco estudos similares ao apresentado nesta dissertação que são apresentados de forma resumida na Tabela 4.

Tabela 4 – Estudos Análogos

Referências Bibliográficas	Descrição do Trabalho
(R.Samuel et al., 2021) [49]	Este estudo destaca a implementação das ferramentas <i>Lean</i> e da Qualidade numa indústria de reparação de equipamentos eletrônicos. O trabalho demonstra que a implementação do <i>Lean Manufacturing</i> resultou em melhorias contínuas e no aumento da qualidade dos processos de reparação.
(A.Palange et al., 2021) [50]	Este artigo descreve a implementação da metodologia <i>Lean</i> em diferentes setores industriais como setor automóvel, equipamentos eletrônicos, plásticos, têxteis, etc. Os benefícios verificados após a implementação desta metodologia nos diferentes setores foram a redução do tempo de ciclo, eliminação de atividades de valor não acrescentado, postos de trabalho limpos, arrumados e organizados, aumento da produtividade, redução dos custos de produção, envolvimento dos colaboradores, redução de <i>stocks</i> e avarias.
(A. Silva, 2021) [51]	O projeto desenvolvido em contexto empresarial teve como principal objetivo a implementação da metodologia 5S nos postos de trabalho da produção. A realização de uma auditoria permitiu identificar os principais problemas. Após a implementação de todas as sugestões de melhoria verificou-se reduções no tempo de procura de materiais, espaços usados de forma mais eficiente, melhoria visual do local de trabalho, conservação da limpeza e organização e um melhor ambiente de trabalho.

(R. Sousa, 2020) [52]

Esta dissertação teve como objetivo a melhoria do processo produtivo da secção de tecelagem de uma empresa recorrendo à aplicação de ferramentas *Lean*. Permitiu um estudo do impacto que as implementações das ferramentas possam refletir em termos de produtividade e segurança. As ferramentas utilizadas foram os 5S, *Kanban*, Gestão Visual e *Standard Work*. Posteriormente à implementação das ferramentas foi distribuído um questionário aos colaboradores diretamente envolvidos nas melhorias, acerca do impacto que as implementações das ferramentas tiveram no nível de segurança. A adoção das novas práticas permitiu ganhos operacionais como 47% de redução do tempo de paragem para mudança do rolo e 93% de redução do tempo na identificação da peça. Análise dos dados dos questionários teve como resultado 73% dos colaboradores consideram ter existido melhorias no ambiente de trabalho e 27% reconhecem melhorias a nível organizacional.

(I. Ribeiro et al., 2019) [53]

O estudo realizado visa melhorar a disponibilidade de uma linha de produção através da metodologia TPM apoiada por ferramentas *Lean*. Em resposta aos problemas identificados é desenvolvido e implementado um plano de ação para encontrar a causa raiz do elevado número de avarias e falhas nos equipamentos da linha. Com recurso aos 5S, gestão visual e um programa de formação para aumentar as competências dos operadores, os resultados foram positivos, aumentado a disponibilidade da linha.

DESENVOLVIMENTO

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

3.3 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO

3.4 IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

3.5 AVALIAÇÃO DAS MELHORIAS IMPLEMENTADAS

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será efetuada a apresentação da empresa onde se desenvolveu o projeto e uma descrição das diferentes etapas do processo produtivo estudado, com vista a sua melhor compressão e domínio. Será, também, feita uma caracterização do processo com o objetivo de conhecer o seu atual estado. Após a caracterização será feita uma análise de todo o processo, de forma a identificar os seus pontos críticos. Por fim, após a identificação desses pontos serão implementadas medidas de melhoria.

Desta forma este capítulo será dividido em cinco partes:

- 1) Apresentação da empresa que foi elaborado o caso prático;
- 2) Descrição das etapas envolvidas na produção de uma antena automóvel, que foi escolhida como alvo dos estudos;
- 3) Caracterização e análise do processo produtivo da antena automóvel;
- 4) Implementação das melhorias;
- 5) Avaliação das melhorias implementadas.

3.1 Apresentação da Empresa

3.1.1 Continental AG

A Continental *Caoutchouc und Gutta-Percha Compagnie* foi fundada em Hannover a 8 de Outubro de 1871 e tinha como produção principal diversos produtos de borracha e pneus maciços para bicicletas e carruagens. No ano de 1928 surge a Continental *Gummi-Werke AG*, através da fusão com duas grandes empresas da indústria de borracha alemã, designação essa que se manteve até aos dias de hoje. A Continental tem uma reputação a nível mundial de qualidade e fiabilidade (Figura 16).



Figura 16 - Logótipo da Continental

(Fonte: Continental, 2020)

No final do ano de 2020, o Grupo Continental contava com 236.386 colaboradores, divididos por 563 empresas situadas em 58 países com 561 localizações diferentes

Desde o ano da sua inauguração que a empresa tem vindo a evoluir e a diversificar o seu portefólio de produtos, conseguindo nos dias de hoje estar presente em distintas áreas na indústria automóvel.

A Continental está assim dividida em três grandes setores que são (Figura 17):

- *Automotive Technologies;*
- *Rubber Technologies;*
- *Powertrain Technologies.*

Estes grandes setores abrangem cinco áreas de negócio que são (Figura 17):

- *Automotive Technologies;*
- *Vehicle Networking and Information;*
- *Tires;*
- *ContiTech;*
- *Powertrain.*

Structure of the Continental Group in 2020 ¹				
Continental Group Sales: €37.7 billion; Employees: 236,386				
Automotive Technologies Sales: €15.3 billion Employees: 95,551		Rubber Technologies Sales: €15.6 billion Employees: 100,327		Powertrain Technologies Sales: €7.0 billion Employees: 40,102
Autonomous Mobility and Safety Sales: €7.5 billion Employees: 47,762	Vehicle Networking and Information Sales: €7.9 billion Employees: 47,789	Tires Sales: €10.2 billion Employees: 56,864	ContiTech Sales: €5.6 billion Employees: 43,463	Sales: €7.0 billion Employees: 40,102
<ul style="list-style-type: none"> > Advanced Driver Assistance Systems > Hydraulic Brake Systems > Passive Safety and Sensorics > Vehicle Dynamics 	<ul style="list-style-type: none"> > Commercial Vehicles and Services > Connected Car Networking > Human Machine Interface 	<ul style="list-style-type: none"> > Commercial Vehicle Tires > Original Equipment Passenger and Light Truck Tires (PLT) > Replacement APAC PLT > Replacement EMEA PLT > Replacement The Americas PLT > Two-Wheel Tires 	<ul style="list-style-type: none"> > Air Spring Systems > Conveying Solutions > Industrial Fluid Solutions > Mobile Fluid Systems > Power Transmission Group > Surface Solutions > Vibration Control 	<ul style="list-style-type: none"> > Electronic Controls > Electrification Technology > Sensing and Actuation
<small>¹ The structure of the Continental Group as of January 1, 2021, can be found in the Structure of the Continental Group section.</small>				

Figura 17 - Estrutura da Empresa

(Fonte: Continental, 2020)

3.1.2 Continental *Advanced Antenna*

A Continental *Advanced Antenna* é uma empresa sediada em Vila Real, sendo uma das maiores empregadoras privadas do distrito, com cerca de 550 trabalhadores que se dividem por 3 turnos durante os dias da semana e aos fim-de-semana.

Foi fundada em 1989 com a designação de *Motometer*. Posteriormente foi adquirida pela multinacional *Bosh* que durante o ano de 2010 acabaria por vendê-la a *Kathrein Automotive*.

O grupo Continental no início do ano de 2019 decidiu adquirir a empresa com o objetivo de poder ampliar e diversificar a sua gama de produtos na indústria automóvel.

Desde o início que a fábrica de Vila Real sempre esteve ligada ao fabrico de dispositivos eletrónicos. A CCA (Continental *Advanced Antenna*) é uma das seis empresas do grupo Continental presentes em Portugal. Está integrada no setor *Vehicle Networking and Information* na área *Connect Car Networking*.

A unidade de Vila Real representada na Figura 18 é dos principais fabricantes e especialistas mundiais neste ramo.



Figura 18 - Continental *Advanced Antenna*

(Fonte: Continental, 2020)

3.1.2.1 Produtos

A CAA dedica-se à produção de módulos de antenas inteligentes para a indústria automóvel. Este módulo permite a comunicação entre os veículos e o mundo exterior, ou seja, funciona como um ponto de acesso de várias antenas permitindo receber, transmitir e partilhar informações de forma a desempenhar várias funções como por exemplo:

- Rádio;
- GPS (*Global Position System*);
- RKE (*Remote Keyless Entry*);
- Bluetooth;
- DAB (*Digital Audio Broadcasting*);
- Televisão;
- Comunicações entre veículos;
- Comunicações com a infraestrutura.

O módulo de antena inteligente é constituído por cinco componentes principais:

- Antenas externas;
- Antenas internas;
- Conjunto de transmissores, recetores e sintonizadores;
- Interface de bloqueio digital;
- Processador.

Todos estes componentes comunicam entre si através de um componente designado por PCBA (Figura 19). Todas as antenas estão preparadas para futuras tecnologias.



Figura 19 - Módulo de antena inteligente

(Fonte: Continental, 2020)

3.1.2.2 Clientes

A CAA tem como principais clientes as OEM alemãs tais como: *Mercedes, BMW e Audi* (Figura 20).

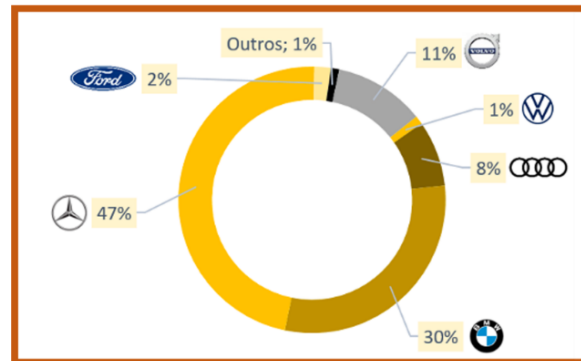


Figura 20 - Distribuição das vendas

(Fonte: Continental, 2020)

3.1.2.3 Layout da Continental Advanced Antenna

A CCA encontra-se dividida em 5 áreas, conforme a Figura 21:

- Recepção de matérias-primas;
- *Surface Mount Technology* (SMT);
- Parque de Máquinas;
- Montagem Final;
- Expedição do produto final.



Figura 21 - Layout da Continental Advanced Antenna

(Fonte: Continental, 2020)

3.2 Descrição do processo produtivo

O processo produtivo no âmbito geral é apresentado através do fluxograma da Figura 22, que apresenta todas as etapas para a produção de uma antena, que serão posteriormente descritas mais a pormenor.

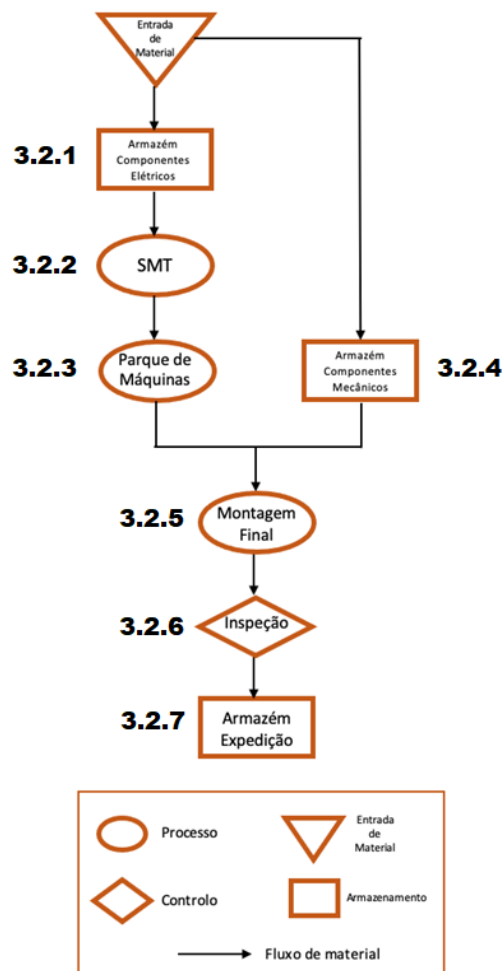


Figura 22 - Processo produtivo da Continental *Advanced Antenna*

3.2.1 Armazém de componentes elétricos

Neste armazém encontra-se as matérias-primas de semblante eletrónico que ficam armazenadas até serem alocadas no processo produtivo. A sua próxima localização com o SMT, local onde estas matérias-primas serão utilizadas, não exige necessidade de uma grande logística sendo o transporte feito do armazém diretamente para as linhas pelos colaboradores. Os componentes eletrónicos usados no processo são:

- *Nutzens* (Placa constituída por inúmeros PCB);
- Conectores;
- Microcomponentes eletrónicos;
- Resistências.

3.2.2 Surface Mount Technology (SMT)

O SMT é uma zona de produção automática composta por quatro linhas, onde os componentes eletrónicos são inseridos nas placas de circuito impresso. O abastecimento destas linhas é proveniente do armazém de componentes elétricos, sendo que os PCB têm de passar primeiro pelo processo de gravação a laser. A restante matéria-prima entra diretamente nas linhas nas diferentes etapas do processo. O fluxograma da Figura 23 resume, de forma pormenorizada, as etapas do processo produtivo no SMT.



Figura 23 - Processo produtivo do SMT

3.2.2.1 Gravação a Laser

Este procedimento consiste na gravação de um código 2D com a designação de *QR Code*. Esse código contém informações como a referência, o lote e a data de gravação. Com cada *nutzen* tem um único código, permite que seja possível fazer a rastreabilidade do produto ao longo de todo o processo produtivo, permitindo a identificação de uma determinada tarefa em que possa ter ocorrido um defeito.

3.2.2.2 Impressão com pasta de solda - *Printer*

As impressões consistem em colocar uma pasta de solda no PCB com o apoio de uma tela metálica denominada de *Stencil* com o objetivo de unir os componentes eletrônicos a placa. Em seguida retira-se o excesso de pasta da peça em ambos os lados (Figura 24).

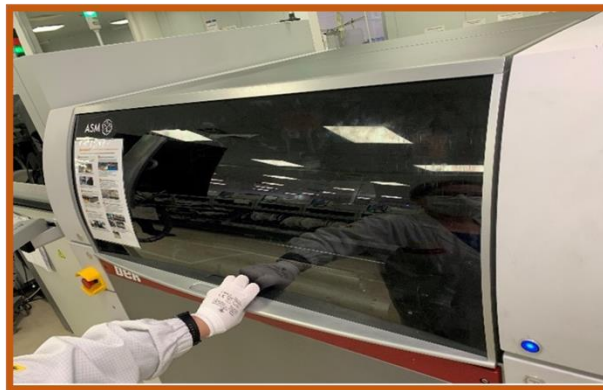


Figura 24 – *Printer*

3.2.2.3 Inspeção da pasta de solda - *SPI*

Neste processo as máquinas verificam se a quantidade da pasta de solda colocada no processo anterior está dentro dos limites de especificação. Se estiver fora dos limites, o PCB será rejeitado.

3.2.2.4 *Pick & Place*

A *Pick & Place* é uma máquina que coloca os componentes eletrônicos sobre a pasta de solda. É constituída por vários módulos o que permite inserir diferentes componentes nas placas de circuito impresso. Esses componentes são introduzidos nos módulos através de alimentadores (*feeders*), próprios para as suas dimensões, não precisando a máquina de parar para ser alimentada.

3.2.2.5 Forno

Quando todos os componentes estiverem colocados no PCB, a placa entra no forno, onde através do aquecimento, todos esses componentes irão ficar soldados a placa. No final deste processo, a saída do forno, a placa é arrefecida. Como a placa de circuito impresso, já contém a grande maioria dos componentes eletrônicos, a sua designação altera-se de PCB para PCBA.

3.2.2.6 Inspeção Ótica Automática – AOI

O AOI é uma máquina que verifica de forma automática se os componentes eletrónicos estão devidamente posicionados no PCBA e se o processo de soldadura foi feito de forma correta (Figura 25).



Figura 25 - AOI

3.2.3 Parque de Máquinas

Os PCBA provenientes do SMT são armazenados num posto intermédio enquanto aguardam para entrarem no processo de soldadura. O fluxograma da Figura 26 resume, de forma pormenorizada, as etapas do processo produtivo no Parque de Máquinas.

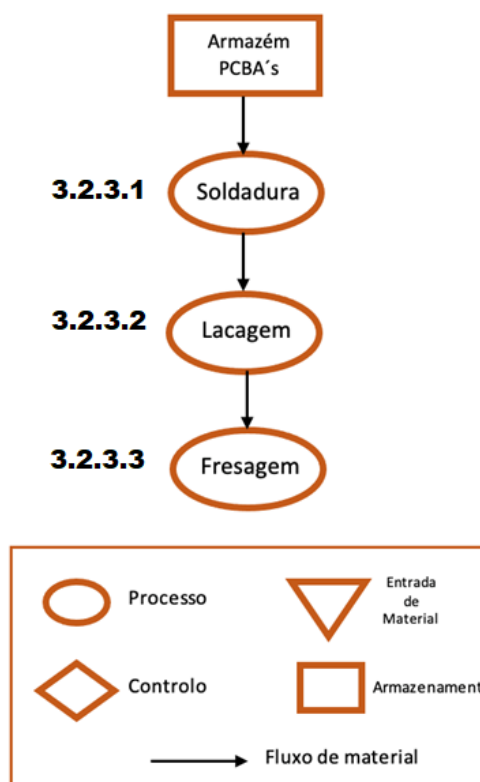


Figura 26 - Processo produtivo no Parque de Máquinas

3.2.3.1 Soldadura

O processo de soldadura serve para fixar alguns componentes de maiores dimensões que são colocados manualmente no PCBA (Figura 27).

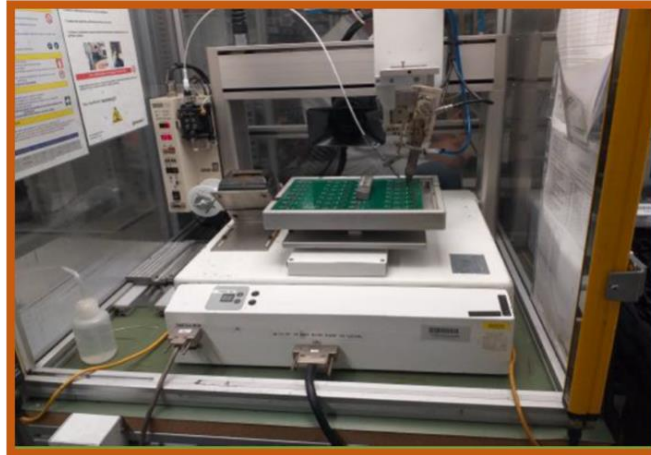


Figura 27 - Robot de Soldadura

3.2.3.2 Lacagem

A lacagem é um procedimento que consiste na colocação de um verniz que funciona como uma capa protetora, protegendo os componentes contra poeiras, turbulências, variações de temperatura e/ou humidade a que a placa poderá vir a estar sujeita ao longo do seu ciclo de funcionamento (Figura 28). É necessário programar a lacagem de forma precisa para que o verniz seja aplicado nos devidos locais, pois alguns destes componentes, podem ficar danificados ao entrarem em contacto com este fluido.

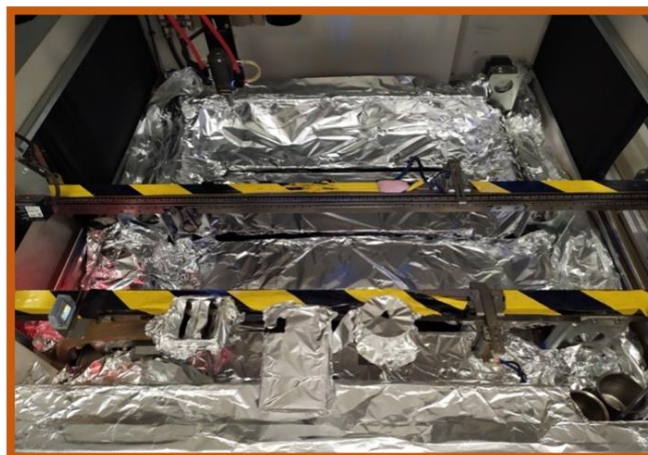


Figura 28 - Processo de Lacagem

3.2.3.3 Fresagem

Como cada *nutzen* é constituída por vários PCBA, e depois de todos os processos anteriores estarem concluídos, é necessário proceder ao destaque de forma individual de cada um deles. A fresagem é um processo que consiste no corte de um picotado, que todas as placas têm nas suas extremidades, de forma a fazer a separação entre o PCBA e a *nutzen* (Figura 29).

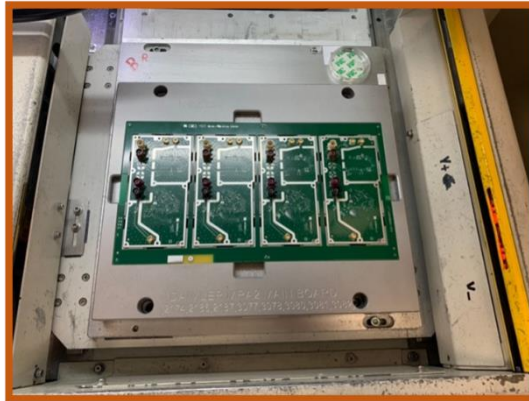


Figura 29 - Processo de Fresagem

3.2.4 Armazém de componentes mecânicos

É um espaço destinado ao armazenamento de componentes mecânicos até que estes sejam usados no processo produtivo. Os componentes usados no processo são: parafusos, borrachas, molas, pasta de solda e estruturas de origem plástica e metálica.

3.2.5 Montagem Final – Linha MRA

Os PCBA provenientes do último processo do Parque de Máquinas chegam à linha de montagem final, juntamente com os componentes mecânicos provenientes do armazém. Esta etapa consiste na montagem total da antena, ou seja, a montagem do PCBA com a estrutura física.

Os processos de produção dos PCBA para os diversos tipos de antenas fabricadas na CAA são muito idênticos. Praticamente a grande diferença reside na etapa da *Pick and Place* à qual adiciona, de acordo com a referência de produção da antena, mais ou menos componentes. A montagem final é um processo que difere do tipo de antena que está a fabricar.

O fluxograma da Figura 30 resume, de forma pormenorizada, as etapas do processo de montagem final da antena em estudo.

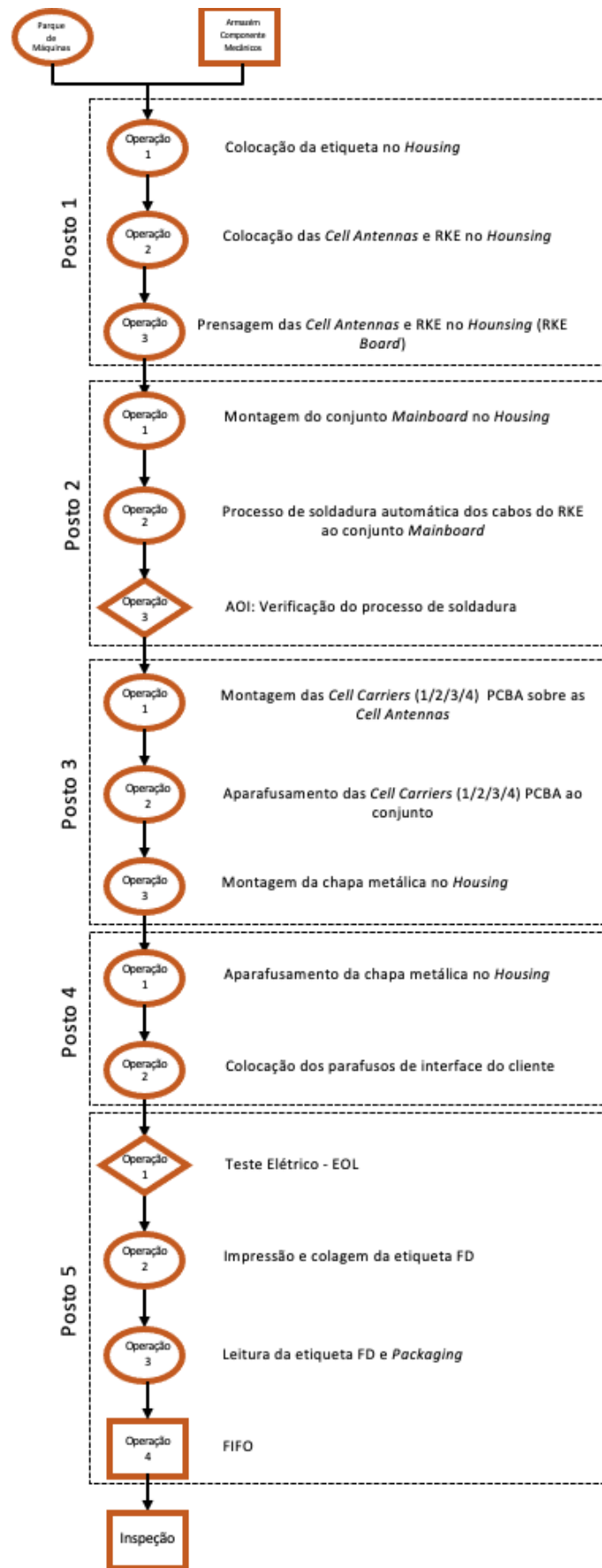


Figura 30 - Processo produtivo da linha MRA

3.2.6 Inspeção

Após a montagem final na linha MRA, as antenas são sujeitas a uma inspeção final, ou seja, são feitas verificações visuais e funcionais tanto de forma manual como automática para garantir que todos os requisitos de qualidade estão corretos.

3.2.7 Armazém de Expedição

Nesta última etapa do processo produtivo, as antenas provenientes da inspeção, são armazenadas até serem entregues ao cliente.

3.3 Caracterização e Análise do processo produtivo

A caracterização do processo produtivo tem como objetivo fazer um diagnóstico do estado dos diferentes passos do processo produtivo com vista a uma análise detalhada, que permita a identificação dos pontos críticos. As operações das etapas descritas no subcapítulo anterior não foram todas selecionadas. Na Tabela 5 pode-se verificar que apenas foram escolhidas, de forma estratégica, as operações nas quais as áreas mais sensíveis da antena estiveram expostas a contaminações por partículas metálicas e não metálicas.

Tabela 5 - Operações selecionadas para o processo de caracterização e análise

Etapas do processo produtivo	Posto	Operações
SMT	Linha Nº 3	- Gravação à laser
		- <i>Printer</i>
		- SPI
		- P&P
		- Forno
		- AOI
Parque de Máquinas	Robot de Soldadura	Robot de Soldadura N ^o 4
	Fresa	Fresa Nº 1, 2 e 3
	Lacagem	Lacagem Nº 1
Linha MRA	Posto 1	- Prensagem das <i>Cell Antennas</i> e RKE no <i>Housing</i>
	Posto 2	- Montagem do conjunto <i>Mainboard</i> no <i>Housing</i>
		- Processo de soldadura automática

	dos cabos do RKE ao conjunto <i>Mainboard</i>
Posto 3	- Aparafusamento das Cell Carriers (1/2/3/4) PCBA ao conjunto
Posto 4	- Aparafusamento da chapa metálica no <i>Housing</i>

3.3.1 Evolução do Custo vs Dimensão da Partícula Máxima

Como é possível observar no gráfico da Figura 31, quanto menor for a dimensão das partículas metálicas maior será o custo associado à limpeza técnica da antena durante as fases de produção e produto final.

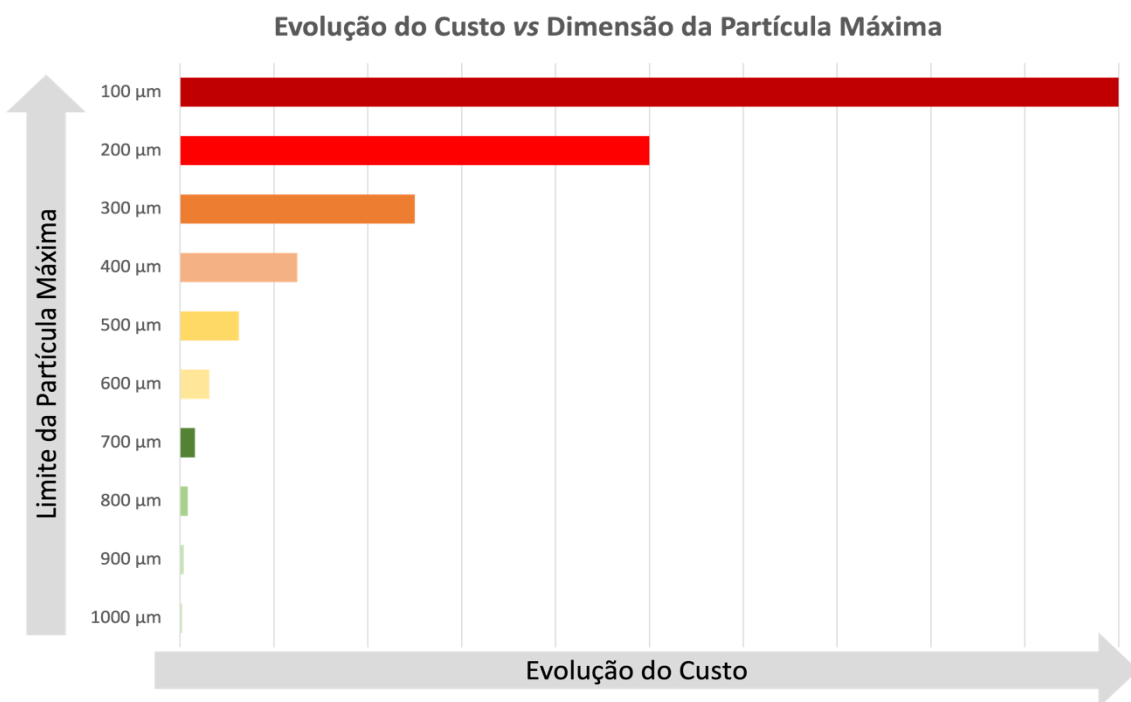


Figura 31 - Evolução do Custo vs Dimensão da Partícula Máxima

No entanto não existe nenhuma norma ou diretriz que especifique um valor limite para a dimensão de uma partícula metálica. Esses valores devem ser definidos de acordo com a função e estrutura dos componentes da antena.

A determinação dos valores limites permite evitar custos de limpeza excessivos e garante um *target* que deve ser cumprido ao longo de toda a cadeia de produção.

É assumido que o risco de um curto-circuito elétrico causado por partículas metálicas aumenta drasticamente se o comprimento da partícula for do mesmo tamanho ou maior do que a menor distância elétrica entre duas áreas transportadoras de corrente.

Na Tabela 6 é possível verificar-se as diferentes possibilidades entre uma partícula metálica e a folga entre dois pontos condutores.

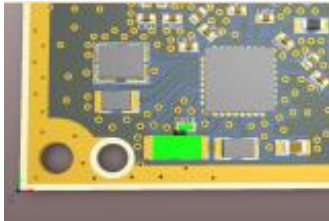
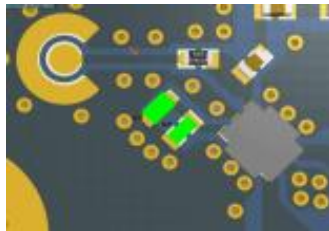
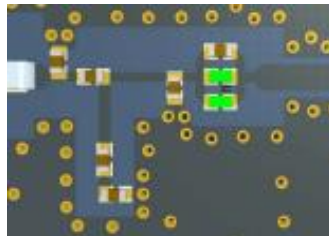
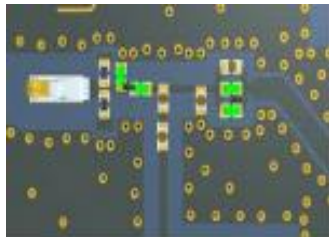
Tabela 6 - Comprimento vs Folga

Comprimento < Folga	Não há contacto geométrico logo não há contacto elétrico
Comprimento = Folga	O contacto geométrico é possível se as partículas forem perpendiculares e centradas em relação ao par de contatos
Comprimento > Folga	O contacto geométrico é possível mesmo que a partícula seja redonda. O número de oportunidades para fazer contacto aumenta em função do comprimento da partícula.

Como se pode observar na Tabela 7, foi feita uma análise ao produto final, de acordo com a diretriz ZVEI, onde foram identificadas as áreas mais críticas ao nível das menores distâncias entre áreas condutoras.

Determinou-se que não existia a necessidade de impedir ou remover partículas abaixo de 500 μm no processo produtivo ou no produto final. O valor é de 500 μm e não de 520 μm porque assim assegura-se que o comprimento não é igual a folga.

Tabela 7 - Análise das áreas condutoras mais críticas do produto

Descrição	Distância entre duas áreas condutoras	Imagem 3D	μ (Microns)
RKE Board	0,52		520
Mainboard	0,56		560
Cell Carrier 2/3/4	0,60		600
Cell Carrier 1	0,55		550

As partículas não metálicas também foram incluídas neste processo de caracterização e análise, porque embora não causem curtos-circuitos elétricos, podem prejudicar a montagem correta de componentes e fazer isolamento de contactos.

O comprimento máximo permitido, definido internamente pela empresa, para uma partícula desta natureza é de 1000 μm .

Para demonstrar a importância de se ter um valor máximo bem definido, procedeu-se a um ensaio de um curto-circuito no PCBA da antena em estudo. Primeiramente mediu-se o valor da corrente elétrica em amperes (A) entre dois pontos condutores. O intervalo de valores ideais situa-se entre 0,018 A e 0,020 A. Verifica-se assim, que o valor medido está enquadrado no intervalo de valores ideais (Figura 32).



Figura 32 - Valor da corrente elétrica (A) sem qualquer tipo de partícula condutora

Em seguida, colocou-se uma partícula metálica, oriunda do processo de aparafusamento, entre dois pontos condutores (Figura 33).

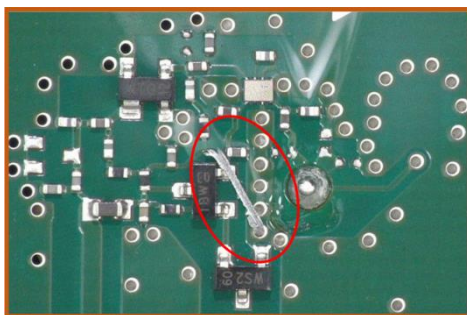


Figura 33 - Partícula metálica entre dois pontos condutores

Neste caso a existência de uma partícula condutora entre dois pontos condutores provocou um aumento excessivo do consumo de corrente elétrica (A). Este excesso de corrente pode provocar um funcionamento irregular ou mesmo perda de funções (Figura 34).



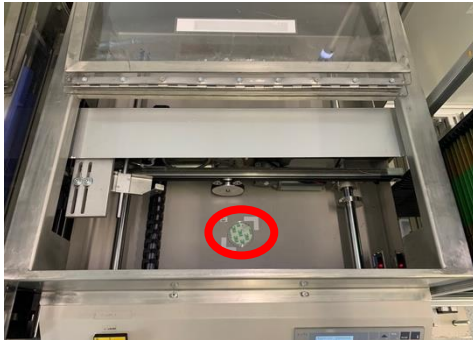
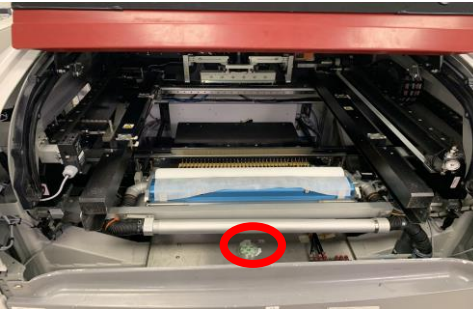
Figura 34 - Valor da corrente elétrica (A) em curto-circuito

Este ensaio demonstra a importância de se conhecer a menor distância elétrica entre duas áreas transportadoras de corrente e também a necessidade de ser preciso definir o valor máximo do comprimento de partículas metálicas que pode estar presente no produto final. Como a mobilidade aumenta com o tamanho da partícula pretende-se reduzir ao máximo o número de partículas, porque desta forma, reduzimos em grande parte as de maior tamanho. Quanto menores as partículas, menos mobilidade têm, porque ficam agarradas aos componentes por causa das forças electrostáticas.

3.3.2 Caraterização e análise do processo produtivo no SMT

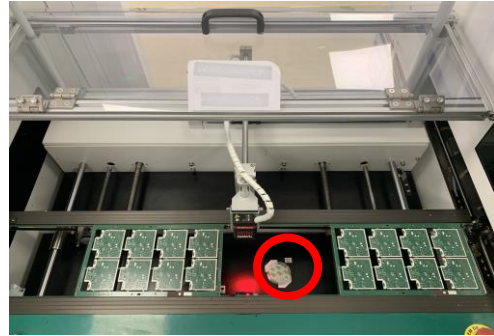
Conforme explicado anteriormente no subcapítulo 3.2.2, o SMT é composto por quatro linhas de produção automática, mas a caraterização e análise vão incidir apenas na linha número 3, que é destinada a produção dos PCBA para a antena em estudo. Na Tabela 8 observar-se a ordem e locais de colocação das *particle traps*.

Tabela 8 - Descrição, ordem e local das *particle traps* no SMT

Etapa do Processo	Posição	Imagem
Gravação à Laser	1	
Printer	2	

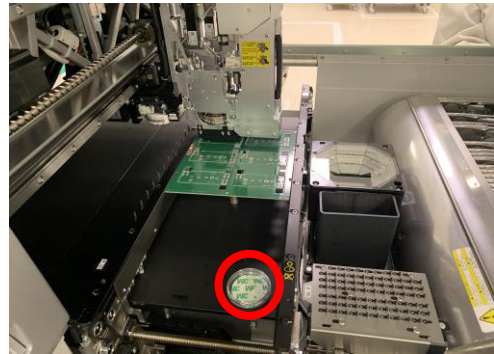
SPI

3



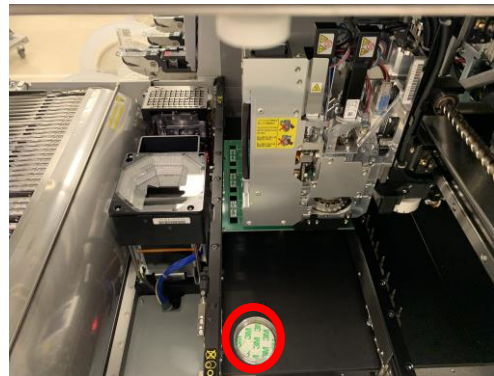
Entrada P&P

4



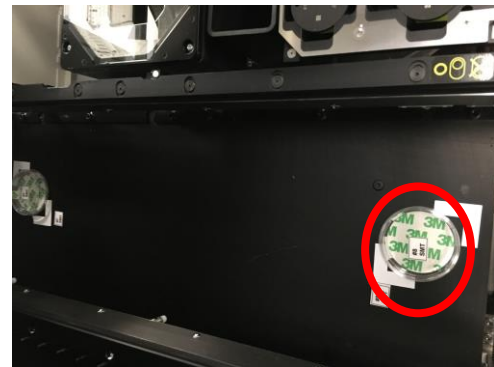
Entrada P&P

5



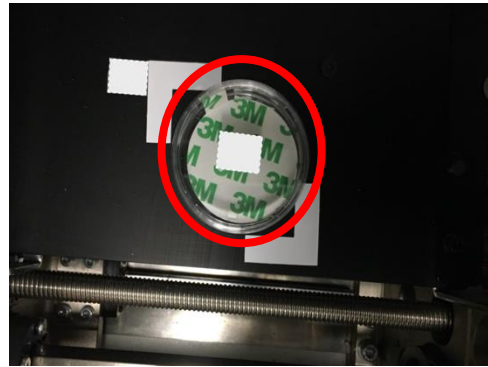
Saída P&P

6



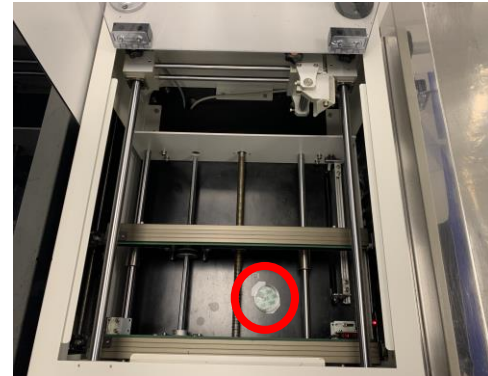
Saída P&P

7



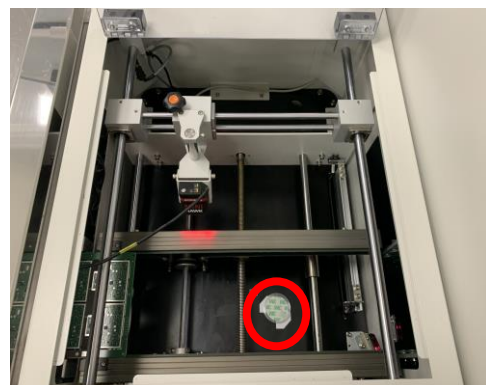
Entrada Forno

8



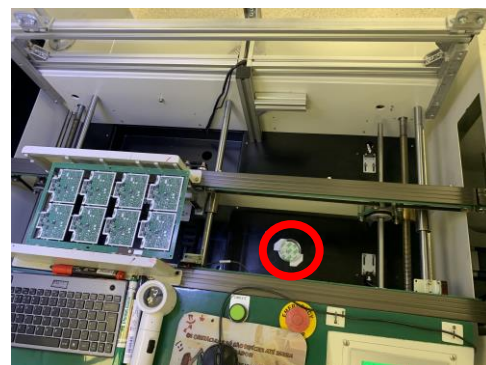
Saída Forno

9



AOI

10



A Figura 35 e Figura 36 apresentam os resultados do processo de diagnóstico, para as partículas metálicas e não metálicas, realizado através das *particle traps*.

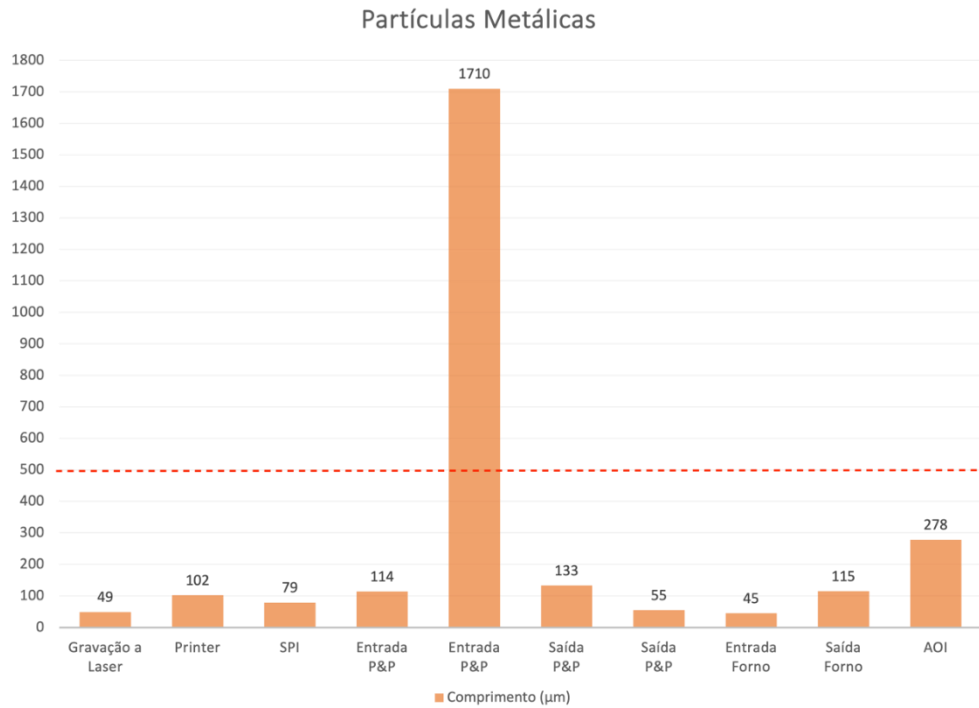


Figura 35 - Resultado das partículas metálicas no SMT

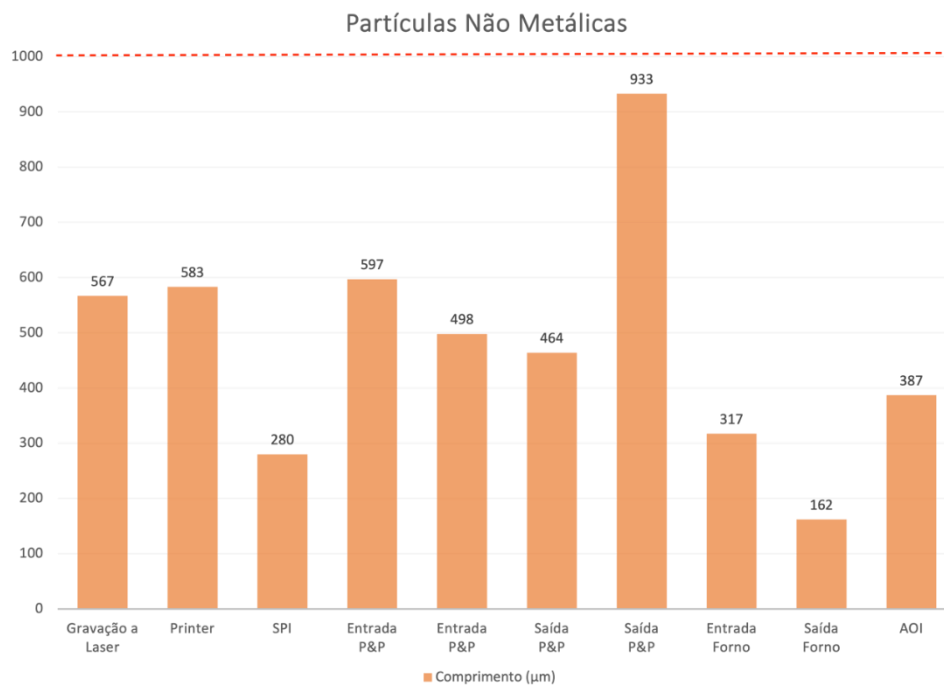


Figura 36 - Resultado das partículas não metálicas no SMT

Na Tabela 9, é possível observar o problema identificado e a sua causa, assim como uma imagem da *particle trap* no fim do seu tempo de exposição e outra imagem tirada pelo microscópico da maior partícula metálica que neste caso é um componente eletrónico.

Tabela 9 - Resumo da análise no SMT

Etapa do Processo	Entrada P&P
Posição	5
Problema	Valor das partículas metálicas acima do <i>target</i> definido
Causa	Uma avaria na máquina que provocava o desperdício de componentes

Imagem Câmara Fotográfica

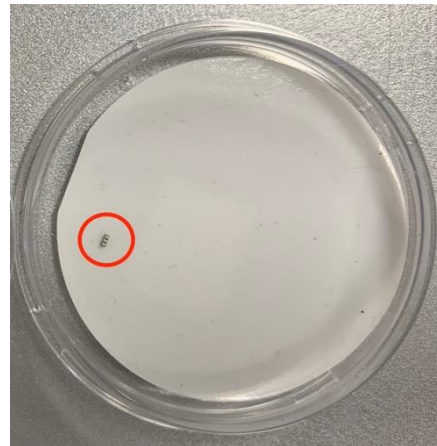
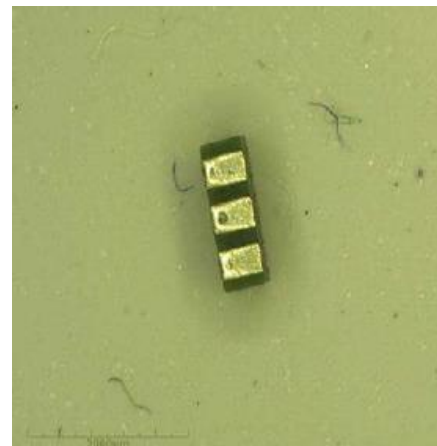




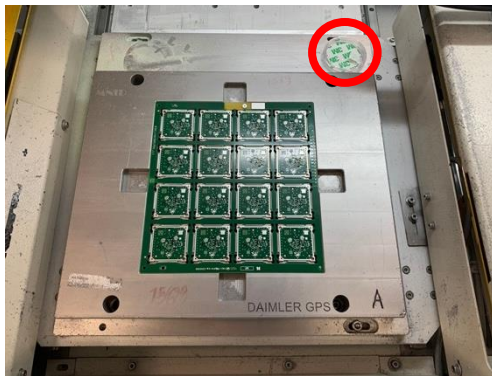
Imagem Microscópico da Maior Partícula Metálica



3.3.3 Caracterização e análise do processo produtivo no Parque de Máquinas

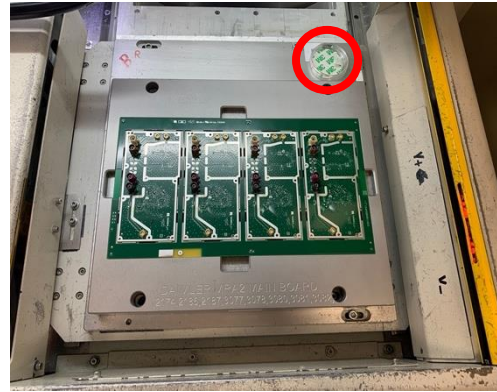
O Parque de Máquinas é composto por vários equipamentos de soldadura, lacagem e fresagem. Mas a caracterização e análise vai incidir apenas no robot de soldadura número 4, nas fresas número 1,2 e 3, e na máquina de lacagem número 1, os quais são destinados a produção dos PCBA para a antena em estudo. Na Tabela 10 pode-se observar a ordem e locais de colocação das *particle traps*.

Tabela 10 - Descrição, ordem e local das *particle traps* no Parque de Máquinas

Etapa do Processo	Posição	Imagem
Robot de Soldadura Nº4	1	
Lacagem Nº1	2	
Fresa Nº1	3	

Fresa Nº2

4



Fresa Nº3

5



A Figura 37 e Figura 38 apresentam os resultados do processo de diagnóstico, para as partículas metálicas e não metálicas, realizado através das *particle traps*.

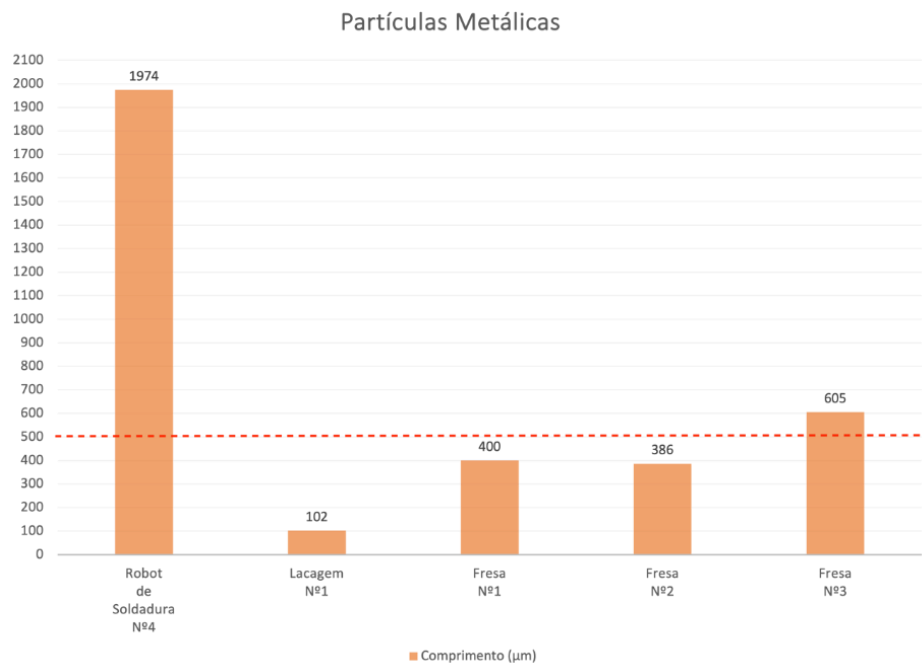


Figura 37 - Resultado das partículas metálicas no Parque de Máquinas

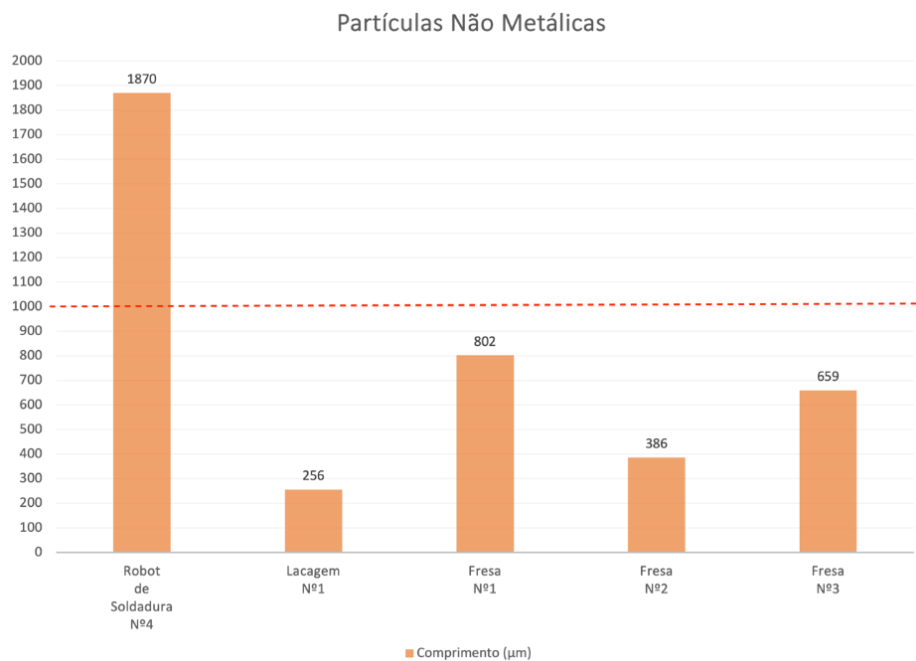
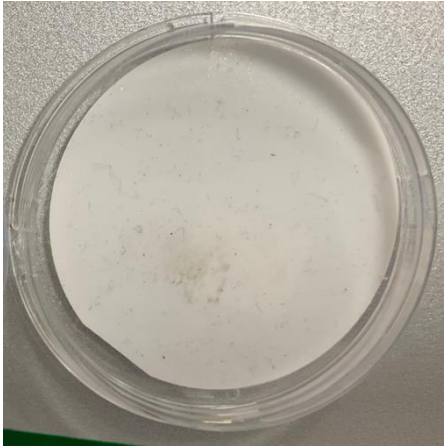
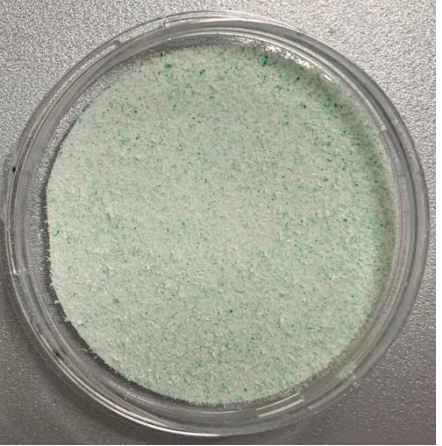



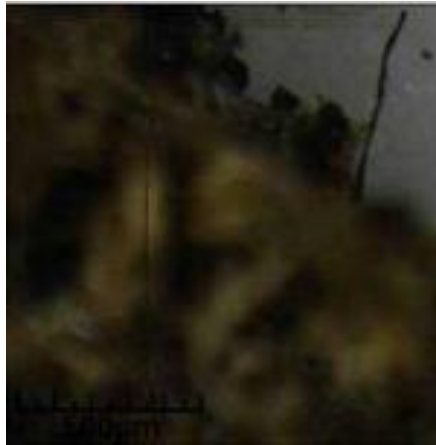
Figura 38 - Resultado das partículas não metálicas no Parque de Máquinas

Na Tabela 11 é possível observar o problema identificado e a sua causa, assim como as imagens das *particle traps* no fim do seu tempo de exposição e outras imagens tirada pelo microscópico das maiores partículas metálicas e não metálicas.

Tabela 11 - Resumo da análise no Parque de Máquinas

Etapa do Processo	Robot de Soldadura Nº4	Fresa Nº3
Posição	1	5
Problema	Valor acima do <i>target</i> definidos para as partículas metálicas e não metálicas	Valor acima do <i>target</i> definidos para as partículas metálicas
Causa	Partículas metálicas: Respingos de solda	Partículas metálicas: Contaminação cruzada
	Partículas não metálicas: Esponja de limpeza do bico de solda	NA
Imagem Câmara Fotográfica		
Imagem Microscópico da Maior Partícula Metálica		

**Imagem
Microscópica
da Maior
Partícula
Não
Metálica**

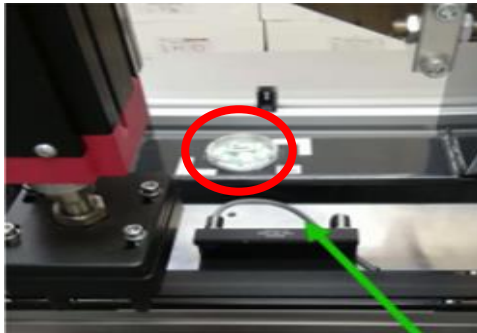
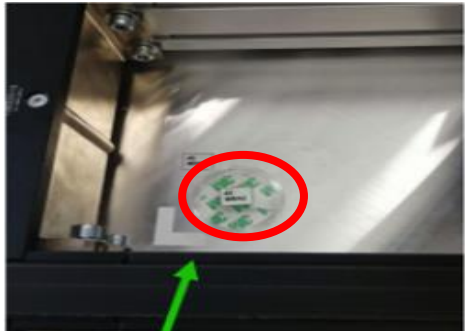




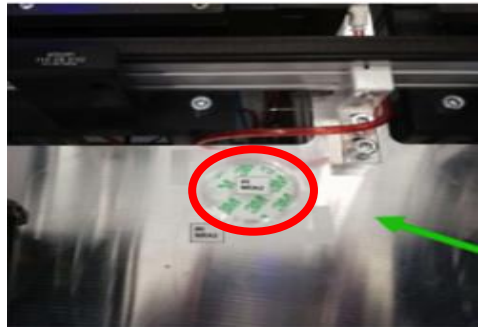
Não
Aplicável

3.3.4 Caracterização e análise do processo produtivo na Montagem Final – Linha MRA

A montagem final da antena ocorre numa linha designada por MRA. Aqui a caracterização e análise vão incidir no posto 1,2,3 e 4. Das várias operações existentes em cada posto, apenas serão escolhidas aquelas em que o PCBA está mais exposto a fontes de contaminações por partículas metálicas. O posto número 5 não foi considerado porque em todas as suas operações, a antena já se encontra em formato de produto final, ou seja, está fechada e não há contacto da placa de circuito impresso com qualquer tipo de partículas. Na Tabela 12 pode-se observar a ordem e locais de colocação das *particle traps*.

Tabela 12 - Descrição, ordem e local das *particle traps* na linha MRA

Etapa do Processo	Posição	Imagem
Posto 1 (Prensagem das <i>Cell Antennas</i> e RKE no <i>Housing</i>)	1	
Posto 2 (Montagem do conjunto <i>Mainboard</i> no <i>Housing</i>)	2	

<p>Posto 2 (Processo de soldadura automática dos cabos do RKE ao conjunto <i>Mainboard</i>)</p>	3	
<p>Posto 3 (Aparafusamento das <i>Cell Carriers</i> (1/2/3/4) PCBA ao conjunto)</p>	4	
<p>Posto 4 (Aparafusamento da chapa metálica no <i>Housing</i>)</p>	5	

A Figura 39 e Figura 40 apresentam os resultados do processo de diagnóstico, para as partículas metálicas e não metálicas, realizado através das *particle traps*.

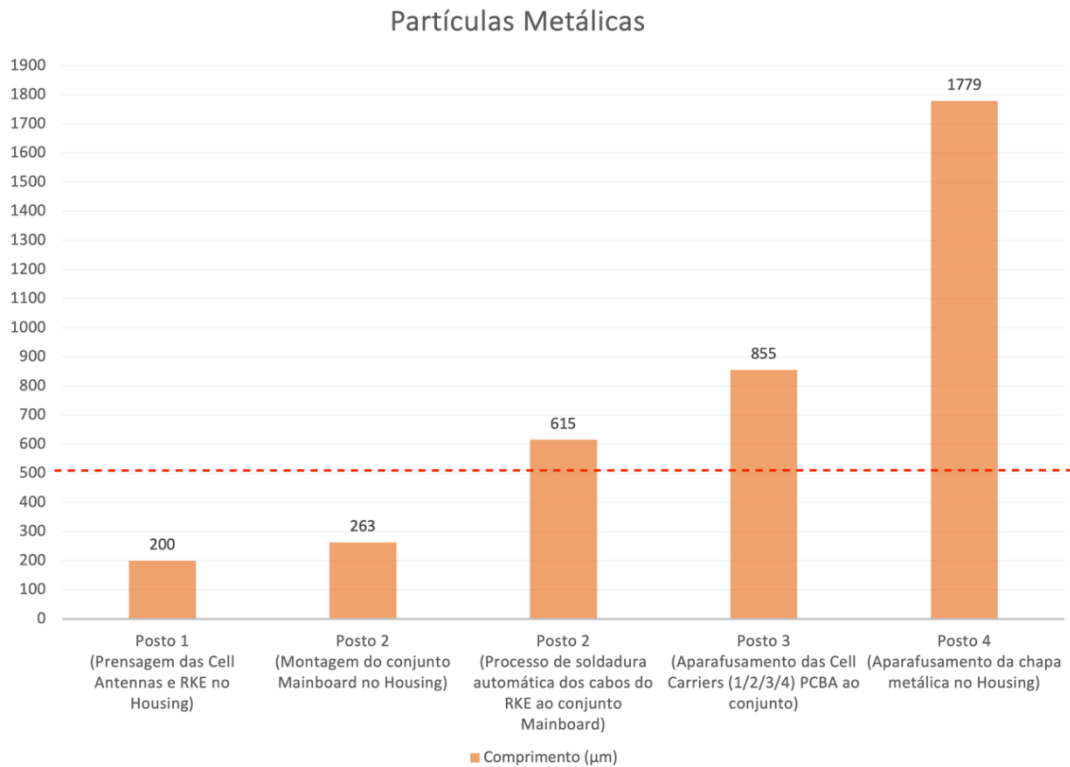


Figura 39 - Resultados das partículas metálicas na linha MRA

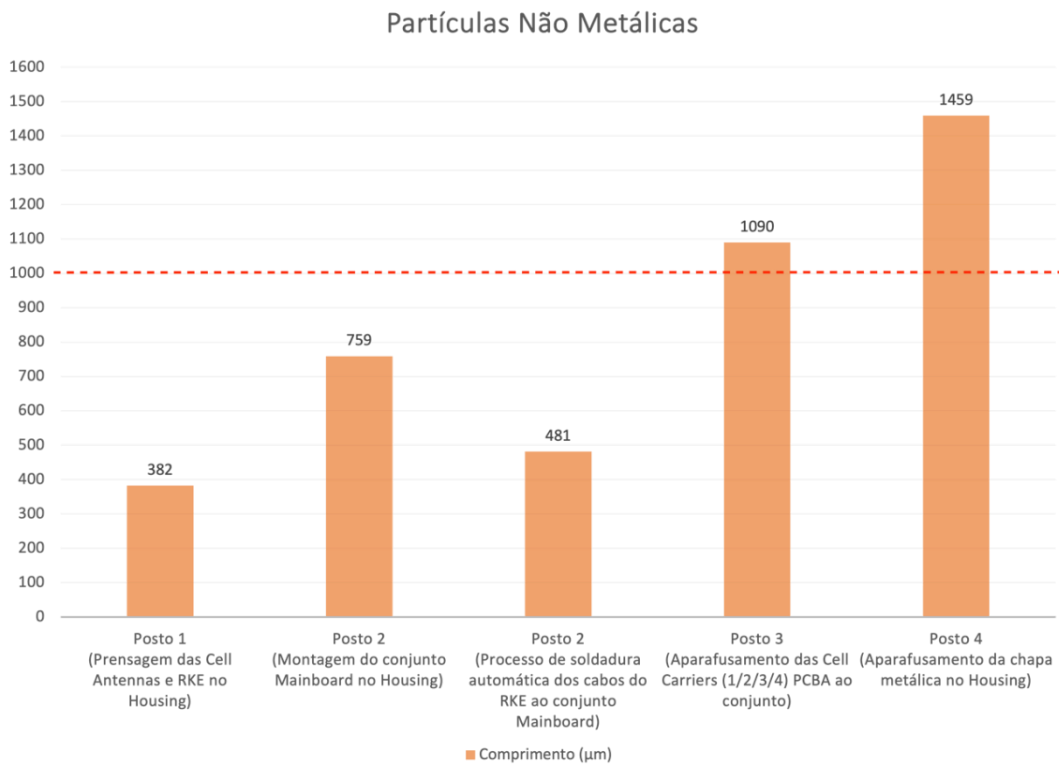


Figura 40 - Resultado das partículas não metálicas na linha MRA

Na Tabela 13 é possível observar o problema identificado e a sua causa, assim como as imagens das *particle traps* no fim do seu tempo de exposição e outras imagens tirada pelo microscópico das maiores partículas metálicas e não metálicas.

Tabela 13 - Resumo da análise na linha MRA



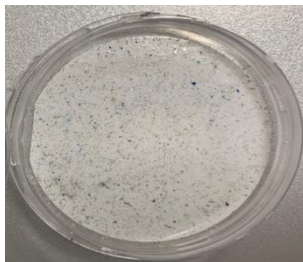
Etapa do Processo	Posto 2 (Processo de soldadura automática dos cabos do RKE ao conjunto <i>Mainboard</i>)	Posto 3 (Aparafusamento das <i>Cell Carriers</i> (1/2/3/4) PCBA ao conjunto)	Posto 4 (Aparafusamento da chapa metálica no <i>Housing</i>)
Posição	3	4	5
Problema	Valor acima do <i>target</i> definidos para as partículas metálicas	Valor acima do <i>target</i> definidos para as partículas metálicas e não metálicas	Valor acima do <i>target</i> definidos para as partículas metálicas e não metálicas
Causa	Partícula metálica proveniente do processo de soldadura realizado no posto de trabalho	Partícula metálica proveniente do processo de soldadura realizado no posto de trabalho anterior	Partícula metálica proveniente do processo de aparafusamento realizado no posto de trabalho
	NA	Partícula não metálica de plástico proveniente do Posto 1	Partícula não metálica de plástico proveniente do Posto 1
Imagem Câmara Fotográfica			

Imagem Microscópico da Maior Partícula Metálica			
Imagem Microscópico da Maior Partícula Não Metálica	Não Aplicável		

3.3.4.1 Caracterização e análise do processo produtivo na Montagem Final – Elementos da Linha MRA

Após uma análise cuidada do processo produtivo de toda a linha, o autor deparou-se com a necessidade de não só reduzir e controlar as contaminações de partículas metálicas e não metálicas nos equipamentos, mas também em elementos que fazem parte e/ou ajudam no processo produtivo e que podem contribuir para a contaminação das peças, a saber:

- Carrinhos de transporte da linha;
- Luvas ESD (*Electrostatic Discharge*);
- Sistema de aparafusamento;
- Caixas de abastecimento dos postos de trabalho;
- Caixas do produto final.

3.3.4.1.1 Carrinhos de transporte da linha

Os carrinhos da linha transportam um molde onde a antena vai sendo montada ao longo de todos os postos de trabalho (Figura 41).

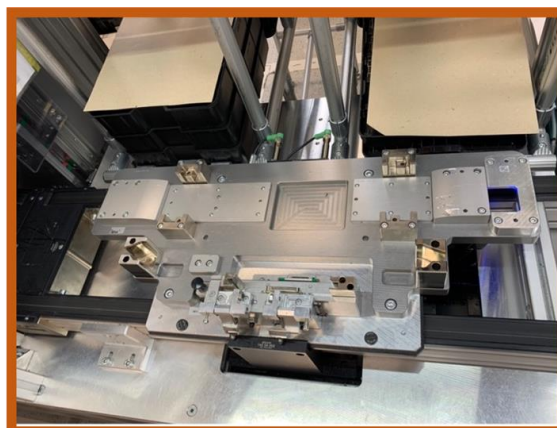


Figura 41 - Carrinhos da linha

Durante análise dos postos de trabalho o autor pode constatar, que estes carrinhos apresentavam um elevado grau de sujidade e era um veículo transportador de partículas metálicas e não metálicas por toda a linha de montagem (Figura 42).



Figura 42 - Diferentes tipos de contaminação encontrados nos carrinhos

3.3.4.1.2 Luvas ESD (*Electrostatic Discharge*)

O uso de luvas ESD (Figura 43) é obrigatório em todas as etapas processo produtivo de uma antena. As luvas para além de protegerem as mãos, protegem também as peças de serem contaminadas com gorduras ou de outros tipos substância que a pele das mãos contenha.

Como são ESD desempenham um papel fundamental na proteção contra a eletricidade estática, que pode danificar a parte eletrónica da antena ou causar algum ferimento no operador.



Figura 43 - Luvas ESD totalmente limpas

Durante análise das etapas do processo produtivo na linha foi possível verificar uma acumulação excessiva de sujidade nas luvas dos operadores. Para identificar o posto que mais contribuía para o aumento dessa sujidade e adotar medidas que permitissem reduzir e evitar a migração da sujidade para os componentes da antena, procedeu-se a uma análise do *handling* existente nos postos de trabalho.

Esta análise foi transversal a todos turnos da fábrica. No início de cada turno, os operadores iniciaram o trabalho com um par de luvas novas. A cada rotação do posto de trabalho, as luvas foram substituídas por um par novo. Nos três turnos, todos os operadores passaram por todos os postos de trabalho da linha MRA.

O primeiro turno iniciou os trabalhos na linha às seis da manhã e terminou às três da tarde. Estava constituído por cinco operadores, que operaram por duas horas em cada posto, à exceção do último posto em que apenas trabalharam por uma hora (Figura 44).

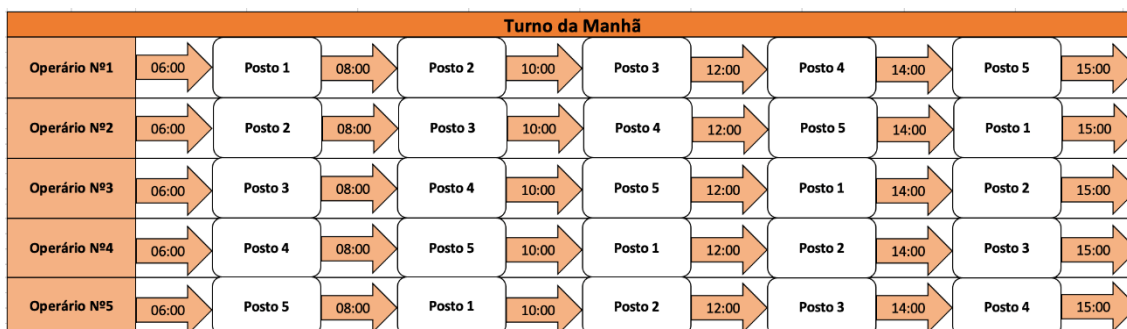


Figura 44 - Sequência de trabalhos no turno da Manhã

O segundo turno iniciou os trabalhos na linha às três da tarde e terminou à meia-noite. À semelhança do turno da manhã, este turno também é constituído por cinco operadores que operaram por duas horas em cada posto à exceção do último posto em que apenas trabalharam por uma hora (Figura 45).

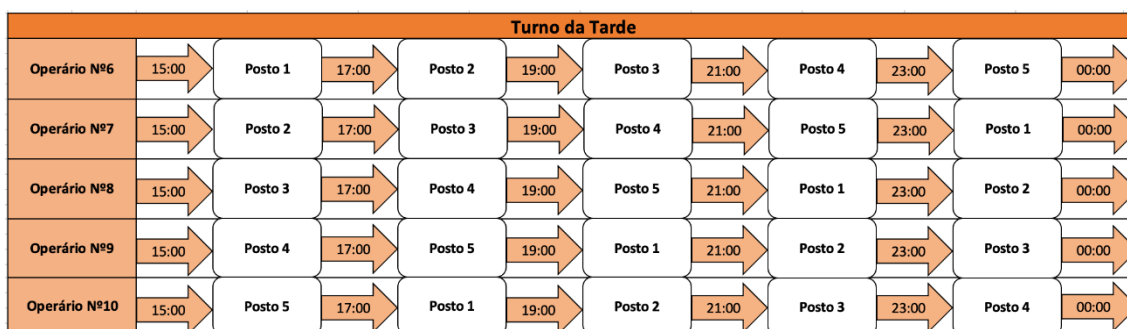


Figura 45 - Sequência de trabalhos no turno da Tarde

O terceiro e último turno iniciou os trabalhos na linha á meia-noite e terminou às seis da manhã. Estava constituído por cinco operadores que operaram por uma hora em cada posto à exceção do último posto em que trabalharam por duas horas (Figura 46).

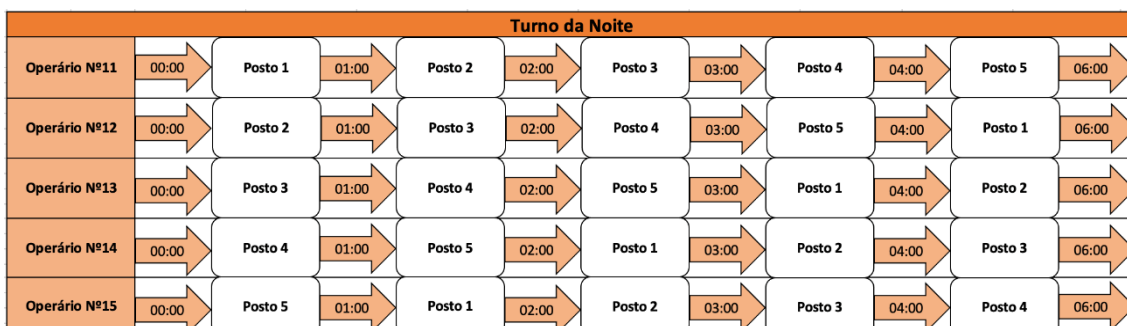


Figura 46 - Sequência de trabalhos no turno da Noite

O método de avaliação, para identificar qual dos postos de trabalho mais contribui para a sujidade das luvas, consiste em dois fatores:

O primeiro fator, é o grau de sujidade, que segundo a tonalidade geral da cor das luvas, é atribuído um valor, sendo esse valor mais alto, quanto mais escura for tonalidade apresentada pela luva (Figura 47).

Grau de Sujidade		
Nível	Tonalidade	Pontuação
Nenhum		0
Ligeiro		2
Moderado		4
Elevado		6
Muito Elevado		8

Figura 47 - Grau de sujidade

O segundo fator, consiste em dividir a área da luva em quatro áreas, cada uma dessas áreas representa 25 % da área total. Se tivermos sujidade numa das áreas, a pontuação é de 1 valor, se tivermos as quatro áreas sujas, a pontuação é de 4 valores (Figura 48).



Figura 48 - Pontuação por % de área suja

Através da Figura 49 é demonstrado como uma avaliação é feita. Neste caso a sujidade concentra-se apenas em 50 % da área da luva e o grau de sujidade, segundo a tonalidade, é muito elevado. Em suma, a pontuação final atribuída a esta luva é de $8 + 2 = 10$ valores.

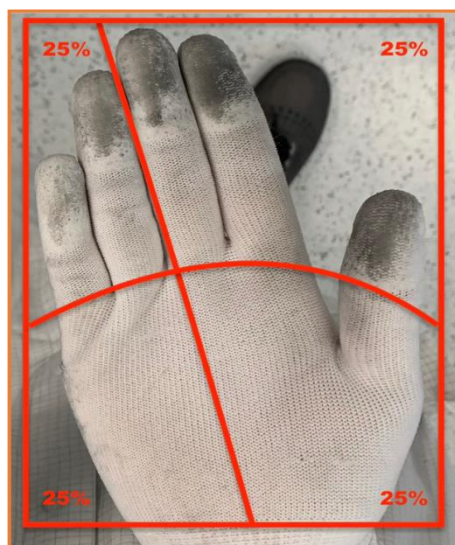


Figura 49 - Exemplificação de uma avaliação

Como o operador utiliza um par de luvas, o valor atribuído a cada PT será a soma das pontuações finais das duas luvas (mão direita + mão esquerda). No final, com a soma das pontuações finais de cada operário em cada posto de trabalho, será encontrado o posto mais crítico (Figura 50).

Posto mais crítico						
Operário	Turno	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5
1	Manhã	10	19	20	14	10
2	Manhã	8	21	22	17	9
3	Manhã	9	15	18	11	12
4	Manhã	8	16	19	13	14
5	Manhã	9	17	17	11	9
6	Tarde	7	14	20	12	11
7	Tarde	6	14	21	11	10
8	Tarde	8	15	19	12	13
9	Tarde	9	16	18	16	11
10	Tarde	9	14	19	14	12
11	Noite	7	15	24	15	9
12	Noite	10	20	23	12	10
13	Noite	7	20	21	13	11
14	Noite	6	19	16	11	10
15	Noite	8	18	19	13	13
Total		121	253	296	195	164

Figura 50 - Determinação do posto mais crítico

O posto de trabalho da linha identificado como o mais crítico foi o posto 3, não descartando o posto 2 que apenas ficou a uma distância de três valores percentuais do primeiro lugar (Figura 51). Ambos contribuem para mais de 50 % da sujidade que se transfere para as luvas.

POSTO MAIS CRÍTICO

■ Posto 1 ■ Posto 2 ■ Posto 3 ■ Posto 4 ■ Posto 5

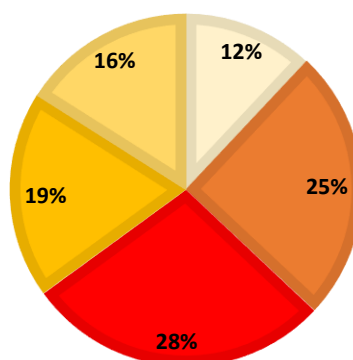


Figura 51 - Representação gráfica do posto mais crítico

Através de um *brainstorming* com os departamentos do processo, manutenção e qualidade e também com ajuda de um questionário realizado aos operadores, foi possível apurar as três principais causas para que estes postos 2 e 3 apresentassem um nível de sujidade acima do normal.

Causa identificada no Posto 2

A peça metálica do conjunto *Mainboard* contém resíduos de óleo e poeiras, uma vez que, chega ao posto neste estado proveniente do fornecedor (Figura 52). O óleo como tem propriedades gordurosas, faz com que essas poeiras e outras sujidades fiquem retidas nas luvas, e possam ser transferidas para a peça em montagem.



Figura 52 - Peça metálica do conjunto *Mainboard*

Causas identificadas no Posto 3

1ª causa: Neste posto a semelhança do posto 2, a chapa metálica da antena contém resíduos de óleo, limalhas e poeiras, e acaba por chegar à linha neste estado proveniente do fornecedor (Figura 53). Por ter resíduos de óleo possibilita que as limalhas, poeiras e outras sujidades fiquem presas nas luvas e possam ser transferidas para a peça.



Figura 53 - Chapa metálica da antena

2ª Causa: As caixas e blisters de transporte das chapas metálicas apresentam superfícies com elevada sujidade (Figura 54). Os operadores têm que manusear as caixas que entram na linha com as chapas metálicas, o que faz com que acabem por tocar nessas superfícies sujas, acabando por contaminar as luvas.

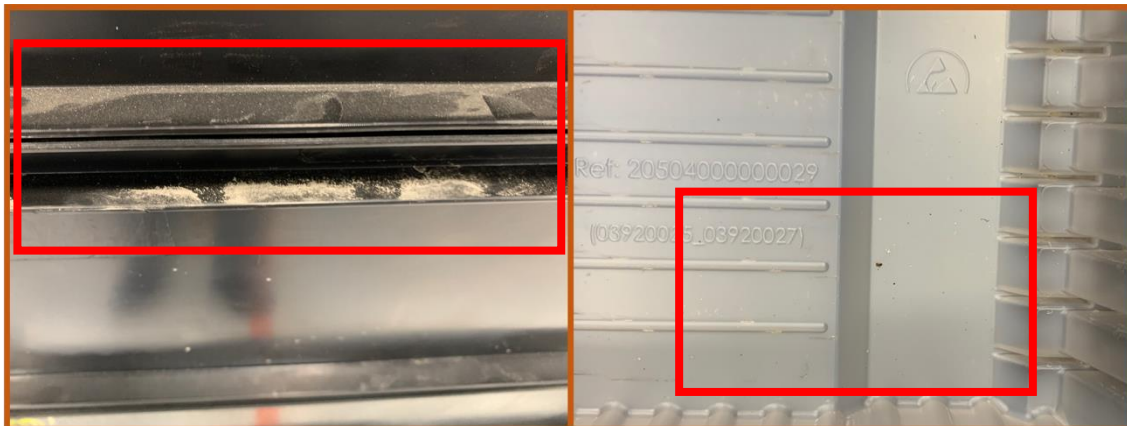


Figura 54 – Caixas (esquerda) e blisters (direita) sujos

3.3.4.1.3 Sistema de aparafusamento

Durante análise feita a linha MRA, verificou-se um excesso de parafusos soltos por todos os postos de trabalho da linha, sendo algo mais notório no posto 3.

No sistema de aparafusamento, o mecanismo do alimentador de parafusos fica muitas vezes encravado. Os operadores durante o processo de desencravamento do equipamento, provocam a queda de inúmeros parafusos para a bancada de trabalho, para o chão e também para cima dos carrinhos de transporte da linha (Figura 55).

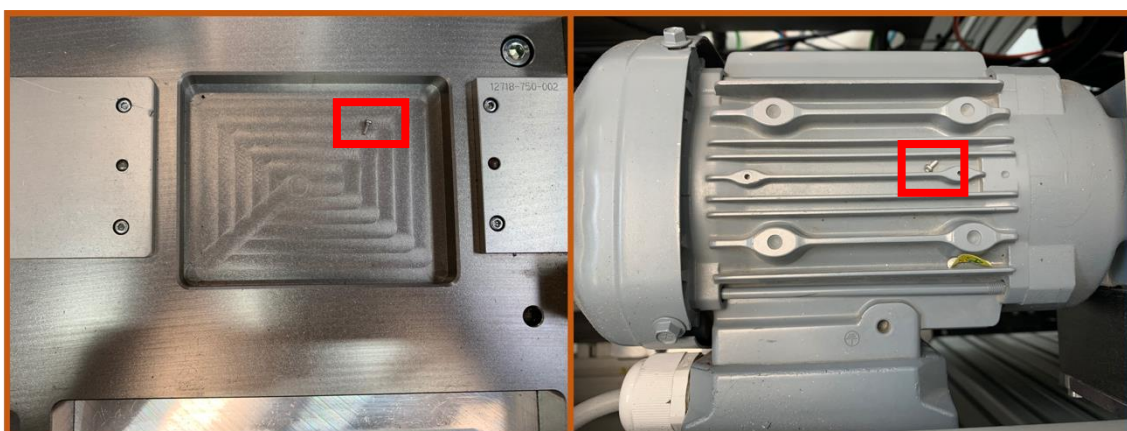


Figura 55 - Parafuso solto num carrinho de transporte (esquerda) e num equipamento do posto 3 (direita)

3.3.4.1.4 Caixas de abastecimento dos Postos de Trabalho

A semelhança do que acontece no posto 3, verificou-se que todas as caixas pertencentes a esta linha de montagem do MRA, apresentavam algum tipo sujidade tanto por dentro como por fora. O processo de lavagem das caixas ocorria apenas quando estas apresentavam um elevado grau de sujidade (Figura 56). Na área de lavagem não existia qualquer tipo de planeamento, o que provocava as seguintes ineficiências:

- Falhas de abastecimento de caixas lavadas na linha;
- Reduzida autonomia da equipa de lavagem;
- Informação ineficiente;
- Espaço útil do armazém desperdiçado;
- Retorno ineficaz das caixas;
- Inexistência de sistemas de controlo de caixas lavadas.



Figura 56 - Caixas de abastecimento dos postos de trabalho

3.3.4.1.5 Caixas do Produto Final

No posto 5 constatou-se que, as caixas do produto final, eram colocadas numa rampa com pouca capacidade de armazenamento, fazendo com que grande parte das caixas fossem colocadas no chão da linha de produção à espera de entrarem no processo de inspeção (Figura 57). As caixas são feitas de um material que não permite a sua lavagem.



Figura 57 – Caixas do produto final

3.3.5 Caracterização e análise da quantidade de partículas do ar

Segundo a norma ISO 14644 e em função da área total dos locais de análise foram definidos os pontos de monitorização que se encontram na Figura 58.

Local	Área total (m ²)	Nº de pontos de medição
SMT	960	31
Parque de Máquinas	682	26
Linha MRA	373	19

Figura 58 - Pontos de monitorização

3.3.5.1 Análise das partículas do ar no SMT

Apesar de a norma ditar que o número de pontos de medição no SMT é de 31 procedeu-se análise de 62 pontos por ser uma área extrema importância na produção das antenas (Figura 59).

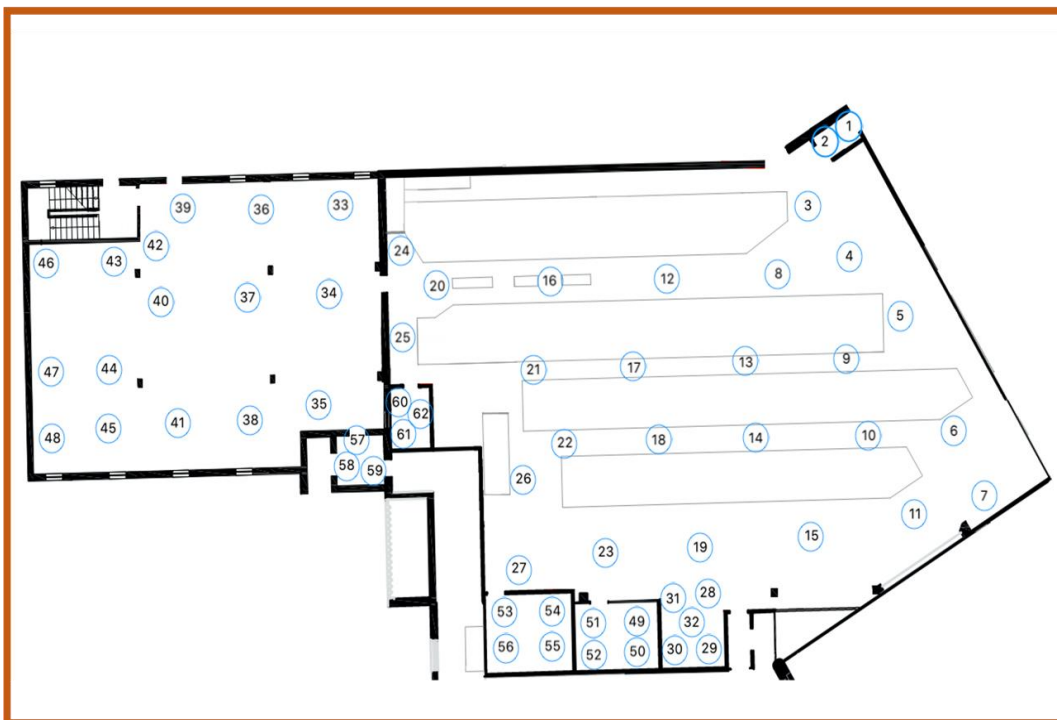


Figura 59 - Layout dos pontos de medição no SMT

Na Figura 60 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 0,5 µm no SMT.

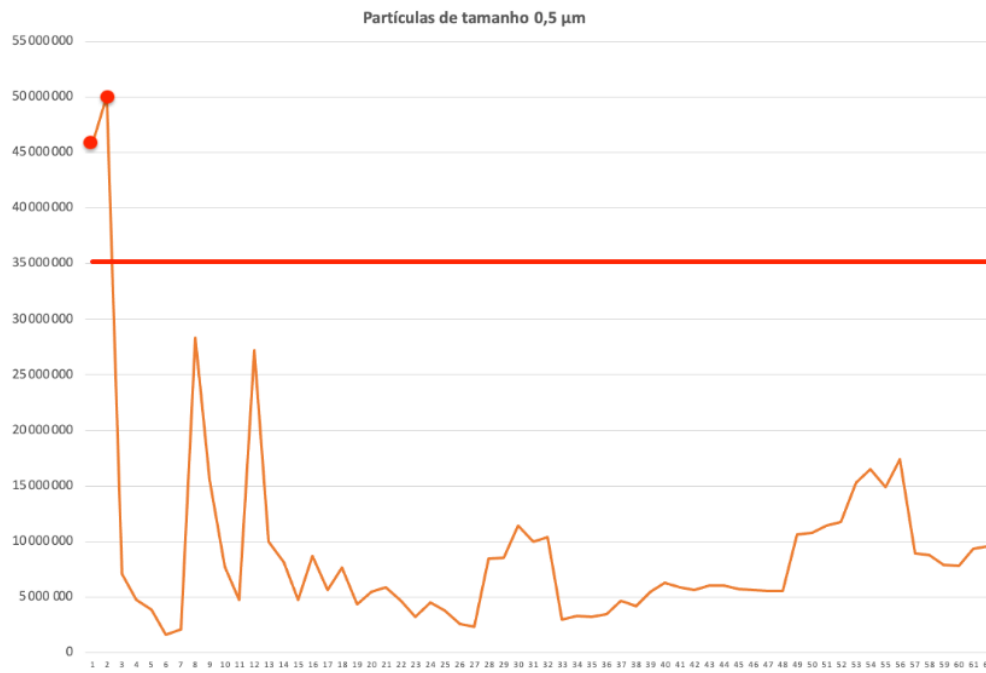


Figura 60 - Valores medidos para a classe de tamanho 0,5 µm no SMT

Na Figura 61 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 1 µm no SMT.

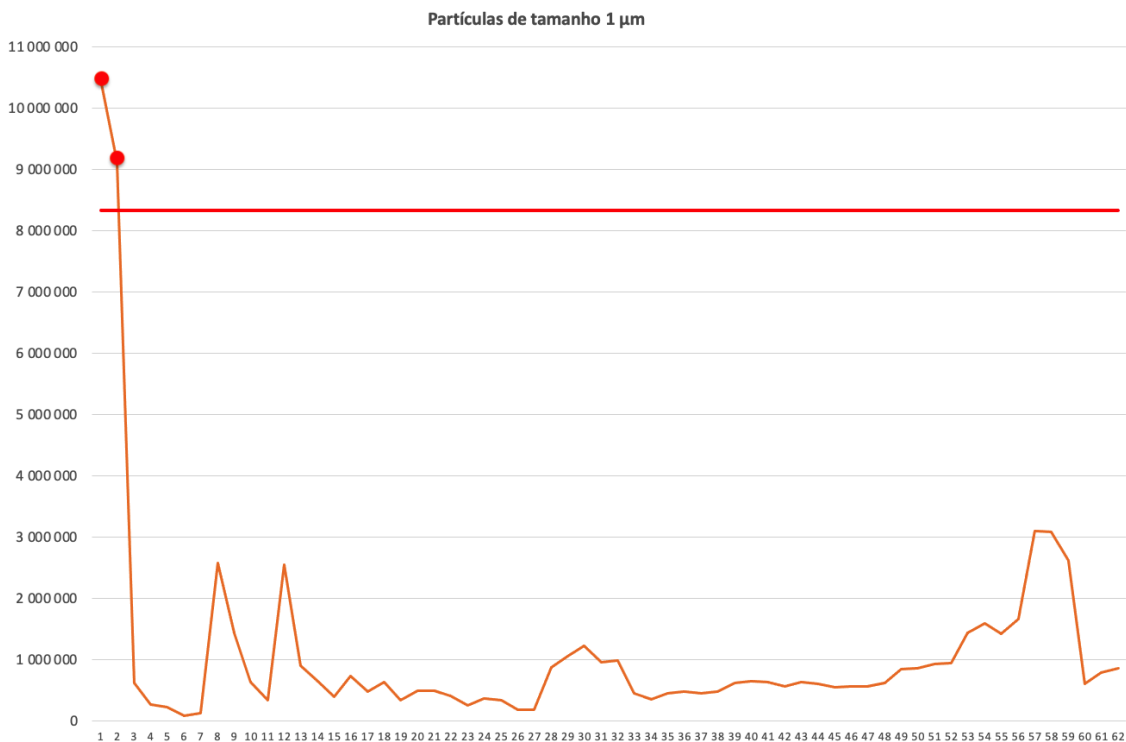


Figura 61 - Valores medidos para a classe de tamanho 1 µm no SMT

Na Figura 62 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 5 μm no SMT.

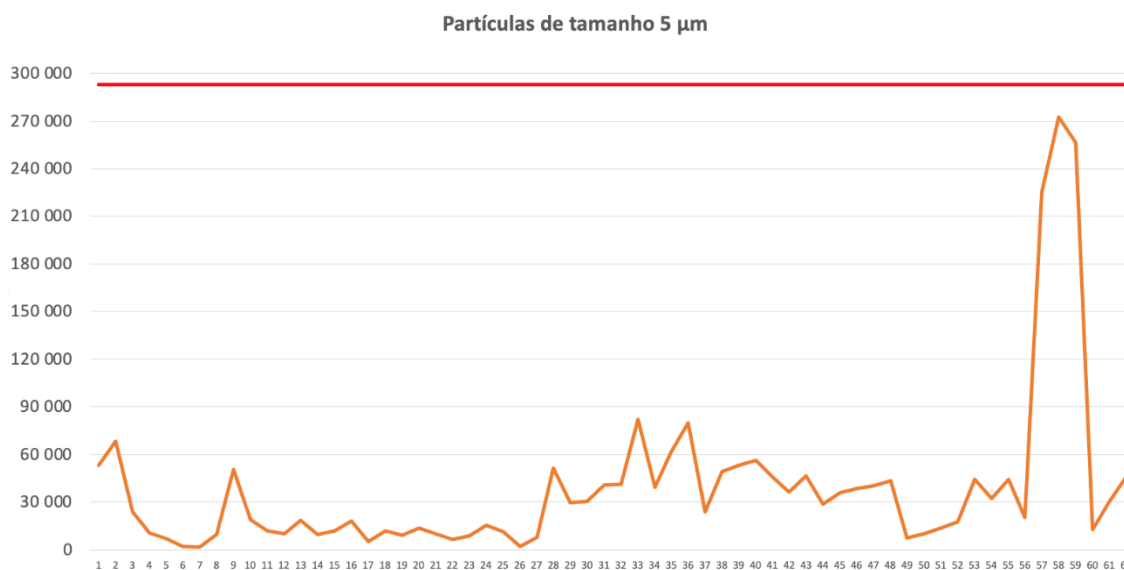


Figura 62 - Valores medidos para a classe de tamanho 5 μm no SMT

Resultante do processo de análise, foram identificados dois pontos, apresentados na Tabela 14, com valores acima da escala ISO 9.

Tabela 14 - Pontos medidos com valores acima da classe ISO 9

Ponto Medidos	Problema	Causa
1 e 2	Valor acima da escala ISO 9 para a classe de tamanho 0,5 μm e 1 μm	Os pontos medidos ficam localizados na antecâmara que divide o SMT do Parque de Máquinas, e devido às restrições do Covid-19 a porta do lado do Parque de Máquinas estava aberta. A antecâmara do foi construída com o propósito, de se ter uma área que impeça a passagem de partículas provenientes do Parque de Máquinas para dentro do SMT.

3.3.5.2 Análise das partículas do ar no Parque de Máquinas

Os pontos de medição nesta área são 26 e estão representados na Figura 63 .



Figura 63 - *Layout* dos pontos de medição no Parque de Máquinas

Na Figura 64 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho $0,5 \mu\text{m}$ no Parque de Máquinas.

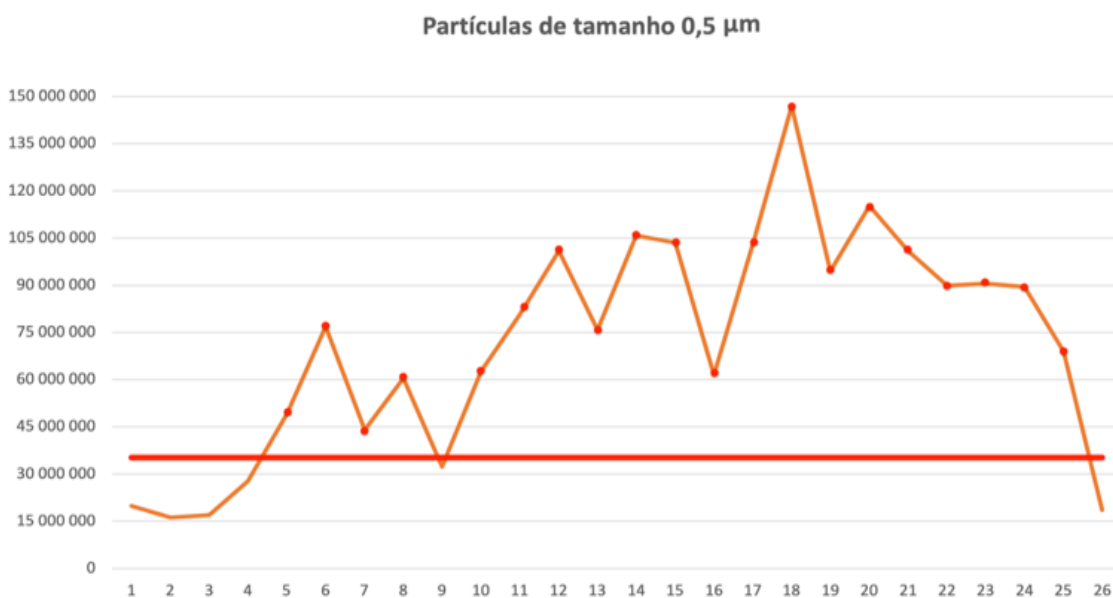


Figura 64 – Valores medidos para a classe de tamanho $0,5 \mu\text{m}$ no Parque de Máquinas

Na Figura 65 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 1 μm no Parque de Máquinas.

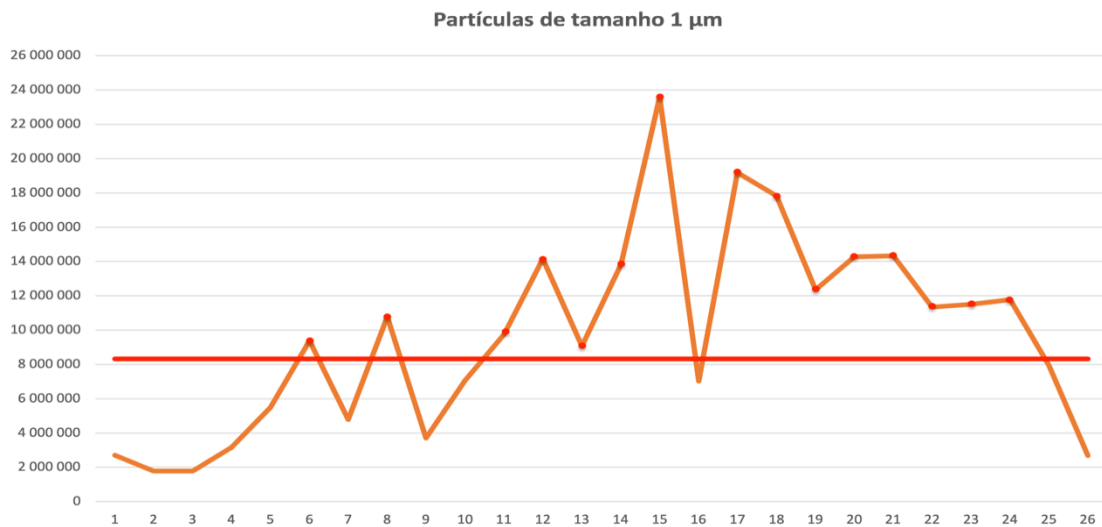


Figura 65 - Valores medidos para a classe de tamanho 1 μm no Parque de Máquinas

Na Figura 66 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 5 μm no Parque de Máquinas.

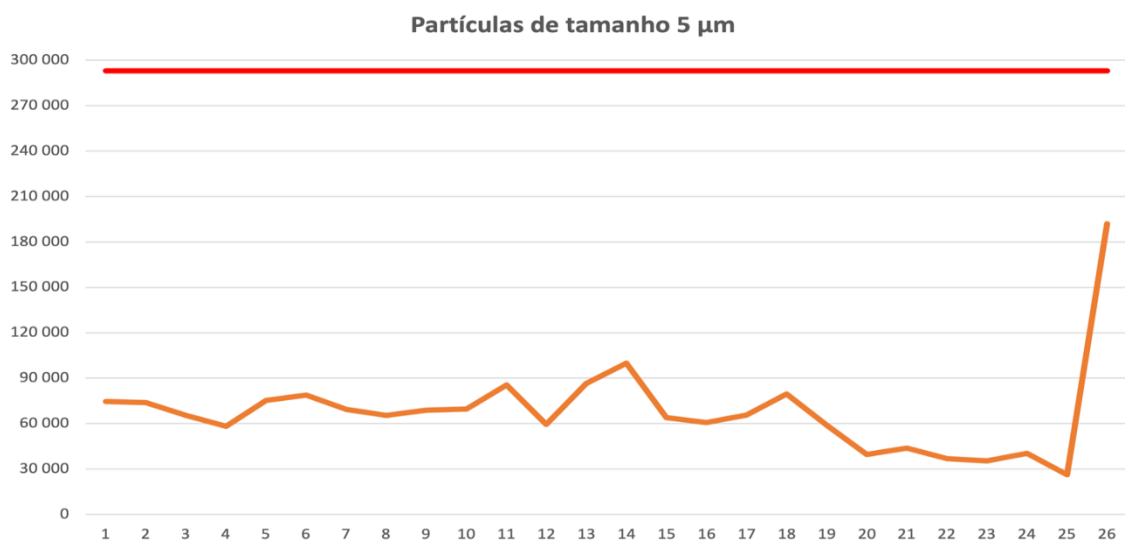


Figura 66 - Valores medidos para a classe de tamanho 5 μm no Parque de Máquinas

Com ajuda do departamento de manutenção, do departamento de limpeza e dos operadores, por meio de um *brainstorming*, identificou-se as possíveis causas, apresentadas na Tabela 15, para os níveis anormais das partículas.

Tabela 15 - Possíveis causas identificadas

Ponto Medidos	Problema	Causa
5 e 10	Valor acima da escala ISO 9 para a classe de tamanho 0,5 µm	Robot de soldadura / Zona de movimentação de pessoas e carrinhos / Conduatas de ar condicionado
6, 7, 8, 11, 12, 13, 14	Valor acima da escala ISO 9 para a classe de tamanho 0,5 µm e 1 µm	Zona de movimentação de pessoas e carrinhos / Conduatas de ar condicionado
15, 17, 18, 22	Valor acima da escala ISO 9 para a classe de tamanho 0,5 µm e 1 µm	Falta de limpeza entre as estantes e paredes / Falta de limpeza por baixo das estantes / Falta de limpeza nas beiras das janelas / Zona de movimentação de pessoas e carrinhos / Conduatas de ar condicionado / Rolamentos das estantes sujos / Paletes sujas
16, 19, 20, 21, 23, 24	Valor acima da escala ISO 9 para a classe de tamanho 0,5 µm, 1 µm e 5 µm	Estantes sujas / Falta de limpeza por baixo das estantes / Zona de movimentação de pessoas e carrinhos / Conduatas de ar condicionado
25	Valor acima da escala ISO 9 para a classe de tamanho 0,5 µm	Corrente de ar na abertura da porta / Zona de entrada e saída de pessoas

3.3.5.3 Análise das partículas do ar na linha MRA

A ISO 14644:2015 para a linha MRA, refere que o número de pontos de medição, que estão representados na Figura 67, é de 19.

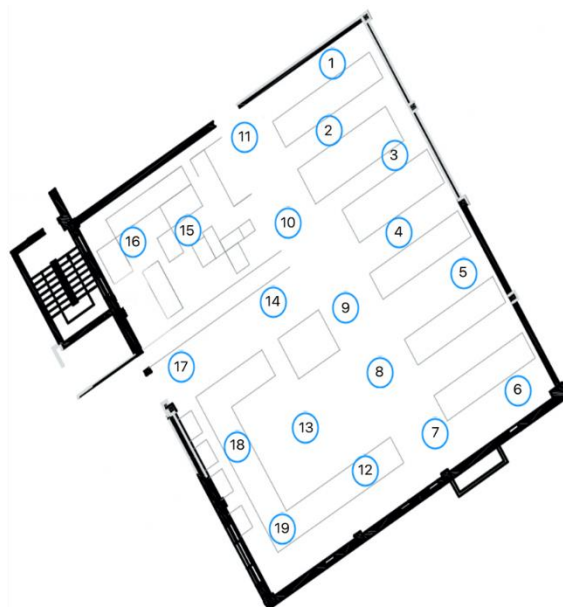


Figura 67 - Layout dos pontos de medição na linha MRA

Na Figura 68 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho $0,5 \mu\text{m}$ na linha MRA.

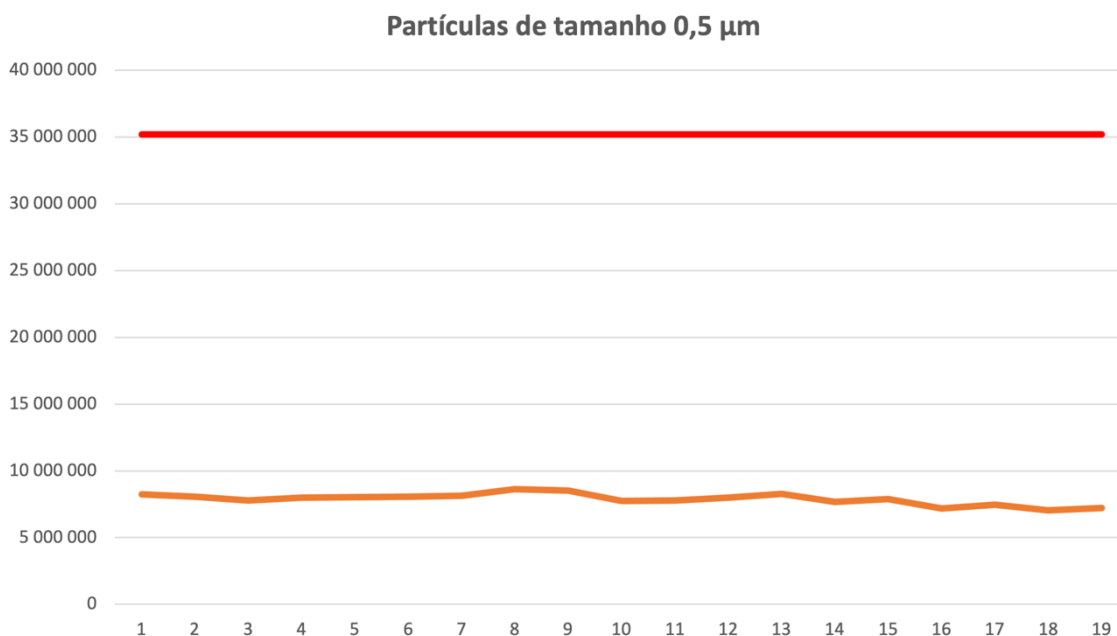


Figura 68 - Valores medidos para a classe de tamanho $0,5 \mu\text{m}$ na linha MRA

Na Figura 69 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 1 μm na linha MRA.

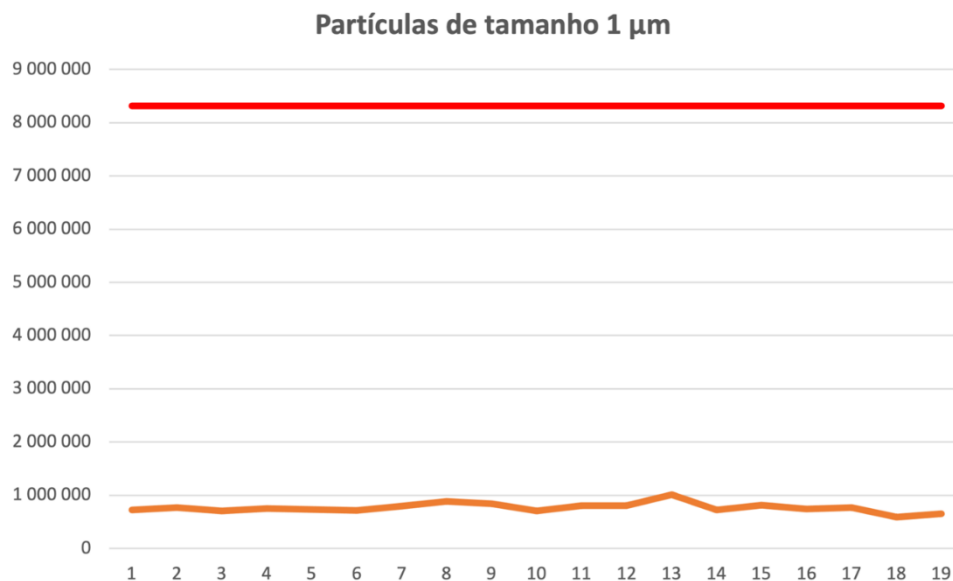


Figura 69 - Valores medidos para a classe de tamanho 1 μm na linha MRA

Na Figura 70 pode-se verificar os valores medidos para a classe de tamanho 5 μm na linha MRA.

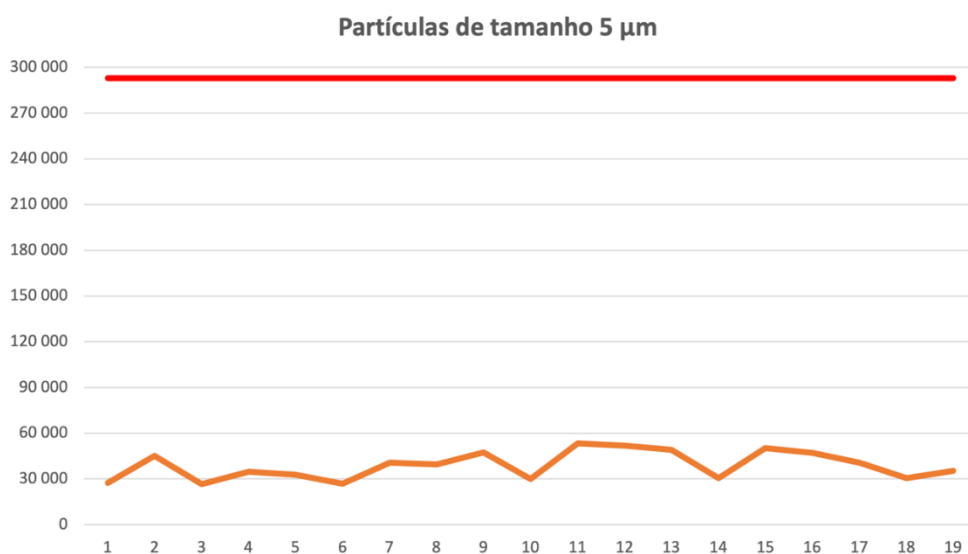


Figura 70 – Valores medidos para a classe de tamanho 5 μm na linha MRA

Esta análise permitiu concluir que todos os pontos medidos estão abaixo dos limites para as três classes de tamanhos, atribuindo assim à linha do MRA a classificação de ISO 9.

3.4 Implementação de Melhorias

No presente subcapítulo serão apresentadas as propostas de melhoria implementadas com o objetivo de solucionar os problemas identificados no subcapítulo anterior, que visam, não só a redução das partículas metálicas e não metálicas, mas também a otimização do processo produtivo. Deste modo, desenvolveu-se um plano de ações de melhorias baseada na metodologia 5W2H que pode ser analisada na Tabela 16 .

Tabela 16 - Metodologia 5W2H

What	Why	How	Where	Who	When
Linha 3	Desperdício de componentes elétricos	Manutenção Corretiva, Manutenção Preditiva e Gestão visual	SMT	Autor + Departamento de Manutenção	Janeiro 2021
Robot de Soldadura Nº4	Elevado valor das partículas metálicas e não metálicas	Gestão visual, Plano de limpeza e 5S	PM	Autor + Dep da Qualidade + Operadores	Fevereiro 2021
Fresa Nº3	Elevado valor das partículas metálicas	Plano de limpeza e Gestão visual	PM	Autor + Dep da Qualidade + Operadores	Fevereiro 2021
Posto 2 (Processo de soldadura), Posto 3 e Posto 4	Elevado valor das partículas metálicas e não metálicas	TPM	MRA	Autor + Dep Qualidade	Abril 2021
Carrinhos da Linha	Elevada sujidade e transporte de partículas metálicas e não metálicas	Plano de limpeza e Gestão visual	MRA	Autor + Operadores	Maior 2021
Luvras ESD	Acumulação e transporte de sujidade	Redefinição do plano de entrega e uso das luvras	MRA	Autor	Maior 2021

Sistemas de aparafusamento	Desperdícios de parafusos e propagação de partículas metálicas	Plano de limpeza e fornecimento de parafusos e 5S	MRA	Autor + Dep Manutenção	Maio 2021
Caixas de abastecimento dos postos de trabalho	Elevada sujidade por dentro e fora das caixas	<i>Kanban</i>	MRA	Autor + Dep Qualidade	Junho 2021
Caixas produto final	Caixas empilhadas e pousadas no chão	FIFO	MRA	Autor + Dep da Qualidade	Julho 2021
Análise às partículas do ar	Valor fora dos limites estipulados pela ISO 9	Plano de limpeza e manutenção	SMT, PM e MRA	Autor + Dep de Higiene e Limpeza	Julho 2021

3.4.1 Implementação de melhorias na linha 3 do SMT

Durante a caracterização e análise da linha 3 do SMT, foi possível identificar que a máquina P&P estava a desperdiçar componentes. Foi realizada uma inspeção da equipa do processo, onde foi possível identificar e perceber que um dos alimentadores dos componentes eletrónicos estava danificado. Para a referência de PCBA em estudo, apenas um componente eletrónico era necessário por placa. A falha consistia, no deficiente funcionamento do alimentador que a cada dois componentes eletrónicos expelidos, desperdiçava o terceiro.

A partir do diagnóstico realizado no subcapítulo 3.3.2, apresentado na Tabela 9, recomendou-se que fosse realizada uma manutenção corretiva do equipamento. Não é possível saber com precisão o dia em que surgiu a avaria, por isso, para o cálculo do custo de desperdício será considerado vinte e cinco dias mensais face à linha trabalhar vinte e quatro horas de segunda a sábado todos os mês, parando apenas um dia para manutenção preventiva (Figura 71).

Dados Mensais						
Dias Funcionamento	Horas de Funcionamento	Nº de PCBA's Produzidos	Nº de componentes electricos necessários	Nº de componentes eletricos usados	Nº de componentes electricos desperdiçados	Custo (€) de cada componente eletrico
25 dias	600 horas	7 500	7 500	11 250	3 750	0,50 €

Figura 71 - Dados mensais

Na Figura 72 está representado o custo do desperdício por mês, por dia e por turno.

Custo do desperdício		
Por mês	Por dia	Por turno
$3\,750 \times 0,5 = 1\,875 \text{ €}$	$\frac{3\,750}{25} \times 0,50 = 75 \text{ €}$	$(\frac{3\,750}{25})/3 \times 0,5 = 25 \text{ €}$

Figura 72 - Custo do desperdício

Com o objetivo de reduzir ou mesmo eliminar este desperdício foi implementado um plano de manutenção preditiva. Plano esse, que consistiu na instalação de um aparelho, que faz a contagem dos componentes eletrónicos que são expelidos pelo alimentador. No fim do turno a contagem é enviada para o AOI no fim da linha assim como o número de placas produzidas e o número de componentes eletrónicos colocado em cada placa.

Desta forma, se os números do contador forem iguais aos números dos componentes usados, indica que não houve qualquer tipo de desperdício. Caso ambos os números não coincidam, o desperdício será no máximo de 50 componentes porque avaria será detetada no fim de cada turno.

Por fim, a par da manutenção preditiva foi também implementado um plano de inspeção visual, o qual consiste em que, no final do turno, o operador da máquina tem de a abrir e verificar visualmente se existem componentes eletrónicos dentro ou nas imediações da máquina. Para estas duas situações foi desenvolvida uma ajuda visual, que diz ao operador com que frequência é necessário verificar a contagem de componentes eletrónicos ou proceder à inspeção visual. Esta ajuda descreve como o procedimento deve ser feito. No caso de os números do contador serem iguais aos números dos componentes usados, o operador com o auxílio de um marcador coloca um visto na área verde (Figura 73).


Inspeção Contagem de Componentes Elétricos	
Frequência da inspeção	Responsável pela Operação
No fim de todos os turnos de trabalho	Operador do AOI
TAREFA	DESCRIÇÃO
1	Confirmar o número de placas produzidas
2	Verificar quantos componentes se usa por placa
3	Verificar quantos componentes elétricos foram usados
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid black; background-color: green; padding: 10px; text-align: center;"> <p>OK</p>  </div> <div style="border: 2px solid black; background-color: red; padding: 10px; text-align: center;"> <p>NOT OK</p> </div> </div>	
<div style="border: 1px solid black; background-color: orange; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>Marcador</p> </div>	

Figura 73 - Plano de inspeção visual (OK)

Se durante a inspeção visual, o operador detetar componentes dentro da máquina ou nas suas proximidades, coloca uma cruz na área vermelha (Figura 74).

Inspeção Visual	
Frequência da inspeção	Responsável pela Operação
No fim de todos os turnos de trabalho	Operador da <i>Pick and Place</i>
TAREFA	DESCRIÇÃO
1	Abrir o equipamento
2	Verificar a existência de componentes elétricos dentro ou nas imediações do equipamento
3	Voltar a fechar o equipamento

OK

NOT OK

Marcador

Figura 74 – Plano de Inspeção (*Not Ok*)

Antes do início de cada turno, o operador da P&P deve verificar este plano. Caso verifique que o colega do turno anterior preencheu o quadrado na área do *Not Ok*, tem de alertar de imediato a equipa da manutenção.

Foi necessário aguardar duas semanas para que as medidas fossem compreendidas e realizadas de forma correta pelos operadores. Ao final de um mês destas medidas serem implementadas, procedeu-se novamente a um processo de diagnóstico das partículas metálicas (Figura 75) e não metálicas (Figura 76). Os resultados como esperado ficaram dentro dos *targets* estipulados.

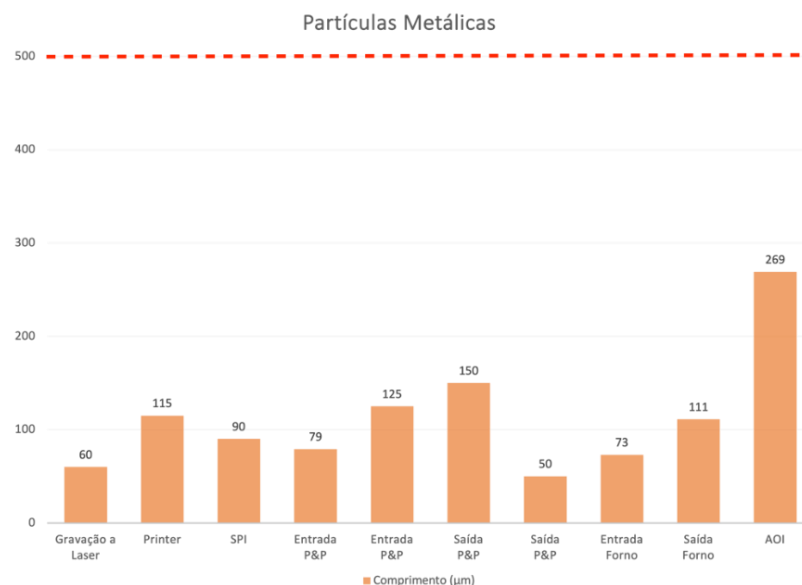


Figura 75 - Resultados das partículas metálicas após implementação de melhorias no SMT

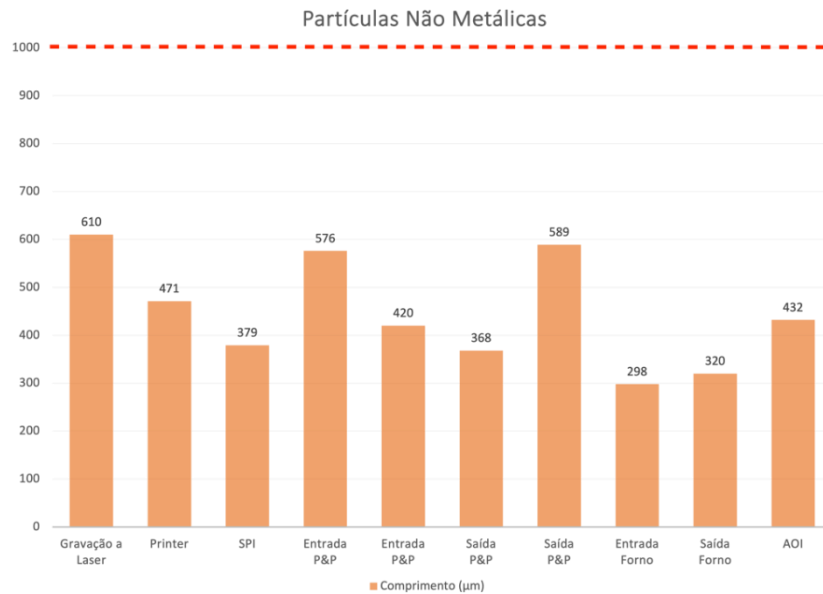


Figura 76 – Resultados das partículas não metálicas após implementação de melhorias no SMT

3.4.2 Implementação de melhorias no Robot de Soldura N^o4

Os valores recolhidos durante o processo de caracterização das partículas metálicas, conforme o subcapítulo 3.3.3, estavam acima dos limites definidos. Os respingos de solda é algo que não pode ser completamente eliminado de um processo de soldadura, mas que pode ser minimizado. Para ajudar na minimização deste problema, foi desenvolvido uma ajuda visual para que o departamento de manutenção possa saber quando tem de intervir, para que o robot não continue ou aumente a frequência dos respingos de solda. Quando o operador verifica que o equipamento começa apresenta de forma repetitiva respingos de solda, coloca o cartão com a face vermelha visível, registando a data e hora da ocorrência (Figura 77).

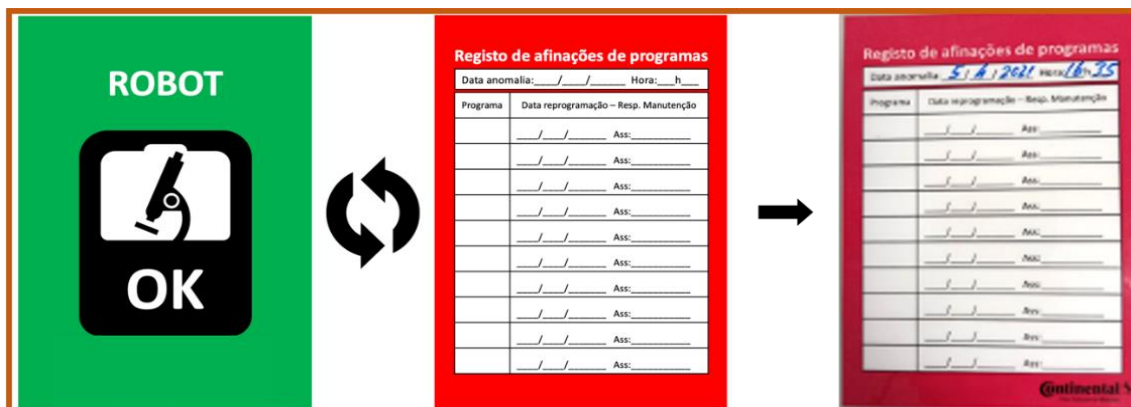


Figura 77 - Cartão de registo

O técnico deve fazer as afinações mecânicas e de software necessárias e posteriormente registrar o dia em que a intervenção foi feita e assinar (Figura 78).

Figura 78 - Cartão de Registo

Por fim, o técnico deve colocar o cartão com a face verde visível (Figura 79).

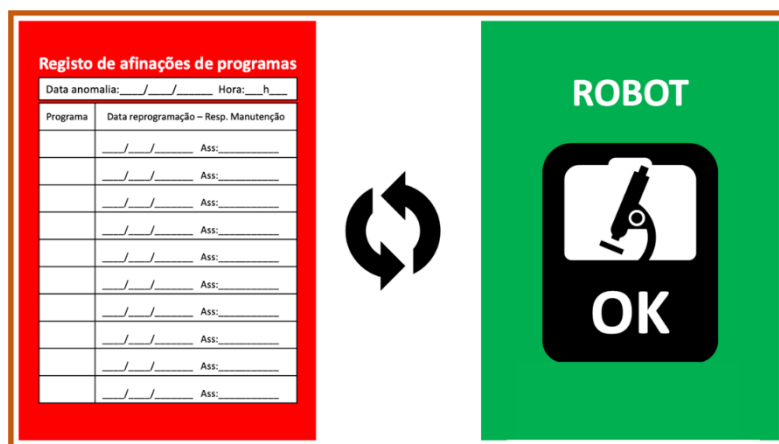


Figura 79 - Cartão de Registo

Os valores acima do limite detetados para as partículas não metálicas deveu-se a um pedaço da esponja de limpeza do bico de solda que se soltou e foi projetada até a *trap*.

Face a isto, foram tomadas medidas para evitar que a situação se repetisse novamente. As soluções tomadas foram:

- Substituição da esponja por outra de qualidade superior;
- A esponja era trocada de dois em dois meses e passou a ser trocada de mês a mês;
- Reposicionamento do sistema de limpeza do bico do robot;
- Colocação de um acrílico, para impedir a projeção de partículas durante a limpeza do bico de solda, de forma a existir uma separação entre uma zona limpa e uma zona suja.

Procedeu a uma auditoria 5S, que se encontra no anexo 6.1, com o intuito de caracterizar o estado atual do posto de trabalho. O valor resultante dessa auditoria foi de 66 %, numa escala de 0 % a 100 %.

Com os problemas identificados durante a auditoria, e com o intuito de aumentar o valor percentual na próxima auditoria, o autor com ajuda do departamento da qualidade, realizou uma formação de 5S destinada a todos os operadores do posto de soldadura.

A resolução das inúmeras falhas identificadas na auditoria, ficou ao encargo do autor, do departamento de qualidade, do departamento da manutenção e dos operadores.

Após três semanas da formação, foi realizada uma nova auditoria, que se encontra no anexo 6.2, que alcançou o resultado de 88 %.

Contudo persistia o problema da elevada sujidade na bancada de trabalho, nas bases de soldadura e da inexistência de um plano de limpeza para o robot.

Para a resolução deste problema, foi definido e implementado um plano de limpeza, que se encontra no anexo 6.3, para minimizar a produção e propagação das partículas metálicas e não metálicas, não só provenientes do processo de soldadura, mas também de outras fontes de contaminação.

3.4.3 Implementação de melhorias nas Fresas

No caso da fresa realizou-se uma auditoria 5S, que se encontra no anexo 6.4, e o resultado foi de 50 %.

Posteriormente, seguindo o que foi feito para o robot de soldadura Nº 4, após três semanas da formação, foi realizada uma nova auditoria, que se encontra no anexo 6.5, que alcançou o resultado de 70 %.

Contudo a inexistência de um plano de limpeza revelava-se preocupante ao nível das contaminações por partículas e acumulação de sujidade.

Para a resolução deste problema, foi definido e implementado um plano de limpeza, com ajuda visual, para minimizar a produção e propagação das partículas metálicas e não metálicas, não só provenientes do processo, mas também de outras fontes de contaminação (Figura 80).

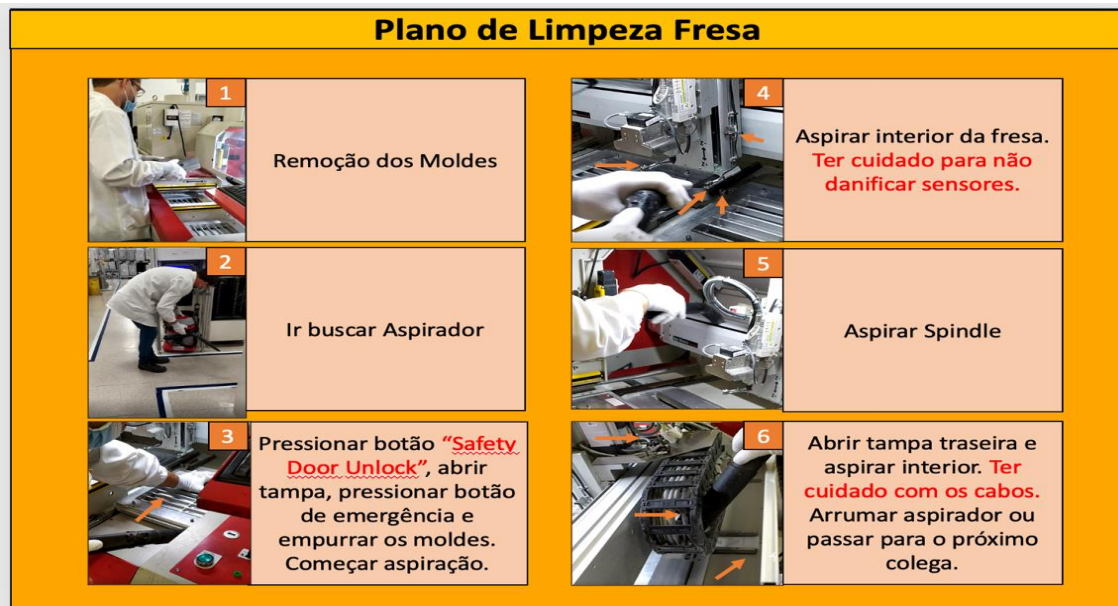


Figura 80 - Plano de limpeza da fresa

Antes do início de cada turno, o operador das fresas deve verificar em que área se encontra o íman. Caso verifique que o colega do turno anterior, colocou o íman na área verde, pode dar início aos trabalhos. Mas caso verifique que o íman está na área vermelha, necessita de proceder a limpeza do equipamento segundo o plano definido (Figura 81).

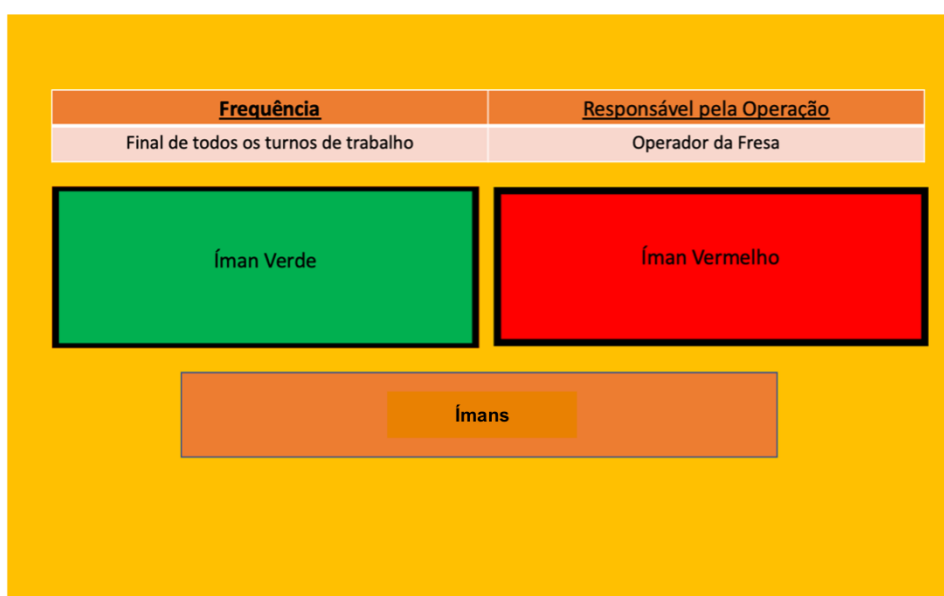


Figura 81 - Ajuda visual do Plano de Limpeza Fresa

Após um mês de espera, para que todas as propostas de melhoria produzissem efeitos, os processos de soldadura e fresagem foram novamente analisados, para as partículas metálicas (Figura 82) e não metálicas (Figura 83). Os resultados foram substancialmente melhores do que na primeira análise.

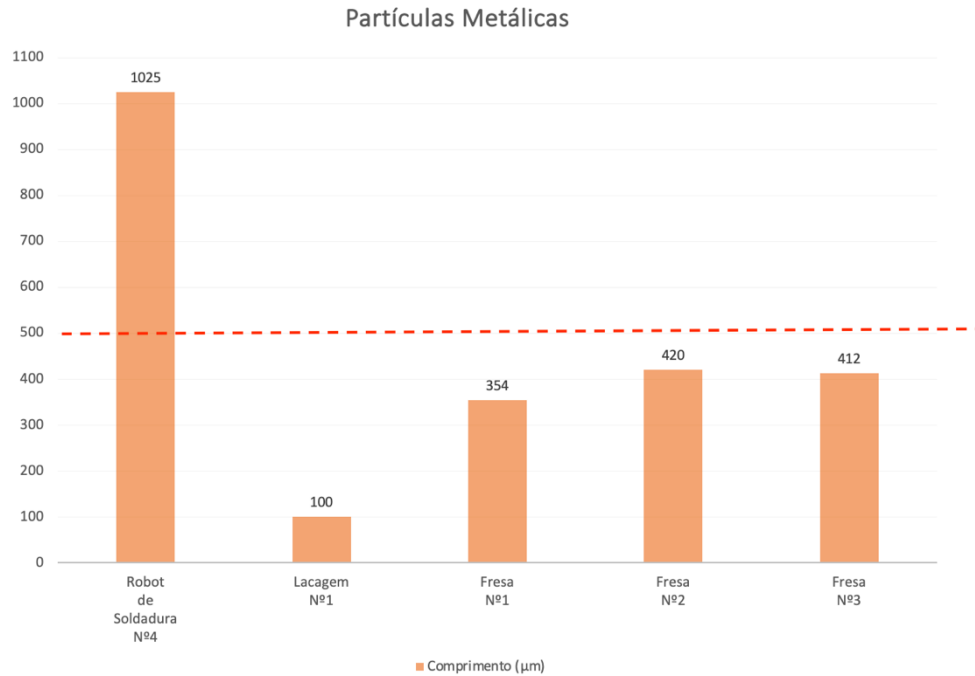


Figura 82 - Resultados das partículas metálicas após implementação de melhorias no Parque de Máquinas

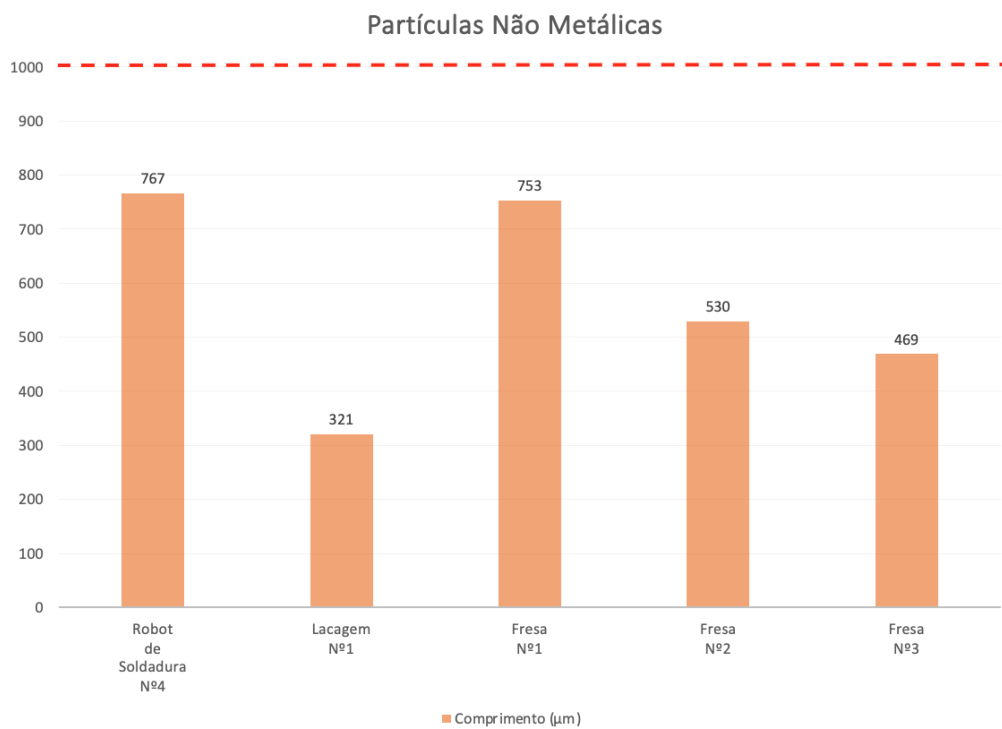


Figura 83 - Resultados das partículas não metálicas após implementação de melhorias no Parque de Máquinas

3.4.4 Implementação de melhorias nos postos de trabalho da linha MRA

Como proposta de melhoria aos problemas identificados na fase de caracterização e análise, descritos no subcapítulo 3.3.4, foi elaborado e implementado um plano de manutenção autónoma, um dos pilares da metodologia TPM.

Apesar dos resultados da análise só terem apresentados valores acima do *target* nos postos 2,3 e 4, os restantes postos da linha, também irão ser alvo desta melhoria, na tentativa de se reduzir a quantidade de partículas metálicas e não metálicas, as contaminações cruzadas e acumulação de sujidade ao longo de toda a linha.

Foi organizada uma formação, com um operador de cada turno, um supervisor da linha e um elemento do departamento da qualidade e do departamento da manutenção.

O objetivo foi dotar os participantes com conhecimentos gerais sobre a metodologia TPM, e de forma mais aprofundada, sobre a manutenção autónoma. Nesta formação foram abordados vários temas como:

- Definição e distribuição de tarefas no plano de manutenção autónoma, sendo que as tarefas de limpeza ficam a cargo dos operadores da linha e têm uma duração de 4 minutos no final de cada turno;
- Procedimento de como realizar as tarefas de limpeza.

Como resultado desta atividade surgiu um plano de manutenção autónoma, representado na Figura 84, para a linha do MRA.

Operador	Tempo Gasto (estimado)	Tarefas
OP1	04:00	Aspirar P1, P2, P3, P4 e Câmara de Teste
OP2	03:30	Limpeza P1 e Robot
OP3	03:00	Limpeza P2 e P3
OP4	02:00	Limpeza P4
OP5	02:00	Limpeza P5, Registo e indicadores
Tempo Necessário p/ TPM - 4 min		

1 min		2 min		3 min		4 min	
Aspirar Posto 1	Aspirar Posto 2	Aspirar Posto 3	Aspirar Posto 4	Aspirar Câmara teste			
A produzir	Limpeza Posto 1	Verificar Bico de Solda. Limpeza do robot					
A produzir	Limpeza Posto 2		Limpeza Posto 3				
A produzir			Limpeza Posto 4				
A produzir			Limpeza Posto 5, Registo e indicadores				

Figura 84 - Plano de manutenção autónoma

Após dois mês da implementação do plano de manutenção autónoma, foi realizada uma nova análise a todos os postos da linha. Os valores das partículas metálicas (Figura 85) e não metálicas (Figura 86) estão relativamente mais baixos do que na primeira análise.

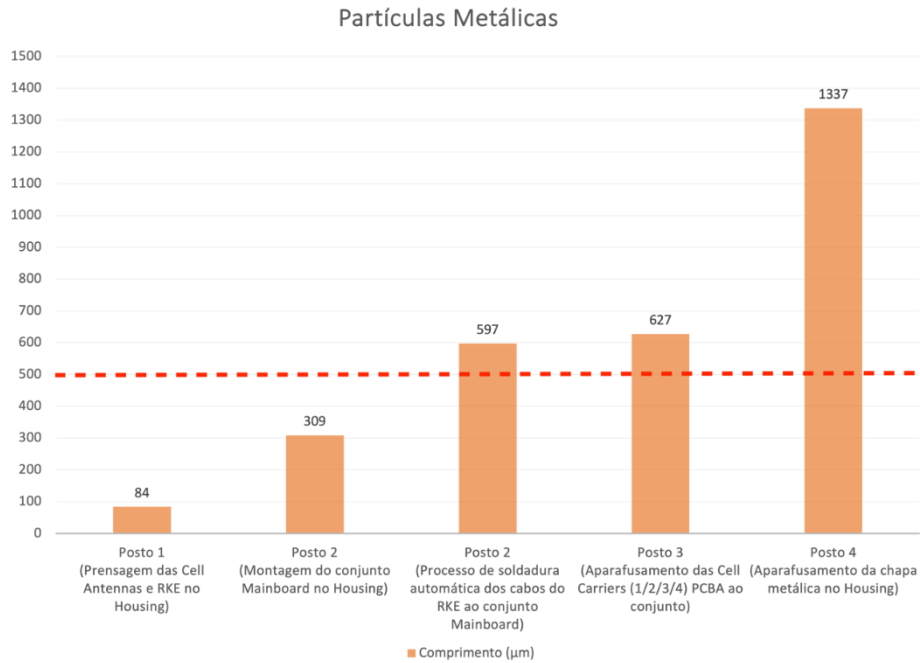


Figura 85 - Resultados das partículas metálicas após implementação de melhorias na linha MRA

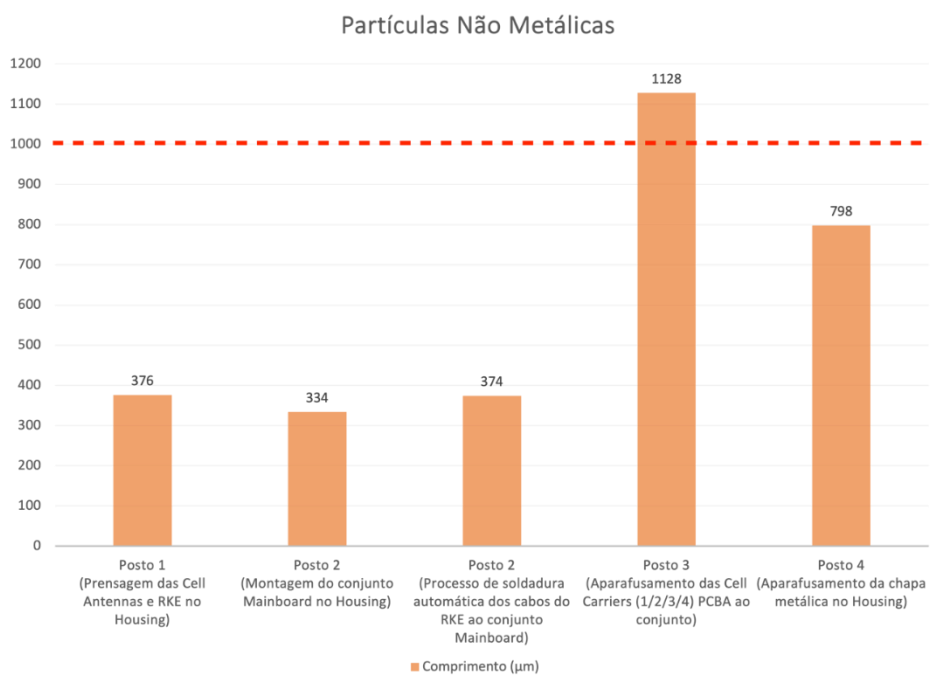


Figura 86 - Resultados das partículas não metálicas após implementação de melhorias na linha MRA

3.4.5 Implementação de melhorias nos carrinhos de transporte da linha MRA

A partir dos problemas identificados no subcapítulo 3.3.4.1.1, um plano de limpeza dos carrinhos, representado na Figura 87, foi desenvolvido e implementado com o intuito de prevenir e remover a elevada sujidade em todas as superfícies dos carrinhos e também para travar a cadeia de propagação de partículas metálicas e não metálicas por toda a linha.



Figura 87 - Plano de limpeza dos carrinhos

Ficou definido que a limpeza é feita por uma equipa externa à linha. Ao longo do dia, essa equipa irá recolher os carrinhos no posto 2 e devolvê-los limpos à produção no posto 4. O objetivo é que sejam limpos, por dia 4 carrinhos, ficando a limpeza de todos os carrinhos em circuito concluída ao fim de 3 dias. O fluxo está representado na Figura 88.

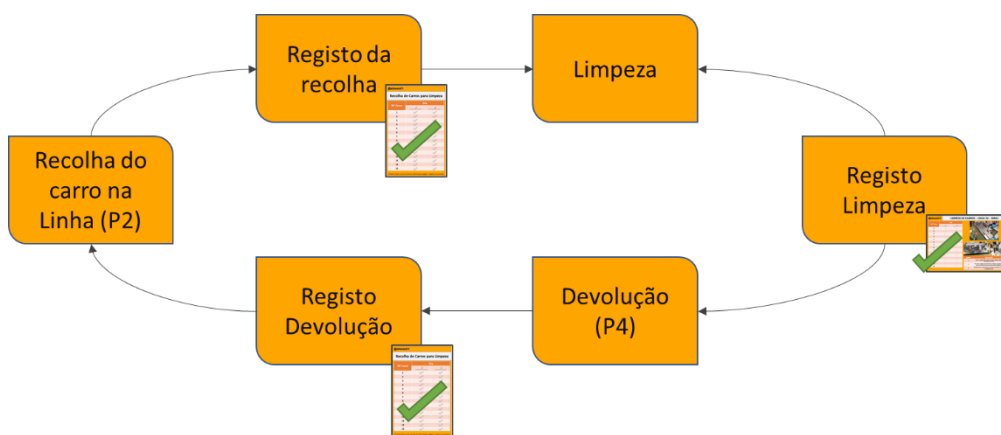


Figura 88 - Fluxo do processo de limpeza dos carrinhos

Existem tabelas de controlo na linha e na zona de limpeza dos carrinhos de transporte, onde é feito o registo dos carrinhos aquando da sua passagem pelas etapas. As tabelas servem para se saber em qualquer momento:

- Quais os carrinhos que já foram limpos no dia (Figura 89);
- Quantos carrinhos existem na fábrica e quais estão disponíveis na linha (Figura 90);
- Que carrinhos devem ser recolhidos para a próxima limpeza.

Recolha de Carros para Limpeza					
Nº Carro	Dia				
	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	✓
12	✓	✓	✓	✓	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✓	✓
15	✓	✓	✓	✓	✓

NOTA: O mesmo carro deve ser limpo de 3 em 3 dias.

Figura 89 – Exemplo do preenchimento da tabela de recolha de carrinhos da linha

TABELA DE CONTROLO - CARRINHOS MRA			
Nº Carro	SITUAÇÃO		
	EM LÍNEA	MANUTENÇÃO	OUTROS
1	×		
2	×		
3	×		
4		×	
5	×		
6		×	
7	×		
8	×		
9	×		
10	×		
11	×		
12	×		
13	×		
14	×		
15		×	

Figura 90 - Tabela de controlo dos carrinhos existentes na fábrica

3.4.6 Implementação de melhorias no plano de entrega e uso das luvas ESD

A partir da análise feita no subcapítulo 3.3.4.1.2 foi possível observar que os postos 2 e 3 eram os que mais contribuíam para a contaminação das luvas, algumas medidas de melhoria foram implementadas com o objetivo de diminuir a acumulação de sujeira nas luvas dos operadores e conseqüentemente reduzir a propagação e transmissão de partículas metálicas e não metálicas para os componentes da peça ao longo de toda a linha de montagem.

É necessário realçar que os postos 2 e 3 são os que mais atenção requerem ao nível de contaminações por partículas metálicas, uma vez que, é nestes postos, que os PCBA são montados.

Ficou definido que à entrada desses dois postos, os operadores teriam de trocar sempre as luvas por outro novo par de luvas ESD, sem borracha nas pontas e palmas da mão. A ausência de borracha reduz substancialmente a propagação e acumulação de partículas metálicas, partículas não metálicas e sujeira.

À entrada do posto 4, ficou definido que, o operador terá de usar luvas de nitrilo por cima da luva ESD, uma vez que, como é um posto de aparafusamento manual, as luvas acabavam por ficar sujas e contaminadas com partículas, devido à necessidade que o operador tem de manusear os parafusos.

3.4.7 Implementação de melhorias no sistema de aparafusamento da linha MRA

O alimentador de parafusos acumula uma enorme quantidade de partículas metálicas, que na sua maioria, são provocadas pelo choque entre os parafusos, durante o transporte do fornecedor até à linha. Para minimizar esta geração de partículas metálicas foram tomadas as seguintes medidas:

- Os parafusos passaram a ser transportados, desde o fornecedor até à linha, em embalagens de vácuo, impedido desta forma que batam uns nos outros e causem a libertação de partículas metálicas;
- Definido e implementado um plano de limpeza do alimentador de parafusos que consiste em retirar os parafusos para um recipiente limpo, fazer aspiração do alimentador e dos parafusos retirados, voltando a colocá-los dentro do alimentador. Este processo de limpeza ficou definido ser feito todas as segundas-feiras, no final do turno da manhã.

Perante a situação de desperdício de parafusos no pelo chão, bancada de trabalho e equipamentos do posto 3 e também por toda a linha, a medida de melhoria implementada consistiu na colocação de um recipiente ao lado do equipamento, para

que os operadores pudessem proceder ao desencravamento da máquina sem que nenhum parafuso fosse desperdiçado (Figura 91).

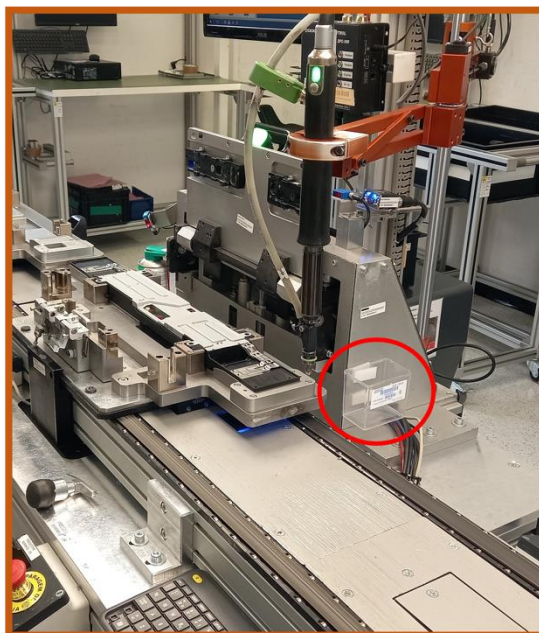


Figura 91 - Aparafusadora com recipiente para parafusos descartados

Ao fim de uma semana, os parafusos descartados são aspirados, para remover as partículas metálicas que possam ter sido libertadas, devido ao choque entre parafusos, aquando estes são expelidos para dentro do recipiente. Posteriormente à aspiração, voltam a ser colocados no alimentador, sendo desta forma reaproveitados.

Para reforçar a importância desta medida, foi colocado um recipiente vazio com um período de exposição de sete dias.

No final da exposição foi possível verificar que o recipiente continha 364 parafusos descartados. O custo unitário de cada parafuso é de 0,2 €.

Sendo assim, foi possível proceder ao cálculo do custo, representado na Figura 92, que a empresa teria ao fim de um ano, se os parafusos não fossem reaproveitados.

Custo do Desperdício de Parafusos			
Nº de parafusos por dia	Nº de parafusos por semana	Nº de parafusos por mês	Nº de parafusos por ano
52	364	1456	18 980
Custo por dia	Custo por semana	Custo por mês	Custo por ano
11 €	73 €	292 €	3 796 €

Figura 92 - Custo do Desperdício de Parafusos

3.4.8 Implementação de melhorias no sistema de abastecimento das caixas dos postos de trabalho da linha MRA

O desenvolvimento e a implementação de um sistema *Kanban*, para dar resposta aos problemas identificados no subcapítulo 3.3.4.1.4, pretende:

- Garantir que as caixas que entram na linha não contém qualquer tipo de sujidade;
- Garantir a disponibilidade de caixas limpas e lavadas;
- Garantir autonomia da equipa de lavagem;
- Garantir um melhor fluxo de informação.

A dinâmica deste sistema é realizada num quadro de *kanbans* e não nas paletes. Cada *Kanban* representa uma paleta de caixas. Para as referências de caixas em estudo, cada paleta tem uma quantidade igual a 60 caixas, onde existem duas situações (Figura 93):

- São consideradas limpas: se for descolado a etiqueta do cliente e forem limpas com um pano;
- São consideradas lavadas: Se forem lavadas com água e produto de limpeza numa máquina automática.

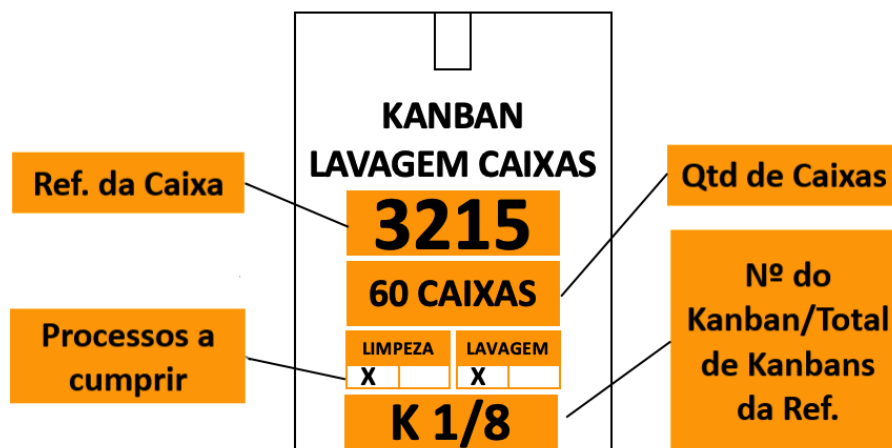


Figura 93 - Descrição do *Kanban*

Os *Kanbans* deste sistema não acompanham as caixas nem são colocados nas paletes, são geridos e movimentados através de um quadro, que se encontra de forma esquematizada na Figura 94.

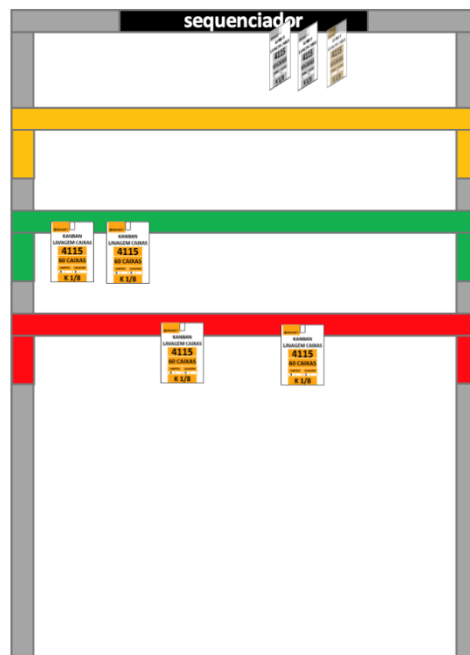


Figura 94 - Esquema do quadro *Kanban*

A estrutura do quadro é apresentada na Figura 95.

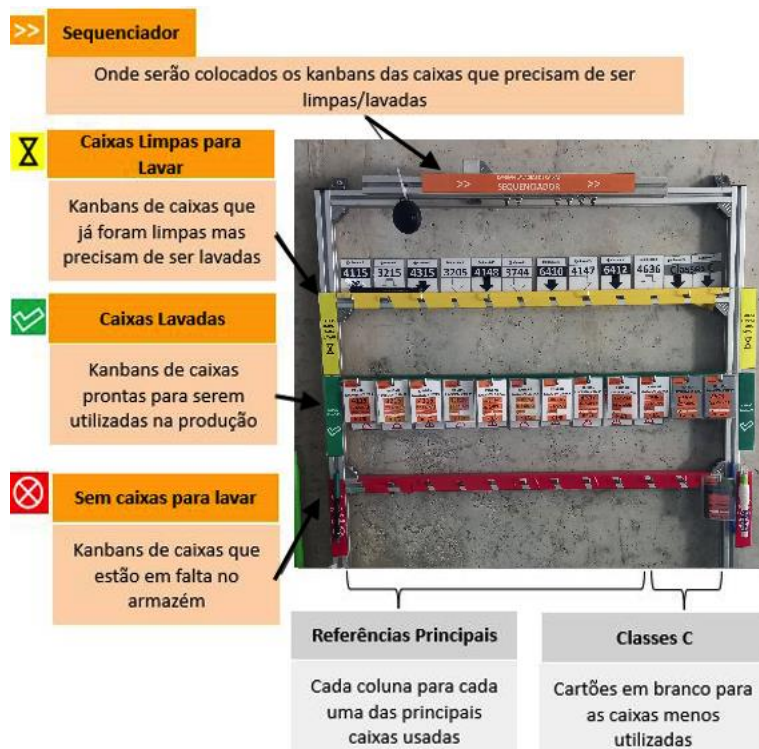
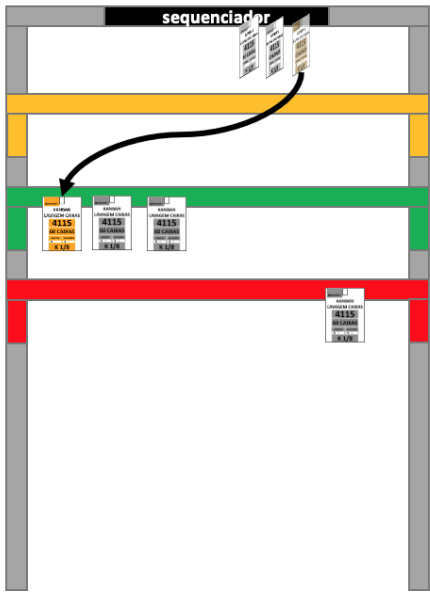
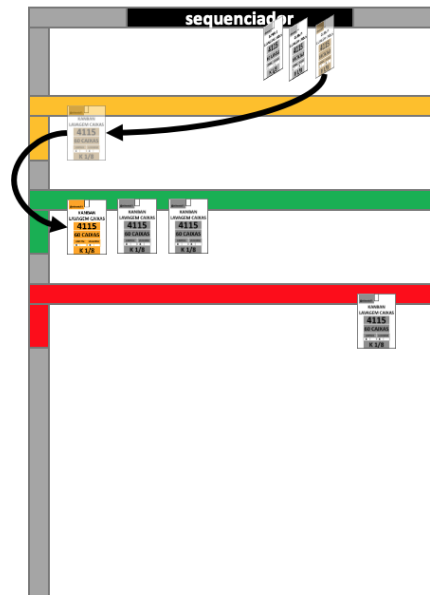


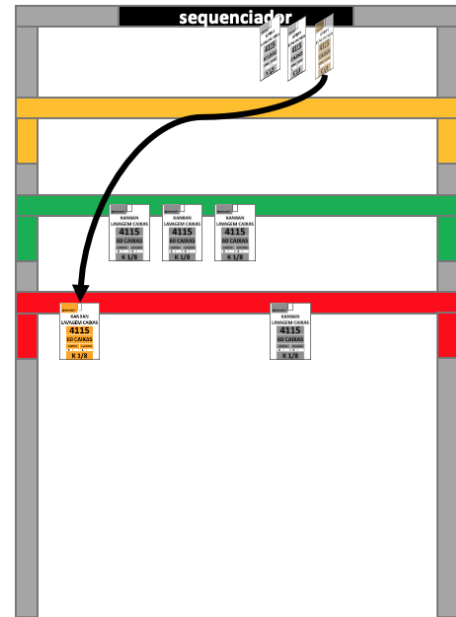
Figura 95 - Estrutura do quadro *Kanban*

O quadro *Kanban*, representado na Tabela 17, tem um funcionamento simples e intuitivo.

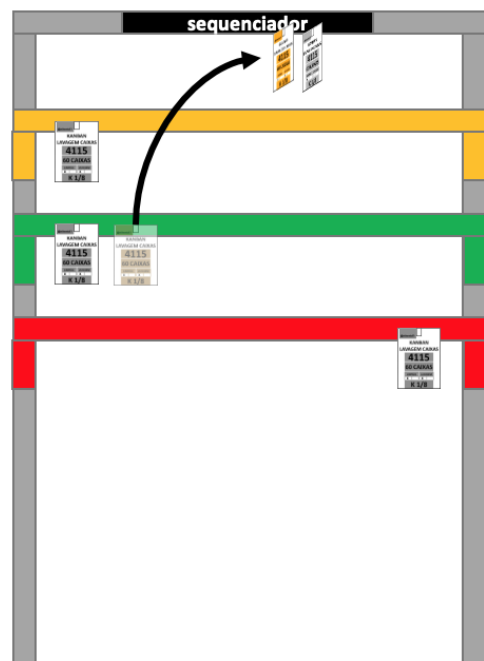
Tabela 17 - Funcionamento do quadro *Kanban*

Descrição do funcionamento	Esquema
<p>Quando o operador da equipa de lavagem inicia o dia de trabalho, dirige-se ao quadro e retira o primeiro cartão que se encontra do lado direito do sequenciador.</p> <p>Se as caixas forem só lavadas (caixas que não são limpas) o <i>kanban</i> deve ser retirado do sequenciador e colocado na área verde.</p>	 <p>O diagrama mostra um quadro Kanban com uma estrutura de barras horizontais coloridas: amarela no topo, verde no meio e vermelha na base. No topo, há uma seção rotulada 'sequenciador' com cartões pendurados. Uma seta curva indica a remoção de um cartão amarelo da área verde para a área amarela.</p>
<p>No caso das caixas serem limpas e lavadas, o <i>kanban</i> deve ser colocado na área amarela, enquanto estão a ser limpas. Antes do operador iniciar o processo de lavagem deve colocar o <i>kanban</i> na área verde.</p>	 <p>O diagrama mostra o mesmo quadro Kanban. Uma seta curva indica a colocação de um cartão amarelo na área verde a partir da área amarela.</p>

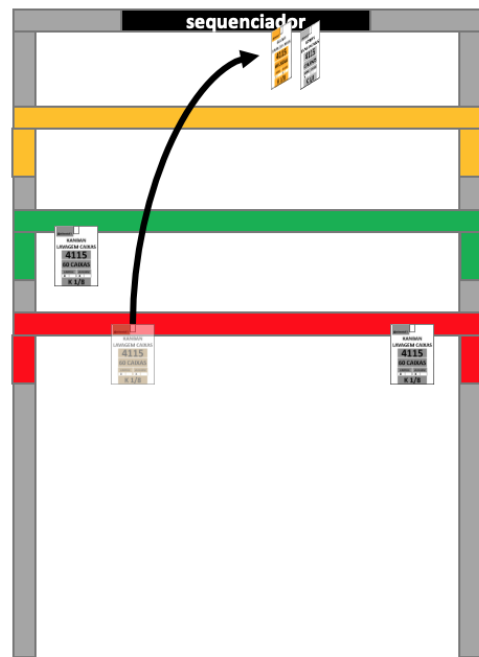
Caso não existam caixas para lavar no armazém, o operador deve pegar no *kanban* referente que está presente no sequenciador e colocá-lo na área vermelha.



No momento em que o colaborador do departamento de logística se dirigir ao armazém para ir buscar uma determinada referência de caixa, deve retirar o *kanban* de acordo com o tipo de caixa que leva e colocá-lo na área do sequenciador.



Os *kanban* que se encontram presentes na área vermelha, devem ser colocados na área do sequenciador, quando as caixas chegam ao armazém.



Os seguintes dados foram recolhidos para a realização do cálculo do número de *Kanbans*, de acordo com a Tabela 18:

Tabela 18 - Dados para cálculo do número de *Kanbans*

Cálculo Kanbans								
Embalagem	Procura	Procura/Semana	Procura/Dia	Lead Time	Quantidade/Paleta	Tempo de Reposição	Fator de Segurança	Paleta/Dia
X	115141	1919	384	1	60	24 Horas	10%	6

O cálculo do número de *kanbans* foi feito para a referência da caixa com maior procura, de forma a satisfazer um dia de produção e o número de caixas por paleta. Através da Equação 2 foi calculado o número de *kanbans*:

$$N^{\circ} \text{ de Kanbans} = \frac{384 * 1 * (1 + 0,10)}{60} = 7 \text{ Kanbans}$$

Equação 2 - Número de *Kanbans*

A procura de paletes por dia é dada pela procura/dia a dividir pela quantidade /paleta, dando um resultado de 6 paletes. Como o valor do *Kanban* é maior do que a necessidade de paletes por dia, garante-se que todas as caixas da referência X que entram na linha são limpas ou lavadas.

3.4.9 Implementação de melhorias no sistema das caixas do produto final

Para dar resposta ao problema identificado no subcapítulo 3.3.4.1.5, relacionado com o armazenamento intermédio das caixas do produto final, enquanto aguardam para entrarem no processo de inspeção, foi implementado um sistema FIFO (*first in, first out*) como se pode verificar na Figura 96.

Como a média de produção na linha MRA por cada turno nunca transcende as 6 caixas, o sistema foi idealizado para a colocação de 7 caixas, ficando com margem de segurança de uma caixa.

A parte de cima da estrutura, representada na Figura 96, tem um ângulo de inclinação do ponto A para o ponto B, o que permite, ao operador do posto 5 colocar a caixa fechada (Ponto A) e esta deslizar até a ponta da estrutura (Ponto B), e assim sucessivamente com as restantes caixas.

O operador do processo de inspeção, recolhe as caixas no ponto B, garantindo que a ordem de produção é respeitada.

A parte de baixo da estrutura apresenta um ângulo de inclinação, mas no sentido contrário ao da parte de cima. Neste caso a inclinação é feita do ponto C para o ponto D, de forma, a que o operador da logística faça o abastecimento das caixas vazias no ponto C e estas deslizem até ao ponto D onde são serão utilizadas no posto 5.



Figura 96 - Sistema FIFO

3.4.10 Implementação de melhorias na quantidade de partículas do ar

Está representado na Tabela 19, o número de pontos medidos nos quais as quantidades de partículas do ar excederam os limites de classificação da ISO 9.

Tabela 19 - Quantidade de pontos medidos vs Quantidade de pontos que excederam os limites da ISO 9

Local	Pontos medidos	Pontos classificados como ISO 9	Pontos fora da classificação ISO 9
SMT	62	60	2
Parque de Máquinas	26	6	20
Linha MRA	19	19	0

Face a esta situação, foram implementadas medidas na tentativa de reduzir a quantidade de partículas para valores que permitam a classificação de ISO 9.

3.4.10.1 Quantidade de partículas do ar no SMT

No caso dos dois pontos que excediam os limites para a classe de partículas de 0,5 μm e 1 μm verificou-se que a causa residia no fato de uma das portas da antecâmara estar aberta, devido a procedimentos de higiene e segurança por causa da Covid-19. De forma a resolver este problema, foi implementado à entrada e à saída da antecâmara, um sistema de botões, que permite a abertura das portas sem ser necessário pressionar com a mão (Figura 97).

Para tentar reduzir a entrada de partículas contaminantes para uma área tão crítica como o SMT, independentemente de estar a entrar ou a sair do SMT ou PM, nunca se consegue abrir as duas portas em simultâneo, ou seja, é necessário esperar que uma feche para a outra abrir.

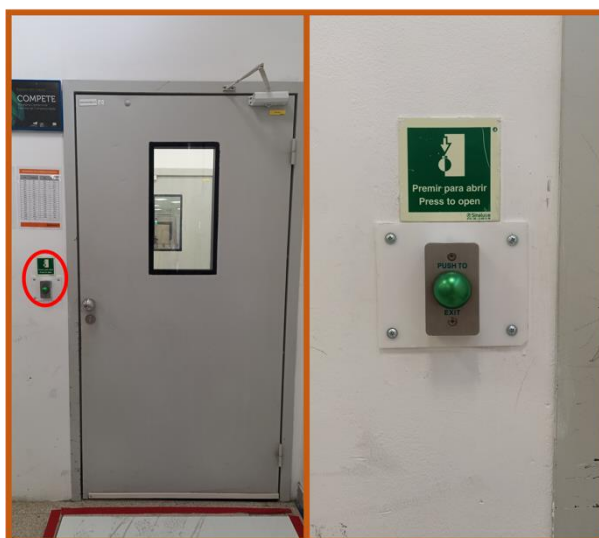


Figura 97 - Sistema de abertura das portas

Esta medida permite o cumprimento das regras de segurança e saúde pública estipuladas por causa da Covid-19 e garante que a antecâmara fica fechada. Posteriormente, o espaço foi aspirado e realizaram-se novamente medições ao ar. Os resultados estão representados na Tabela 20 .

Tabela 20 - Valores das novas medições com medidas corretivas no SMT

Nova medições com medidas corretivas												
Local	Período de medição	Volume de medição	Unidades	Concetração	0,5um	0,5um (VLE sala limpa)	1,0um	1um (VLE sala limpa)	5,0um	5um (VLE sala limpa)	Classe ISO	Melhorou/Piorou
Ponto 1	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	25 769 012	35 200 000	7 424 119	8 320 000	90 066	293 000	ISO 9	Melhorou
Ponto 2	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	16 053 230	35 200 000	5 221 674	8 320 000	120 575	293 000	ISO 9	Melhorou

3.4.10.2 Quantidade de partículas do ar no Parque de Máquinas

O Parque de Máquinas, como não é uma zona tão crítica na produção de antenas, também não tem a mesma exigência de prevenção e controlo de partículas do ar como o SMT. Nesta área foram identificados vinte pontos que excediam os limites da ISO 9. Apesar das causas identificadas, serem diferentes entre os pontos críticos, as medidas de melhorias foram aplicadas em toda a área, e foram as seguintes:

- Aumento para o dobro da frequência de limpeza do chão da fábrica
- Substituição dos filtros do ar condicionado
- Limpeza dos equipamentos e estantes a toda a volta
- Limpeza das janelas e beiras
- Substituição de paletes velhas e sujas por novas.

Após as medidas implementadas realizaram-se de novo medições. Os resultados estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores das novas medições com medidas corretivas no Parque de Máquinas

Nova medições com medidas corretivas												
Local	Período de medição	Volume de medição	Unidades	Concetração	0,5um	0,5um (VLE sala limpa)	1,0um	1um (VLE sala limpa)	5,0um	5um (VLE sala limpa)	Classe ISO	Melhorou/Piorou
Ponto 92	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	55 195 408	35 200 000	7 526 855	8 320 000	83 039	293 000	Sem escala	Piorou
Ponto 93	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	76 951 592	35 200 000	10 622 968	8 320 000	72 085	293 000	Sem escala	Manteve
Ponto 94	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	65 779 860	35 200 000	8 757 244	8 320 000	74 558	293 000	Sem escala	Piorou
Ponto 95	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	51 601 060	35 200 000	6 805 301	8 320 000	69 965	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 97	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	34 826 148	35 200 000	4 670 318	8 320 000	54 417	293 000	ISO 9	Melhorou
Ponto 98	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	60 639 224	35 200 000	7 783 746	8 320 000	54 417	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 99	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	66 613 428	35 200 000	9 186 572	8 320 000	105 654	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 100	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	77 660 776	35 200 000	10 599 647	8 320 000	85 159	293 000	Sem escala	Piorou
Ponto 101	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	65 490 460	35 200 000	8 746 643	8 320 000	84 806	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 102	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	46 400 352	35 200 000	6 255 477	8 320 000	126 502	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 103	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	64 645 228	35 200 000	8 575 265	8 320 000	69 965	293 000	Sem escala	Piorou
Ponto 104	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	47 481 980	35 200 000	6 279 506	8 320 000	99 647	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 105	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	45 926 148	35 200 000	6 145 230	8 320 000	112 014	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 106	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	47 701 060	35 200 000	6 287 279	8 320 000	63 958	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 107	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	58 967 844	35 200 000	7 867 491	8 320 000	97 880	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 108	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	53 209 892	35 200 000	6 741 696	8 320 000	80 919	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 109	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	44 826 148	35 200 000	5 897 527	8 320 000	69 611	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 110	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	52 002 828	35 200 000	6 616 608	8 320 000	79 152	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 111	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	42 281 624	35 200 000	5 150 177	8 320 000	73 498	293 000	Sem escala	Melhorou
Ponto 112	00:01:00	2,83	L	Counts/M3	42 359 012	35 200 000	5 165 018	8 320 000	69 611	293 000	Sem escala	Melhorou

3.5 Avaliação das Melhorias Implementadas

A Tabela 22 apresenta de forma resumida os efeitos das medidas implementadas.

Tabela 22 -Resumo das medidas implementadas

Localização do problema	Causa do problema	Correção do problema	Antes da implementação de melhorias	Depois da implementação de melhorias
Linha 3 (SMT)	Desperdício de componentes elétricos	Manutenção Corretiva	3 750 componentes eletrónicos desperdiçados.	Entre 0 e no máximo 50 componentes desperdiçados.
		Manutenção Preditiva		
		Gestão visual	Custo: 1 875 €.	Custo: Entre 0 e no máximo 25 €.
Robot de Soldadura Nº4 (Parque de Máquinas)	Elevado valor das partículas metálicas e não metálicas		Partícula Metálica = 1 947 µm	Partícula Metálica = 1 025 µm
		Gestão visual	Partícula Não Metálica = 1 870 µm	Partícula Não Metálica = 767 µm
		Plano de limpeza	Auditoria 5S = 66 %	Auditoria 5S = 87 %
		5S	Inexistência de um plano de limpeza do Robot	Desenvolvimento e implementação de um plano de limpeza do Robot
Fresa Nº3 (Parque de Máquinas)	Elevado valor das partículas metálicas	Plano de limpeza Gestão visual 5S	Partícula Metálica na fresa Nº3 = 605 µm	Partícula Metálica na fresa Nº3 = 412 µm

			Média das Partículas Metálicas em todas as fresas = 464 μm	Média das Partículas Metálicas em todas as fresas = 394 μm
			Média das Partículas não Metálicas em todas as fresas = 616 μm	Média das Partículas não Metálicas em todas as fresas = 584 μm
			Auditória 5S = 50 %	Auditória 5S = 70 %
			Inexistência de um plano de limpeza da fresa	Desenvolvimento e Implementação de um plano de limpeza da fresa
			Média das Partículas Metálicas em toda a linha = 742 μm	Média das Partículas Metálicas em toda a linha = 591 μm
			Média das Partículas não Metálicas em toda a linha = 834 μm	Média das Partículas não Metálicas em toda a linha = 602 μm
Posto 2 (Processo de soldadura), Posto 3 e Posto 4 (Linha MRA)	Elevado valor das partículas metálicas e não metálicas	TPM	Partícula metálica no Posto 2 = 615 μm	Partícula metálica no Posto 2 = 597 μm
			Partícula Metálica no Posto 3 = 855 μm	Partícula Metálica no Posto 3 = 627 μm

			Partícula Metálica Posto 4 = 1779 µm	Partícula Metálica Posto 4 = 1 337 µm
			Partícula Não Metálica Posto 3 = 1 090 µm	Partícula Não Metálica Posto 3 = 1 128 µm
			Partícula Não Metálica Posto 4 = 1 459 µm	Partícula Não Metálica Posto 4 = 798 µm
Carrinhos da Linha (Linha MRA)	Elevada sujidade e transporte de partículas metálicas e não metálicas	Plano de limpeza Gestão visual	Inexistência de um plano de limpeza	Desenvolvimento e implementação de um plano de limpeza dos carrinhos
Luvras ESD (Linha MRA)	Acumulação, transporte e transferência de sujidade	Redefinição do plano de entrega e uso das luvras ESD	Uso do mesmo par de luvras em todos os postos	Substituição do par de luvras à entrada dos postos sensíveis e à saída dos postos críticos
Sistemas de aparafusamento (Linha MRA)	Desperdícios de parafusos e propagação de partículas metálicas	Plano de limpeza Recipiente para parafusos 5S	Alimentador de parafusos acumula uma grande quantidade de partículas metálicas e sujidade O transporte de parafusos feito sem critério causando libertação de partículas metálicas	Desenvolvimento e implementação de um plano de limpeza do alimentador de parafusos Transporte dos parafusos feito em vácuo desde o fornecedor até à linha

			18 980 parafusos desperdiçados por ano	Aproveitamento na totalidade dos 18 980 parafusos desperdiçados, permitindo uma poupança de 3 796 € por ano.
Caixas de abastecimento dos postos de trabalho (Linha MRA)	Elevada sujidade por dentro e fora das caixas	<i>Kanban</i>	Falhas de abastecimento de caixas limpas ou lavadas Reduzida autonomia da equipa de lavagem Informação insuficiente Espaço útil do armazém desperdiçado Retorno ineficaz das caixas Inexistência de sistemas de controlo de caixas lavadas	Garantia de entrada na linha de caixas limpas ou lavadas Garantia da disponibilidade de caixas limpas ou lavadas Garantia do aumento da autonomia da equipa de limpeza e lavagem Melhoramento do fluxo de informação
Caixas do produto final (Linha MRA)	Caixas empilhadas e pousadas no chão	FIFO	Caixas do produto final empilhadas e colocadas no chão sem ordem de fabrico	Local apropriado para a colocação por ordem de fabrico das caixas de produto final

			Caixas vazias colocadas no chão	Local apropriado para abastecimento de caixas vazias
Análise às partículas do ar (SMT, Parque de Máquinas e MRA)	Valor fora dos limites estipulados pela ISO 9	Plano de limpeza e manutenção	Valores no SMT acima do limite para a concertação das partículas do ar	Instalação de sistema de abertura e fecho de portas da antecâmara
			Valores no PM acima do limite para a concentração das partículas do ar	Implementação de medidas corretivas de limpeza e circulação do ar no PM

Por fim, para se garantir que não só individualmente, mas considerando as melhorias propostas de forma conjunta, após todas as melhorias referidas na Tabela 22 estarem implementadas e bem enraizadas, selecionou-se aleatoriamente uma das inúmeras antenas produzidas pelo processo produtivo aqui estudado, com o objetivo de se fazer uma análise completa ao produto final. A peça foi dividida em duas partes (Figura 98):

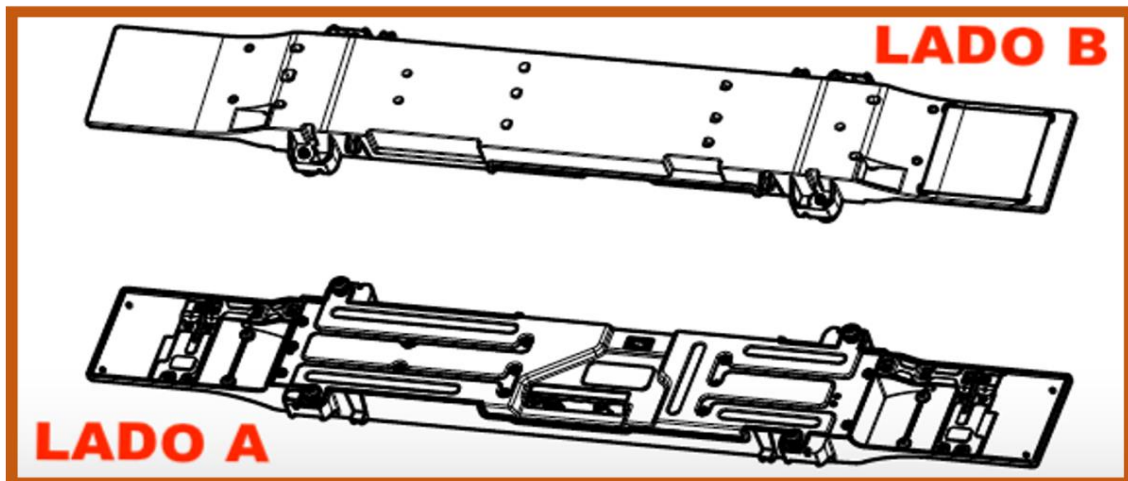


Figura 98 - Divisão do Produto Final em duas partes

- No lado A o PCBA, quando a antena é montada no veículo, fica virado para cima, o que permite definir o lado A como uma área crítica, uma vez que, a posição de montagem provoca a retenção de partículas.
- No lado B o PCBA, quando antena é montada, fica virado para baixo e por efeito da gravidade, as partículas capazes de causar algum tipo de dano, devido ao seu tamanho, acabam por cair.

A antena foi retirada de uma caixa do produto final que se encontrava no armazém de expedição. Foi enviada para o laboratório, o qual realizou a análise de acordo com os requisitos da VDA 19.1 e da norma ISO 16232:2018, cujo resultados estão apresentados nas Figura 99 e Figura 100.

Percebe-se que tanto as partículas metálicas como as não metálicas encontram-se dentro dos padrões estipulados, comprovando que as melhorias implementadas, em conjunto, atingiram o seu resultado de diminuir a contaminação presente nas antenas.

A Figura 99 apresenta os resultados do processo de análise para as partículas metálicas.

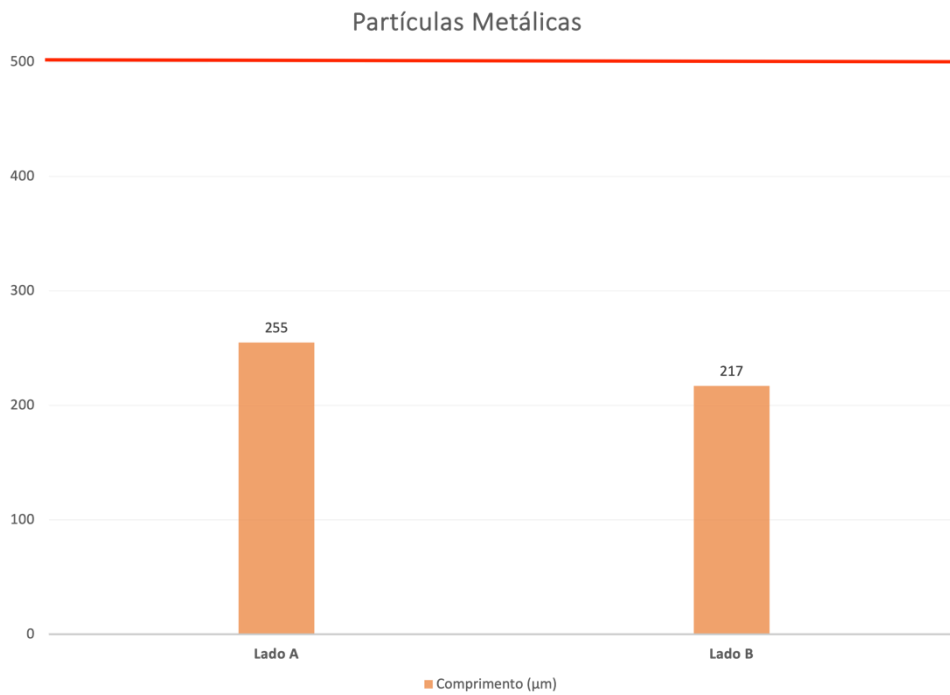


Figura 99 - Resultados das partículas metálicas no produto final

A Figura 100 apresenta os resultados do processo de análise para as partículas não metálicas.

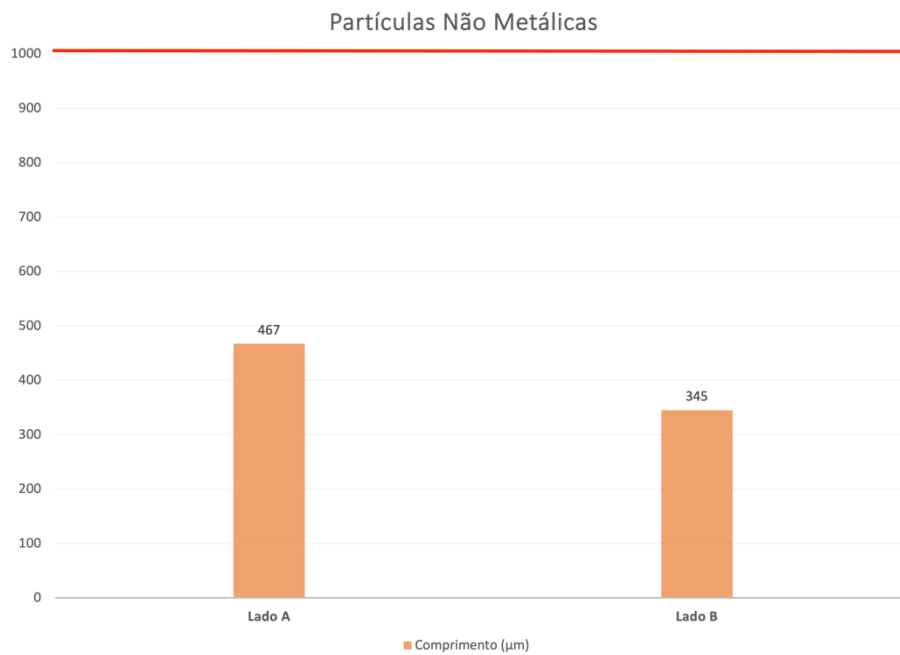


Figura 100 - Resultados das partículas não metálicas no produto final

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

4.2 TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES

4.1 Conclusões

Verificou-se que no intervalo entre inspeções, a máquina da linha 3 do SMT desperdiçava 3 750 componentes, gerando um prejuízo de 1 875 €. Através das melhorias implementadas, foi possível reduzir esse desperdício a um intervalo que se situa entre 0 e no máximo 50 componentes desperdiçados, ou seja, um desperdício que se situa entre 0 € e no máximo 25 €, representando uma redução no desperdício de componentes e do valor do custo entre os 98,67 % e os 100 %.

No Robot de soldadura N^o4, as partículas metálicas e não metálicas apresentaram valores acima dos limites definidos. Foi feita uma auditoria 5S, para caracterizar o estado do posto de trabalho, que teve como resultado 66 %. Após uma formação aos operadores e grande parte das falhas resolvidas, o resultado da nova auditoria 5S subiu para os 88 %. A implementação de um plano de limpeza do Robot juntamente com as ajudas visuais e as medidas aplicadas para o combate as partículas não metálicas traduziram-se numa redução de 48 % do maior tamanho das partículas metálicas e de 59 % do maior tamanho das não metálicas.

A primeira auditoria 5S realizada ao posto de fresagem teve como resultado 50 %. Procedeu-se a uma formação de todos os operadores do posto de fresagem e a resolução das inúmeras falhas identificadas. A segunda auditoria registou um aumento de 20 % no resultado. A criação de um plano de limpeza das fresas permitiu uma redução de 193 µm do tamanho da maior partícula metálica na fresa N^o3 cumprindo este equipamento com o limite definido. Em geral este plano permitiu uma redução em 15 % do valor do tamanho das partículas metálicas e em 5 % das partículas não metálicas.

A implementação do TPM, com recurso a um dos seus pilares a manutenção autónoma, permitiu a redução do tamanho das partículas metálicas em 3 % no posto 2, 27 % no posto 3 e de 25 % no posto 4. Apesar dessa redução, todos os postos ficaram com valores acima do limite definido. No caso das partículas não metálicas o posto 3 teve um aumento 3 % e o posto 4 uma diminuição 45 %, fazendo com que o valor deste posto, ficasse abaixo do limite estipulado. A média dos tamanhos das partículas de todos os postos da linha apresentou uma diminuição de 20 % para as metálicas e de 28 % para as não metálicas.

A criação e implementação de um plano de limpeza dos carrinhos de transporte da linha foi essencial para criar uma rotina de limpeza e manutenção dos mesmos, e para quebrar a cadeia de contaminações cruzadas e sujidade entre postos de trabalho. No entanto não foi possível auferir numericamente a contribuição desta medida para a

redução da geração e propagação das contaminações por partículas, mas foi possível constatar que contribuiu para o aumento da eficácia e eficiência do processo produtivo.

A redefinição do plano de entrega e uso das luvas ESD permitiu uma redução da propagação e transferência da sujidade em todos os postos de trabalho da linha. Contribuiu também para a diminuição da probabilidade de ocorrer uma contaminação proveniente do operador ou de outro posto de trabalho.

As melhorias implementadas no sistema de aparafusamento da linha permitiram uma quebra na propagação de partículas metálicas pelo posto de trabalho e também por toda a linha. O plano de limpeza do alimentador, assim como a redefinição do modo de transporte dos parafusos desde o fornecedor até ao alimentador, contribuiu para uma redução da propagação das partículas metálicas pelo posto de trabalho e por toda a linha. O aproveitamento na totalidade dos 18 980 parafusos desperdiçados permitiu uma poupança de 3 796 € por ano.

A implementação de um sistema *Kanban* permitiu garantir que existe sempre a disponibilidade e a entrada na linha de caixas sem qualquer tipo de sujidade. Este sistema ajudou num aumento da autonomia da equipa de lavagem, num melhoramento do fluxo de informação e na criação de um modelo a ser implementado para as restantes caixas da linha. No entanto não foi possível auferir numericamente a contribuição desta medida para a redução da geração e propagação das contaminações por partículas, mas foi possível constatar que contribuiu para o aumento da eficácia e eficiência do processo produtivo.

O sistema FIFO permitiu que as caixas de produto final deixassem de ser colocadas no chão e fossem colocadas num local apropriado, segundo a ordem de produção, enquanto aguardam pelo processo de inspeção. Permite também um abastecimento de caixas vazias por parte do operador de logística.

A solução encontrada, para a diminuição dos valores das partículas do ar na antecâmara do SMT, permitiu que os valores novamente medidos ficassem dentro dos limites da ISO 9 para as três classes de tamanho, o que leva a concluir que as partículas do Parque de Máquinas estavam a migrar para dentro da antecâmara.

Com as medidas implementadas no PM verificou-se que, apenas um ponto, dos vinte identificados, apresentou valores para as três classes de tamanho, dentro dos limites da ISO 9. Desses pontos críticos, quatorze deles apresentaram melhorias, mas ainda insuficientes para se enquadrarem dentro de qualquer classe da norma. Quatro pontos apresentaram um agravamento e apenas um manteve a média de valores. As ações de melhoria revelaram-se muito pouco eficazes nesta área e precisam de ser revistas.

A análise do produto final, como resultado da implementação conjunta de todas as melhorias implementadas, permitiu concluir que apesar de alguns processos apresentarem valores para partículas contaminantes acima do *target* definido, o produto final nas duas áreas analisadas apresentou valores bem abaixo dos limites

definidos, pelas normas internacionais e requisitos de cliente que regulam a contaminação dos dispositivos eletrónicos no setor automóvel.

Em suma, os objetivos propostos foram todos cumpridos, o que significa que foi possível uma redução das partículas metálicas e não metálicas na generalidade dos processos, uma minimização dos desperdícios assim como uma melhoria dos postos de trabalho e do processo produtivo.

4.2 Trabalhos Futuros

As melhorias implementadas como os planos de limpeza e as auditorias 5S implicarão um acompanhamento constante, tendo em vista a sua continuidade, e uma procura permanente em termos de atualização e aperfeiçoamento.

A implementação do plano de manutenção autónoma nas restantes linhas permitirá uma redução considerável na geração e propagação de partículas metálicas e não metálicas nos diversos processos produtivos existentes na fábrica.

A redefinição do plano de entrega e uso das luvas ESD em todas as linhas permitirá a identificação dos postos mais sensíveis e dos postos mais críticos em relação as contaminações, geração e/ou acumulação de sujidade.

Desenvolver e implementar um plano de limpeza para todos os alimentadores de parafusos existentes nas diversas linhas com o objetivo de conseguir uma quebra na geração e propagação de partículas metálicas pelos postos de trabalhos e por toda a área de produção. Implementar a medida de reaproveitamento de parafusos em todos os sistemas de aparafusamento manual existentes na fábrica, devido ao facto de todos eles apresentam o mesmo problema dos parafusos descartados.

Os métodos de caracterização e análise, assim como as melhorias implementadas com o apoio da metodologia *Lean* e suas ferramentas, podem ser aplicadas a várias indústrias, com diferentes processos produtivos e produtos finais. O trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, com valores limite mais baixos e com a maior precisão na implementação de medidas de melhoria, poderia ser aplicado, por exemplo, numa indústria alimentar, que é extremamente sensível a contaminações por qualquer tipo de partículas.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] D. Tripp, "Action research: a methodological introduction," *Educ. Pesqui.*, 2005.
- [2] A. Dzetit and G. Nagit, "Research on importance of cleanliness in manufacturing reliable products for automotive," *MATEC Web Conf.*, 2017.
- [3] ZVEI, "Technical Cleanliness in Electrical Engineering," 2014.
- [4] VDA 19.1. *Inspection of technical cleanliness, Particulate contamination of functionally-relevant automotive components. 2nd revision.* 2015.
- [5] VDA 19.2. *Technical cleanliness in assembly, Environment, Logistics, Personnel and Assembly Equipment, 1 edition.* 2010.
- [6] "ISO 16232:2018, Road Vehicles - Cleanliness of components and systems," 2018.
- [7] "ISO 14644-1:2015, Cleanroom and associated controlled environments - Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration," 2015.
- [8] J. LaDou, "Printed circuit board industry," *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2006.
- [9] A. Canal Marques, J. M. Cabrera, and C. De Fraga Malfatti, "Printed circuit boards: A review on the perspective of sustainability," *J. Environ. Manage.*, 2013.
- [10] L. Rocchetti, A. Amato, and F. Beolchini, "Printed circuit board recycling: A patent review," *J. Clean. Prod.*, 2018.
- [11] M. Oravec, A. Divoková, P. Lipovský, M. Karásek, and R. Janošík, "Technical Cleanliness - a Requirement of Precision Manufacturing," *Acta Mech. Slovaca*, 2020.
- [12] M. Holweg, "The genealogy of lean production," *J. Oper. Manag.*, vol. 25, no. 2, pp. 420–437, 2007.
- [13] C. Rosa, F. J. G. Silva, and L. P. Ferreira, "The six," *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. June, pp. 1035–1042, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.214.
- [14] P. Dennis, *Lean production simplified : a plain language guide to the world's most powerful production system*, 2nd ed. New York : Productivity Press, 2007.
- [15] J. Pinto, "Lean Thinking - Introdução ao pensamento magro. Comunidade Lean Thinking.," 2008.
- [16] E. Sousa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, R. Gouveia, and R. P. Silva, "Applying SMED methodology in cork stoppers production," *Procedia Manuf.*, vol. 17, pp. 611–622, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.103.
- [17] D. Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, *The machine that changed the World. New York, USA: harper Collins Publishers.* 1990.
- [18] T. Ohno, "O sistema Toyota de Produção - Além da Produção em Larga Escala. Porto Alegre," 1996.
- [19] T. Melton, "The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 83, no. 6 A, pp. 662–673, 2005.
- [20] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars*

- That Is Now Revolutionizing World Industry*. Free Press, 2007.
- [21] C. Ferreira, J. C. Sá, L. P. Ferreira, M. P. Lopes, T. Pereira, and F. J. G. Silva, "iLeanDMAIC - A methodology for implementing the lean tools," *Procedia Manuf.*, vol. 41, pp. 1095–1102, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.10.038.
- [22] D. J. K. Liker, *Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill Education, 2004.
- [23] C. M. Hinckley, "Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry," *Accredit. Qual. Assur.*, vol. 12, no. 5, pp. 223–230, 2007.
- [24] J. Liker and D. Meier, "The Toyota way fieldbook : a practical guide for implementing Toyota's 4Ps," 2006.
- [25] E. M.L., "Standardized work for executive leadership," *Leadersh. Organ. Dev. J.*, vol. 29, no. 1, pp. 24–46, Jan. 2008.
- [26] J. T. Martin, T.D., & Bell, *New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement: Productivity Press*. 2011.
- [27] D. C. S. Summers, *Lean six sigma: process improvement tools and techniques*. Pearson Prentice Hall, 2011.
- [28] G. L. Mika and S. of M. Engineers., "Kaizen event implementation manual." Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Mich., 2006.
- [29] M. Maia, C. Pimentel, F. Silva, R. Godina, and J. Matias, "Order fulfilment process improvement in a ceramic industry," *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 1436–1443, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.144.
- [30] D. Hines, P., & Taylor, "Going Lean. Cardiff Business School. Cardiff: Lean Enterprise Research Centre.," 2000.
- [31] J. Womack and D. Jones, *Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (2ªed.)*. New York: Free Pass. 2003.
- [32] F. J. Krafick, "Triumph of the Lean Production System," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 30, no. 1, pp. 41–52, 1998.
- [33] K. Suzaki, *Gestão de Operações Lean: Metodologia Kaizen para a Melhoria Contínua. 1ªedição*, Mansores: LeanOp. 2010.
- [34] M. Dudbridge, *Handbook of lean manufacturing in the food industry*. John Wiley & Sons, 2011.
- [35] I. A. Rawabdeh, "A model for the assessment of waste in job shop environments," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 25, no. 8, pp. 800–822, 2005.
- [36] C. Costa, L. Pinto Ferreira, J. C. Sa, and F. J. G. Silva, "Implementation of 5S Methodology in a Metalworking Company," pp. 001–012, 2018.
- [37] & M. George, M. L., Rowlands, D., Price, M., *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed*. New York: McGraw-Hill. 2005.
- [38] G. C. Parry and C. E. Turner, "Application of lean visual process management tools," *Prod. Plan. Control*, vol. 17, no. 1, pp. 77–86, 2006.
- [39] J. M. Gross and K. R. McInnis, *Kanban made simple: demystifying and applying Toyota's legendary manufacturing process*. Amacom, 2003.
- [40] T. Ohno and N. Bodek, *Toyota production system: beyond large-scale production*. Productivity press, 2019.
- [41] P. Henriques, E, & Peças, *Gestão da Produção*. Lisboa: Instituto Superior Técnico. 2009.

- [42] C. Werkema, “Criando a Cultura Seis Sigma. Belo Horizonte,” 2004.
- [43] J. G. Pereira, Z.L e Requeijo, “Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos. 2ªedição. Lisboa:FFCT.,” 2012.
- [44] M. Friendly and D. Denis, “The early origins and development of the scatterplot,” *J. Hist. Behav. Sci.*, vol. 41, no. 2, pp. 103–130, 2005.
- [45] J. Morgan and M. Brenig-Jones, *Lean Six Sigma for dummies*, vol. 53, no. 9. 2012.
- [46] A. Gosavi, “A risk-sensitive approach to total productive maintenance,” *Automatica*, vol. 42, no. 8, pp. 1321–1330, 2006.
- [47] T. Suzuki, *Manufacturing performance and evolution of tpm*. 1994.
- [48] P. Willmott and D. Mccarthy, *TPM: A route to word-class perfomance*. 2001.
- [49] R. Samuel, M. Rajesh, S. Rajanna, and E. Franklin, “Implementation of lean manufacturing with the notion of quality improvement in electronics repair industry,” *Mater. Today Proc.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.200>.
- [50] A. Palange and P. Dhatrak, “Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing,” *Mater. Today Proc.*, vol. 46, pp. 729–736, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>.
- [51] A. S. P. da Silva, “Melhoria do Processo Produtivo numa Empresa,” 2021.
- [52] R. J. A. de Sousa, “ESTUDO DO IMPACTO DE FERRAMENTAS LEAN NA PRODUTIVIDADE E SEGURANÇA NUMA EMPRESA TÊXTIL,” 2020.
- [53] I. M. Ribeiro, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, and J. C. O. Matias, “Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line,” *Procedia Manuf.*, vol. 38, no. 2019, pp. 1574–1581, 2019, doi: [10.1016/j.promfg.2020.01.128](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.128).
- [54] “ISO 14644:1999, Cleanrooms and associated controlled environments,” 1999.
- [55] “ISO 16232-1:2007, Cleanliness of components of fluid circuits - Part 1: Vocabulary,” 2007.

ANEXOS

6.1 Auditoria 5S no Robot de Soldadura Nº4 (Antes melhorias)

6.2 Auditoria 5S no Robot de Soldadura Nº4 (Após melhorias)

6.3 Plano de Limpeza do Robot

6.4 Auditoria 5S nas fresas (Antes melhorias)

6.5 Auditoria 5S nas fresas (Após melhorias)

6 ANEXOS

6.1 Auditoria 5S no Robot de Soldadura Nº4 (Antes melhorias)

Auditoria 5S - Produção			RESULTADO	
LINHA	AUDITOR	DATA	66	%
Robot de Soldadura N34	João Dias	08/02/21		
Classificar cada ponto entre 1 e 4 valores (assinalar com um X)				
AUDITORIA	Nota	Comentários		
S1 - ELIMINAR				
1.1 Nenhum objecto pessoal nos postos de trabalho? (bolsas azuis apenas, colocadas nos suportes apropriados)				
Maioria dos postos com objectos pessoais encontrados				
Mais do que 1 objecto encontrado				
No máximo 1 objecto pessoal encontrado	X			
Nenhum objecto pessoal na área				
1.2 Quadros eléctricos e armários de produtos químicos trancados e acessíveis?				
Vários equipamentos abertos e/ou impedidos				
Máximo 1 equipamento aberto e 1 impedido				
Máximo 1 equipamento aberto ou impedido				
Tudo trancado e desimpedido	X			
1.3 Nenhum objecto ou máquina não utilizável na Área?				
Vários objetos inutilizáveis				
Máximo 2 objetos inutilizáveis				
Máximo 1 objeto não utilizável				
Nenhum objeto não utilizável encontrado	X			
1.4 Nada pertencente à Área nos corredores de passagem e circulação?				
Vários materiais encontrados nos corredores				
No máximo 1 material encontrado no corredor				
Corredores desimpedidos	X			
1.5 Nenhum artigo no chão (Caixas, peças, ferramentas, etc..)?				
Vários artigos no chão	X			
Máximo 2 artigos no chão				
Máximo 1 artigo no chão				
Nenhum artigo encontrado no chão				Caixas com moldes no chão
S2 - ORDENAR				
2.1 Existe um local definido para tudo? (Máquinas, caixas, peças, ferramentas, etc..)?				
Maioria dos objetos sem local definido				
No máximo 3 objetos sem local definido	X			Carros de apoio sem local definido
No máximo 1 objeto sem local definido				Vários moldes sem local definido
Tudo com o seu local definido e marcado				
2.2 Todos os locais de produtos, ferramentas, etc.. estão identificados?				
Vários equipamentos sem local identificado				
Máximo 2 equipamentos sem local identificado	X			JIG sem identificação
Máximo 1 equipamento sem local identificado				
Todos os locais identificados				
2.3 Todos os equipamentos estão marcados no chão e a área está delimitada?				
Vários equipamentos em incumprimento	X			Bancadas de soldação
Máximo 2 equipamentos em incumprimento				Estruturas sem marcação
Máximo 1 equipamento em incumprimento				
Todos os equipamentos a cumprir com zoning				
2.4 Todos os cabos (ligações) estão em bom estado e no local correcto?				
Várias ligações em mau estado e fora do local correcto	X			Cabos no chão
Máximo 1 ligação em mau estado e 1 ligação fora do local correcto				
Máximo 1 ligação em mau estado ou fora do local correcto				
Todas as ligações em bom estado e organizadas				
S3 - LIMPAR				
3.1 Chão, instalações e equipamentos estão limpos?				
Chão ou pelo menos 1 equipamento com sujidade	X			Bases de Soldadura sujas
Tudo limpo dentro da área				
3.2 Os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem a segurança?				
Pelo menos 1 equipamento em mau estado ou inseguro	X			Rampas com roletes soltos
Máximo 2 estruturas/caixas danificadas				Falta de iluminação
Máximo 1 estrutura/caixa danificada				
Todos os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem segurança				
3.3 Todas as identificações e documentos estão em bom estado?				
Mais de 3 identificações/documentos gastos e/ou ilegíveis	X			Identificações desatualizadas
Máximo de 2 identificações/documentos gastos ou ilegíveis				
Máximo 1 identificação/documento gasto ou ilegível				
Todas as identificações e documentos em bom estado				
3.4 Marcação do chão em bom estado?				
No mínimo 1 marcação com marca considerável de sujidade/dano	X			Marcações com alguns defeitos
No máximo 1 marcação com marca ligeira de sujidade/dano				
Todas as marcações em bom estado				
3.5 Não existe fuga de líquidos ou ar comprimido, provenientes dos equipamentos?				
Pelo menos 1 fuga encontrada				
Tudo limpo dentro da área	X			

AUDITORIA	Nota	Comentários
S4 - NORMALIZAR		
4.1 Existe um plano de limpeza ou TPM para a área?		
Não existe	X	Robot sem plano de limpeza
Existe, mas está desatualizado		
Existe, está atualizado, mas é desconhecido pelos colaboradores		
Existe, está atualizado e é conhecido pelos colaboradores		
4.2 Todas as tarefas de limpeza têm um responsável?		
As tarefas não estão bem definidas nem atribuídas	X	
Todas as tarefas são claras e o seu responsável também		
4.3 Existe um registo de limpeza diário?		
Não	X	
Sim		
4.4 O registo de limpeza encontra-se atualizado?		
Não	X	
Sim		
S5 - DISCIPLINA		
5.1 O plano de auditorias da área é cumprido?		
Ficou a faltar pelo menos 1 das últimas 3 auditorias da linha (ver registo)		
Sim	X	
5.2 Existe um plano de ações para corrigir as não conformidades das auditorias?		
Não existe	X	
Existe		
5.3 Todas as ações em aberto estão dentro do prazo de conclusão?		
Não, tem pelo menos 1 ação aberta há mais de 20 dias		
Sim	X	
5.4 Todas as pessoas da Linha têm formação 5S?		
Toda a tripulação da linha sem conhecimento sobre 5S		
A maioria das pessoas não têm conhecimento sobre 5S	X	
A maioria das pessoas conhece os 5S		
Todas as pessoas da linha conhecem os 5S		

6.2 Auditoria 5S no Robot de Soldadura Nº4 (Após melhorias)


Auditoria 5S - Produção			RESULTADO	
LINHA	AUDITOR	DATA	88	%
Robot de Soldadura Nº4	João Dias	22/02/21		
Classificar cada ponto entre 1 e 4 valores (assinalar com um X)				
AUDITORIA	Nota	Comentários		
S1 - ELIMINAR				
1.1 Nenhum objecto pessoal nos postos de trabalho? (bolsas azuis apenas, colocadas nos suportes apropriados)				
Maioria dos postos com objetos pessoais encontrados				
Mais do que 1 objeto encontrado				
No máximo 1 objeto pessoal encontrado				
Nenhum objeto pessoal na área	X			
1.2 Quadros elétricos e armários de produtos químicos trancados e acessíveis?				
Vários equipamentos abertos e/ou impedidos				
Máximo 1 equipamento aberto e 1 impedido				
Máximo 1 equipamento aberto ou impedido				
Tudo trancado e desimpedido	X			
1.3 Nenhum objecto ou máquina não utilizável na Área?				
Vários objetos inutilizáveis				
Máximo 2 objetos inutilizáveis				
Máximo 1 objeto não utilizável				
Nenhum objeto não utilizável encontrado	X			
1.4 Nada pertencente à Área nos corredores de passagem e circulação?				
Vários materiais encontrados nos corredores				
No máximo 1 material encontrado no corredor				
Corredores desimpedidos	X			
1.5 Nenhum artigo no chão (Calças, peças, ferramentas, etc...)?				
Vários artigos no chão				
Máximo 2 artigos no chão				
Máximo 1 artigo no chão				
Nenhum artigo encontrado no chão	X			
S2 - ORDENAR				
2.1 Existe um local definido para tudo? (Máquinas, caixas, peças, ferramentas, etc...)				
Maioria dos objetos sem local definido				
No máximo 3 objetos sem local definido				
No máximo 1 objeto sem local definido				
Tudo com o seu local definido e marcado	X			
2.2 Todos os locais de produtos, ferramentas, etc., estão identificados?				
Vários equipamentos sem local identificado				
Máximo 2 equipamentos sem local identificado				
Máximo 1 equipamento sem local identificado				
Todos os locais identificados	X			
2.3 Todos os equipamentos estão marcados no chão e a área está delimitada?				
Vários equipamentos em incumprimento				
Máximo 2 equipamentos em incumprimento				
Máximo 1 equipamento em incumprimento				
Todos os equipamentos a cumprir com zoning	X			
2.4 Todos os cabos (ligações) estão em bom estado e no local correcto?				
Várias ligações em mau estado e fora do local correto				
Máximo 1 ligação em mau estado e 1 ligação fora do local correto				
Máximo 1 ligação em mau estado ou fora do local correto				
Todas as ligações em bom estado e organizadas	X			
S3 - LIMPAR				
3.1 Chão, instalações e equipamentos estão limpos?				
Chão ou pelo menos 1 equipamento com sujidade				
Tudo limpo dentro da área	X			
3.2 Os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem a segurança?				
Pelo menos 1 equipamento em mau estado ou inseguro				
Máximo 2 estruturas/caixas danificadas				
Máximo 1 estrutura/caixa danificada				
Todos os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem segurança	X			
3.3 Todas as identificações e documentos estão em bom estado?				
Mais de 3 identificações/documentos gastos e/ou ilegíveis				
Máximo de 2 identificações/documentos gastos ou ilegíveis				
Máximo 1 identificação/documento gasto ou ilegível				
Todas as identificações e documentos em bom estado	X			
3.4 Marcação do chão em bom estado?				
No mínimo 1 marcação com marca considerável de sujidade/dano				
No máximo 1 marcação com marca ligeira de sujidade/dano				
Todas as marcações em bom estado	X			
3.5 Não existe fugas de líquidos ou ar comprimido, provenientes dos equipamentos?				
Pelo menos 1 fuga encontrada				
Tudo limpo dentro da área	X			

AUDITORIA	Nota	Comentários
S4 - NORMALIZAR		
4.1 Existe um plano de limpeza ou TPM para a área?		
Não existe	X	Robot sem plano de limpeza
Existe, mas está desatualizado		
Existe, está atualizado, mas é desconhecido pelos colaboradores		
Existe, está atualizado e é conhecido pelos colaboradores		
4.2 Todas as tarefas de limpeza têm um responsável?		
As tarefas não estão bem definidas nem atribuídas	X	
Todas as tarefas são claras e o seu responsável também		
4.3 Existe um registo de limpeza diário?		
Não	X	
Sim		
4.4 O registo de limpeza encontra-se atualizado?		
Não	X	
Sim		
S5 - DISCIPLINA		
5.1 O plano de auditorias da área é cumprido?		
Ficou a faltar pelo menos 1 das últimas 3 auditorias da linha (ver registo)		
Sim	X	
5.2 Existe um plano de ações para controlar as não conformidades das auditorias?		
Não existe		
Existe	X	
5.3 Todas as ações em aberto estão dentro do prazo de conclusão?		
Não, tem pelo menos 1 ação aberta há mais de 20 dias		
Sim	X	
5.4 Todas as pessoas da Linha têm formação 5S?		
Toda a tripulação da linha sem conhecimento sobre 5S		
A maioria das pessoas não têm conhecimento sobre 5S		
A maioria das pessoas conhece os 5S		
Todas as pessoas da linha conhecem os 5S	X	


6.3 Plano de Limpeza do Robot

Limpeza a cada 2h


Ponta de Soldar




Produtos a Utilizar




Segurança




Bases de Soldadura



Produtos a Utilizar




Segurança




Limpeza Diária


Robot de Soldadura




Produtos a Utilizar




Segurança




Bancada de Trabalho






Produtos a Utilizar










Segurança



LEGENDA:

Segurança	
	Tarefa a executar com a emergência activada
	Utilização obrigatória de luvas
	Utilização obrigatória de óculos de protecção

Materiais	
	Pincel Antiestático
	Papel absorvente
	Pano de Limpeza
	Escova Metálica
	Escova

Produtos	
	Ajax
	Loctite

Limpeza Diária	Tarefas executadas de 2 em 2h durante cada turno de trabalho
Limpeza Diária	Tarefas executadas ao final de cada turno de trabalho
Limpeza Semanal	Tarefas executadas antes de deixar o posto no final do turno de trabalho. Limpeza feita rotativamente pelos três turnos: 1ª semana T1 / 2ª semana T2/ 3ª semana T3 e assim sucessivamente

6.4 Auditoria 5S nas Fresas (Antes melhorias)

Auditoria 5S - Produção			RESULTADO	
LINHA	AUDITOR	DATA	50	%
Fresas	João Dias	08/02/21		
Classificar cada ponto entre 1 e 4 valores (assinalar com um X)				
AUDITORIA	Nota	Comentários		
S1 - ELIMINAR				
1.1 Nenhum objecto pessoal nos postos de trabalho? (bolsas azuis apenas, colocadas nos suportes apropriados)				
Maioria dos postos com objetos pessoais encontrados				
Mais do que 1 objeto encontrado				
No máximo 1 objeto pessoal encontrado				
Nenhum objeto pessoal na área	X			
1.2 Quadros elétricos e armários de produtos químicos trancados e acessíveis?				
Vários equipamentos abertos e/ou impedidos				
Máximo 1 equipamento aberto e 1 impedido				
Máximo 1 equipamento aberto ou impedido	X			Quadro elétrico aberto
Tudo trancado e desimpedido				
1.3 Nenhum objecto ou máquina não utilizável na Área?				
Vários objetos inutilizáveis				
Máximo 2 objetos inutilizáveis				
Máximo 1 objeto não utilizável				
Nenhum objeto não utilizável encontrado	X			
1.4 Nada pertencente à Área nos corredores de passagem e circulação?				
Vários materiais encontrados nos corredores				
No máximo 1 material encontrado no corredor	X			Carrinhos nos corredores de circulação Escadas no corredor
Corredores desimpedidos				
1.5 Nenhum artigo no chão (Caixas, peças, ferramentas, etc..)?				
Vários artigos no chão				
Máximo 2 artigos no chão	X			Caixas de ferramentas Caixas com sacos no chão
Máximo 1 artigo no chão				
Nenhum artigo encontrado no chão				
S2 - ORDENAR				
2.1 Existe um local definido para tudo? (Máquinas, caixas, peças, ferramentas, etc..)				
Maioria dos objetos sem local definido				
No máximo 3 objetos sem local definido	X			Objetos no chão sem marcação definida Máquina de calcular sem local definido
No máximo 1 objeto sem local definido				
Tudo com o seu local definido e marcado				
2.2 Todos os locais de produtos, ferramentas, etc., estão identificados?				
Vários equipamentos sem local identificado				
Máximo 2 equipamentos sem local identificado				
Máximo 1 equipamento sem local identificado	X			Falta de marcações
Todos os locais identificados				
2.3 Todos os equipamentos estão marcados no chão e a área está delimitada?				
Vários equipamentos em incumprimento				
Máximo 2 equipamentos em incumprimento				
Máximo 1 equipamento em incumprimento				
Todos os equipamentos a cumprir com zoning	X			
2.4 Todos os cabos (ligações) estão em bom estado e no local correcto?				
Várias ligações em mau estado e fora do local correto				
Máximo 1 ligação em mau estado e 1 ligação fora do local correto				
Máximo 1 ligação em mau estado ou fora do local correto				
Todas as ligações em bom estado e organizadas	X			
S3 - LIMPAR				
3.1 Chão, instalações e equipamentos estão limpos?				
Chão ou pelo menos 1 equipamento com sujidade				
Tudo limpo dentro da área	X			
3.2 Os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem a segurança?				
Pelo menos 1 equipamento em mau estado ou inseguro				
Máximo 2 estruturas/caixas danificadas				
Máximo 1 estrutura/caixa danificada	X			Carros de apoio a necessitar de substituição
Todos os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem segurança				
3.3 Todas as identificações e documentos estão em bom estado?				
Mais de 3 identificações/documentos gastos e/ou ilegíveis				
Máximo de 2 identificações/documentos gastos ou ilegíveis				
Máximo 1 identificação/documento gasto ou ilegível	X			Falta atualizar equipamentos
Todas as identificações e documentos em bom estado				
3.4 Marcação do chão em bom estado?				
No mínimo 1 marcação com marca considerável de sujidade/dano				
No máximo 1 marcação com marca ligeira de sujidade/dano	X			Alguma marcação danificada
Todas as marcações em bom estado				
3.5 Não existe fugas de líquidos ou ar comprimido, provenientes dos equipamentos?				
Pelo menos 1 fuga encontrada	X			Equipamento no chão com fugas de líquidos
Tudo limpo dentro da área				

AUDITORIA	Nota	Comentários
S4 - NORMALIZAR		
4.1 Existe um plano de limpeza ou TPM para a área?		
Não existe	X	Não existe TPM
Existe, mas está desatualizado		
Existe, está atualizado, mas é desconhecido pelos colaboradores		
Existe, está atualizado e é conhecido pelos colaboradores		
4.2 Todas as tarefas de limpeza têm um responsável?		
As tarefas não estão bem definidas nem atribuídas	X	
Todas as tarefas são claras e o seu responsável também		
4.3 Existe um registo de limpeza diário?		
Não	X	
Sim		
4.4 O registo de limpeza encontra-se atualizado?		
Não	X	
Sim		
S5 - DISCIPLINA		
5.1 O plano de auditorias da área é cumprido?		
Ficou a faltar pelo menos 1 das últimas 3 auditorias da linha (ver registo)		
Sim	X	
5.2 Existe um plano de ações para corrigir as não conformidades das auditorias?		
Não existe		
Existe	X	
5.3 Todas as ações em aberto estão dentro do prazo de conclusão?		
Não, tem pelo menos 1 ação aberta há mais de 20 dias		
Sim	X	
5.4 Todas as pessoas da Linha têm formação 5S?		
Toda a tripulação da linha sem conhecimento sobre 5S		
A maioria das pessoas não têm conhecimento sobre 5S	X	
A maioria das pessoas conhece os 5S		
Todas as pessoas da linha conhecem os 5S		

6.5 Auditoria 5S nas Fresas (Após melhorias)

Auditoria 5S - Produção			RESULTADO	
LINHA	AUDITOR	DATA	70	%
Fresas	João Dias	22/02/21		
Classificar cada ponto entre 1 e 4 valores (assinalar com um X)				
AUDITORIA	Nota	Comentários		
S1 - ELIMINAR				
1.1 Nenhum objecto pessoal nos postos de trabalho? (bolsas azuis apenas, colocadas nos suportes apropriados)				
Maioria dos postos com objetos pessoais encontrados				
Mais do que 1 objeto encontrado				
No máximo 1 objeto pessoal encontrado				
Nenhum objeto pessoal na área	X			
1.2 Quadros elétricos e armários de produtos químicos trancados e acessíveis?				
Vários equipamentos abertos e/ou impedidos				
Máximo 1 equipamento aberto e 1 impedido				
Máximo 1 equipamento aberto ou impedido				
Tudo trancado e desimpedido	X			
1.3 Nenhum objecto ou máquina não utilizável na Área?				
Vários objetos inutilizáveis				
Máximo 2 objetos inutilizáveis				
Máximo 1 objeto não utilizável				
Nenhum objeto não utilizável encontrado	X			
1.4 Nada pertencente à Área nos corredores de passagem e circulação?				
Vários materiais encontrados nos corredores				
No máximo 1 material encontrado no corredor				
Corredores desimpedidos	X			
1.5 Nenhum artigo no chão (Caixas, peças, ferramentas, etc...)?				
Vários artigos no chão				
Máximo 2 artigos no chão				
Máximo 1 artigo no chão	X			Caixas de ferramentas
Nenhum artigo encontrado no chão				
S2 - ORDENAR				
2.1 Existe um local definido para tudo? (Máquinas, caixas, peças, ferramentas, etc...)				
Maioria dos objetos sem local definido				
No máximo 3 objetos sem local definido				
No máximo 1 objeto sem local definido	X			Máquina de calcular sem local definido
Tudo com o seu local definido e marcado				
2.2 Todos os locais de produtos, ferramentas, etc., estão identificados?				
Vários equipamentos sem local identificado				
Máximo 2 equipamentos sem local identificado				
Máximo 1 equipamento sem local identificado				
Todos os locais identificados	X			
2.3 Todos os equipamentos estão marcados no chão e a área está delimitada?				
Vários equipamentos em incumprimento				
Máximo 2 equipamentos em incumprimento				
Máximo 1 equipamento em incumprimento				
Todos os equipamentos a cumprir com zoning	X			
2.4 Todos os cabos (ligações) estão em bom estado e no local correcto?				
Várias ligações em mau estado e fora do local correto				
Máximo 1 ligação em mau estado e 1 ligação fora do local correto				
Máximo 1 ligação em mau estado ou fora do local correto				
Todas as ligações em bom estado e organizadas	X			
S3 - LIMPAR				
3.1 Chão, instalações e equipamentos estão limpos?				
Chão ou pelo menos 1 equipamento com sujidade				
Tudo limpo dentro da área	X			
3.2 Os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem a segurança?				
Pelo menos 1 equipamento em mau estado ou inseguro				
Máximo 2 estruturas/caixas danificadas				
Máximo 1 estrutura/caixa danificada	X			Carros de apoio a necessitar de substituição
Todos os equipamentos e estruturas estão em bom estado e garantem segurança				
3.3 Todas as identificações e documentos estão em bom estado?				
Mais de 3 identificações/documentos gastos e/ou ilegíveis				
Máximo de 2 identificações/documentos gastos ou ilegíveis				
Máximo 1 identificação/documento gasto ou ilegível	X			Falta atualizar equipamentos
Todas as identificações e documentos em bom estado				
3.4 Marcação do chão em bom estado?				
No mínimo 1 marcação com marca considerável de sujidade/dano				
No máximo 1 marcação com marca ligeira de sujidade/dano				
Todas as marcações em bom estado	X			
3.5 Não exista fugas de líquidos ou ar comprimido, provenientes dos equipamentos?				
Pelo menos 1 fuga encontrada				
Tudo limpo dentro da área	X			

AUDITORIA	Nota	Comentários
S4 - NORMALIZAR		
4.1 Existe um plano de limpeza ou TPM para a área?		
Não existe	X	Não existe TPM
Existe, mas está desatualizado		
Existe, está atualizado, mas é desconhecido pelos colaboradores		
Existe, está atualizado e é conhecido pelos colaboradores		
4.2 Todas as tarefas de limpeza têm um responsável?		
As tarefas não estão bem definidas nem atribuídas		
Todas as tarefas são claras e o seu responsável também	X	
4.3 Existe um registo de limpeza diário?		
Não	X	
Sim		
4.4 O registo de limpeza encontra-se atualizado?		
Não	X	
Sim		
S5 - DISCIPLINA		
5.1 O plano de auditorias da área é cumprido?		
Ficou a faltar pelo menos 1 das últimas 3 auditorias da linha (ver registo)		
Sim	X	
5.2 Existe um plano de ações para corrigir as não conformidades das auditorias?		
Não existe		
Existe	X	
5.3 Todas as ações em aberto estão dentro do prazo de conclusão?		
Não, tem pelo menos 1 ação aberta há mais de 20 dias		
Sim	X	
5.4 Todas as pessoas da Linha têm formação 5S?		
Toda a tripulação da linha sem conhecimento sobre 5S		
A maioria das pessoas não têm conhecimento sobre 5S		
A maioria das pessoas conhece os 5S		
Todas as pessoas da linha conhecem os 5S	X	