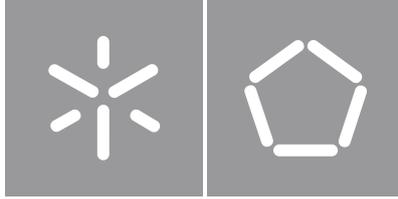




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Beatriz Miranda Peixoto Lima

**Análise e Redefinição de Processos de
*Electrostatic Discharge & Technical Cleanliness***



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Beatriz Miranda Peixoto Lima

**Análise e Redefinição de Processos de
*Electrostatic Discharge & Technical Cleanliness***

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Manuel José Lopes Nunes

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

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

AGRADECIMENTOS

Sendo a presente dissertação, o culminar de um percurso de cinco anos, não posso deixar de agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente deram um grande contributo para que a mesma se realizasse.

Em primeiro lugar, um obrigado às pessoas mais importantes da minha vida, o meu pai e os meus irmãos, não só pelo apoio incondicional ao longo desta caminhada, mas também por me terem fornecido todas as ferramentas para que pudesse terminar este percurso com sucesso.

À minha tia e ao meu primo, um obrigado especial por todo o apoio ao longo de todo o meu percurso académico.

Gostaria de agradecer à APTIV pela oportunidade de desenvolvimento do projeto de dissertação, em especial aos meus dois orientadores da empresa, o Engenheiro João Araújo e o Engenheiro João Soares pela oportunidade e por todos os ensinamentos partilhados durante este meu primeiro contacto com a vida profissional. Expresso o meu maior agradecimento aos meus colegas de trabalho pela capacidade de motivação face às adversidades que foram surgindo, pelo incentivo e trabalho em equipa.

À Universidade do Minho por todos estes anos de ensino e formação. Agradeço ao meu orientador, o Professor Doutor Manuel Lopes Nunes, pela orientação, apoio, disponibilidade e todas as valiosas contribuições para este trabalho.

A todos os meus amigos, os de sempre e àqueles com os quais partilhei estes últimos anos, um obrigado por toda a ajuda e companheirismo. Foi um prazer ter partilhado este caminho convosco.

A todos, o meu sincero obrigado!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

RESUMO

A presente dissertação, realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, foi desenvolvida em contexto industrial na empresa APTIV em Braga com o propósito de realizar a análise e redefinição de processos *Electrostatic Discharge* e *Technical Cleanliness*. Inserida no ramo da indústria automóvel, dedica-se à produção de componentes plásticos e eletrónicos para a construção componentes automóveis como rádios, sistemas de navegação e sistemas de controlo.

O aumento na complexidade da produção técnica exige novos níveis de controlo de partículas que causam contaminações. A multiplicação da complexidade da produção técnica na indústria automóvel exige condições e componentes de produção limpos. A presença de resíduos em peças e na superfície de dispositivos podem produzir produtos não confiáveis ou com desempenho fraco, provocar interrupções, desperdício de materiais e energia, além da devolução do produto.

Adicionalmente, se não existirem medidas anti estáticas, esta poderá interferir com o produto originando a sua falha total, degradação de desempenho, redução da expectativa de vida ou operação instável. A eletricidade estática ou *Electrostatic Discharge* é um fenómeno físico que nem sempre é fácil de detetar, mas origina perda de produção, de tempo e de matéria-prima. Esta pode, ainda, originar incêndios, choque elétrico em operadores, contaminações e danificações aos componentes eletrónicos sensíveis, requerendo elevados custos de manutenção e/ou reparos.

Este projeto consiste na realização de um diagnóstico atual aos processos de *Electrostatic Discharge* e *Technical Cleanliness*, identificação das medidas que já estão a ser devidamente utilizadas, reconhecer erros e não conformidades com as normas e diretrizes internacionais e, por fim, propor soluções de melhoria. Assim, estudou-se a possibilidade de integrar os diferentes tipos de medições num sistema de gestão e manutenção de equipamentos, o *HolisTech*. O objetivo é padronizar processos, garantir qualidade dos equipamentos ao cliente, reduzir a ameaça para a produção e garantir a confiabilidade dos produtos eletrónicos.

PALAVRAS-CHAVE

Ambiente Controlado, *Electrostatic Discharge*, *Technical Cleanliness*

ABSTRACT

This dissertation, carried out under the Integrated Master's Degree in Engineering and Industrial Management, was developed in an industrial context at the company APTIV in Braga with the purpose of carrying out an analysis and redefinition of Electrostatic Discharge and Technical Cleanliness processes. Inserted in the field of the automotive industry, it is dedicated to the production of plastic and electronic components for the construction of automotive components such as radios, navigation systems and control systems.

The increasing complexity of the technical production requires new levels of control of particles that cause contamination. The multiplication of the complexity of technical production in the automotive industries requires clean production and components conditions. The presence of residues on parts and on the surface of devices can produce unreliable or poorly performing products that can lead to malfunctions, the waste of materials and energy, and could result on the return of the product.

Additionally, if anti-static measures are not taken, it may interfere with the product causing its total failure, performance degradation, reduced life expectancy or unstable conditions of use. Static electricity or Electrostatic Discharge is a physical phenomenon that is not always easy to detect, but it causes loss of production, time and raw materials, could even create fires, electricity shocks in operators, contamination and damage to sensitive electronic components, requiring high maintenance and/or repair costs.

The present project consists of carrying out a current diagnosis of the Electrostatic Discharge and Technical Cleanliness processes, identifying the measures that are already in place, determine errors and non-conformities with the international standards and guidelines and, finally, proposing improvement solutions. Baring that in mind, it was analyzed the possibility of integrating different types of measurements into a management and maintenance system equipment, the HolisTech. The objective is to standardize processes, guarantee the quality of equipment for the customer, reduce the threat to production and guarantee the reliability of electronic products.

KEYWORDS

Controlled Environment, Electrostatic Discharge, Technical Cleanliness

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiv
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da Dissertação.....	4
2. Revisão Bibliográfica.....	6
2.1 Noções Básicas de <i>Technical Cleanliness</i>	6
2.1.1 Normas e Diretrizes.....	6
2.1.2 Geração de partículas e a Importância de <i>Technical Cleanliness</i>	9
2.1.3 Classificação de Áreas Limpas.....	13
2.2 Noções Básicas de ESD.....	16
2.2.1 Plano de Controlo ESD e Verificação de Conformidade.....	19
3. Apresentação da Empresa.....	22
3.1.1 Grupo APTIV.....	22
3.1.2 Caracterização do Grupo APTIV em Portugal.....	23
3.1.3 APTIV – Braga, Portugal.....	23
3.1.4 Produtos e Principais Clientes da APTIV de Braga, Portugal.....	25
3.1.5 Missão, Visão e Valores.....	26
3.1.6 Políticas da Empresa.....	26
4. Análise e Redefinição de Processos de <i>Technical Cleanliness</i> na APTIV de Braga.....	28
4.1 Importância de Processos de <i>Technical Cleanliness</i> para a APTIV.....	28
4.2 Estado Atual de Processos de ESD na APTIV.....	32

4.2.1	Medidas Atuais na APTIV de Braga.....	32
4.2.2	Plano de Controlo e Requisitos Práticos da APTIV.....	34
4.2.3	Atual Controlo e Monitorização aos Processos de <i>Technical Cleanliness</i> na APTIV.....	36
4.3	Análise ao Estado Atual de Processos de <i>Technical Cleanliness</i> na APTIV de Braga.....	39
4.3.1	<i>Gap Assessment</i>	39
4.3.2	Medições Efetuadas na APTIV.....	42
4.4	Identificação de Erros e Propostas de Melhoria.....	51
5.	Análise e Redefinição de Processos ESD na APTIV de Braga.....	62
5.1	Importância de Processos ESD na APTIV.....	62
5.2	Estado Atual de Processos de ESD da APTIV.....	64
5.2.1	Medidas Atuais na APTIV de Braga.....	64
5.2.2	Plano de Controlo e Requisitos Práticos da APTIV.....	68
5.2.3	Atual Controlo e Monitorização de Processos ESD na APTIV.....	69
5.3	Análise ao Estado Atual dos Processos ESD na APTIV.....	73
5.4	Potencialidade de Integrar os Diferentes Tipos de Medição no <i>software HolisTech</i>	77
5.4.1	Integração do <i>Software HolisTech</i> e as suas Vantagens para a APTIV.....	77
5.5	Erros Identificados na APTIV e Propostas de Melhoria.....	83
6.	Conclusões.....	91
6.1	Considerações Finais.....	91
6.2	Limitações.....	92
6.3	Trabalho Futuro.....	93
	Referências Bibliográficas.....	94
	Apêndice 1 – <i>General Requirements Technical Cleanliness</i>	96
	Apêndice 2 – ficha de mediações de partículas aéreas.....	97
	Apêndice 3 – <i>General Requirements ESD</i>	99
	Anexo 1 – Requisitos ESD da APTIV para as medições dos equipamentos (Fonte: IEC 61340-5-1) ...	101
	Anexo 2 – <i>Roadmap: Technical Cleanliness</i>	103
	Anexo 3 – <i>Roadmap: ESD</i>	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- VDA 19 Parte 1 e Parte 2	7
Figura 2 - ZVEI.....	8
Figura 3 - Importância de Technical Cleanliness ao longo dos anos	9
Figura 4 - Exemplo de um curto-circuito num PCB (Fonte Zestron).....	10
Figura 5 - Fontes de Partículas no Produto Final (Fonte – Fraunhofer IPA)	12
Figura 6 - Grupo de fatores que influenciam a limpeza em áreas próprias em consonância com os capítulos da diretriz (Fonte VDA 19.1, 2015).....	13
Figura 7 - Normas e Diretrizes Internacionais de ESD	17
Figura 8 - Símbolo "Não protegido contra ESD"	18
Figura 9 - Símbolo de Suscetibilidade ESD	19
Figura 10 - Símbolo de Proteção ESD.....	19
Figura 11 - Esquema de uma EPA com uma referência de aterramento (Fonte IEC 613405-1)	20
Figura 12 - Logotipos da Delphi Technologies e da APTIV após a spin-off da Delphi.....	22
Figura 13 - Presença Global e Capacidades da APTIV	23
Figura 14 - Localizações da APTIV em Portugal	23
Figura 15 - Instalações da APTIV em Braga	24
Figura 16 - Complexo industrial da APTIV de Braga	25
Figura 17 - Product Portfolio by Product Line da APTIV de Braga	25
<i>Figura 18 - Principais Clientes da APTIV.....</i>	<i>26</i>
Figura 19 - Exemplo de um dispositivo eletrónico produzido na APTIV.....	28
Figura 20 - Exemplo de ADAS produzidos pela APTIV	29
Figura 21 - Erros nos dispositivos devido à presença de partículas.....	30
Figura 22 - Número de casos detetados na APIV em 2019	31
Figura 23 - Tipo de partículas nos casos de OKm em 2019	31
Figura 24 - Partículas em dispositivos que provocaram o mau funcionamento do produto final	32
Figura 25 - Aparelhos utilizados para medir e determinar as partículas na APTIV	32
Figura 26 - Áreas CG do Edifício 1 e do Edifício 2 da Fábrica de Braga da APTIV.....	33
Figura 27 - StickyMats	33
Figura 28 - Entrada para a zona de produção.....	34

Figura 29 - Aparelhos de medição de partículas	36
Figura 30 - Localização das medições às partículas aéreas no edifício 1	37
Figura 31 - Localização das particle traps no edifício 1	38
Figura 32 - Exemplo do relatório com o número de partículas numa particle trap.....	38
Figura 33 - Imagens das partículas presente no relatório das particle traps.....	39
Figura 34 - Folha de Resultados.....	41
Figura 35 - Resultado da primeira auditoria interna aos processos de Technical Cleanliness	41
Figura 36 - Gráfico com o resultado da auditoria aos processos de Technical Cleanliness	42
Figura 37 - Medições de partículas aéreas por área - 5,0 µm	44
Figura 38 - Medições de partículas aéreas por área – 0,5 µm	44
Figura 39 - Medições de partículas aéreas por área desde 2015 - 5,0 µm	45
Figura 40- Exemplo de uma <i>Particle Trap</i>	46
Figura 41 - Excel Medições Particle Traps	48
Figura 42 – Distribuição das Partículas na SMT	49
Figura 43 – Distribuição das Partículas na CBA.....	49
Figura 44 - Distribuição das Partículas na FA	50
Figura 45 - Distribuição das Partículas no WH.....	50
Figura 46 - Novas áreas CG do edifício 1 da APTIV de Braga	51
Figura 47 - Exemplos de erros na separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1.....	52
Figura 48 - Exemplo de erros na separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1	52
Figura 49 - Exemplos de erros na separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1.....	53
Figura 50 - Nova classificação das áreas CG no edifício 2.....	53
Figura 51 - Exemplos de materiais encontrados numa CG2.....	54
Figura 52 - Luvas encontradas ao longo da zona de produção	55
Figura 53 – Exemplos de sujidades encontradas.....	56
Figura 54 – Partículas visíveis em equipamentos de contacto direto com os dispositivos	57
Figura 55 – Localização das medições airborne na CG3.....	58
Figura 56 - Resultado das medições às partículas aéreas na sala limpa – 0,5 µm	59
Figura 57 - Resultado das medições às partículas aéreas na sala limpa – 5,0 µm	59
Figura 58 - Microscópio	60
Figura 59 - Exemplo de uma falha visível ESD	62
Figura 60 - Exemplo de uma falha EOS.....	63

Figura 61 - Exemplo de símbolos de identificação à entrada de uma EPA na APTIV.....	64
Figura 62 - Identificação das áreas protegidas ao ESD e das áreas não protegidas no edifício 1 da APTIV de Braga	65
Figura 63 - Identificação das áreas protegidas ao ESD e das áreas não protegidas no edifício 2 da APTIV de Braga	65
Figura 64 – Regras de vestimenta necessárias para entrar numa EPA na APTIV	66
Figura 65 - Torniquete que realiza o controlo dos sapatos ESD	67
Figura 66 - Exemplo de um projeto de design de segurança ESD.....	67
Figura 67 - Exemplo da verificação ESD a uma correia de distribuição.....	70
Figura 68 - Tabela Excel com o plano de verificação genérico de ESD na APTIV de Braga	70
Figura 69 - Modo de armazenamento de medições ESD atual	71
Figura 70 – Aparelhos de medição Metriso 3000 e Safety Pips Calibration Unit.....	71
Figura 71 - Metriso 3000 software	72
Figura 72 - Folha de verificação da monitorização continua atual das pulseiras.....	72
Figura 73 - Índice do Formulário de Auditoria ESD	74
Figura 74 - Folha de resultados.....	75
Figura 75 - Resultado da primeira auditoria ESD	76
Figura 76 - Gráfico com o resultado da auditoria ESD.....	76
Figura 77 - Página Inicial do HolisTech Web.....	77
Figura 78 - Criar um asset no software HolisTech.....	78
Figura 79 - Exemplo da lista de assets no software HolisTech.....	78
Figura 80 - Organização dos assets no HolisTech	79
Figura 81 - Etiqueta ESD.....	80
Figura 82 - Funcionalidades do software HolisTech	81
Figura 83 - Novo Plano de Verificação ESD.....	81
Figura 84 - Passos a realizar para as medições ESD numa bancada de trabalho	82
Figura 85 - Entrada para uma EPA sem identificação	83
Figura 86 - Sinalização "Sem Proteção ESD".....	84
Figura 87 - Pulseira de Aterramento.....	85
Figura 88 - Equipamento não dissipativo na EPA.....	85
Figura 89 - Utilização de equipamentos não ESD numa EPA.....	86
Figura 90 - Desgaste/ danificação das etiquetas ESD.....	86

Figura 91 - Cadeira ESD devidamente identificada..... 89

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Graus de limpeza num ambiente controlado	15
Tabela 2 – Parâmetros para cada CG	43
Tabela 3 - Classes e Fator de Ponderação de acordo com o tamanho das partículas.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ADAS - *Advanced driver-assistance systems*

ANSI - *American National Standards Institute*

CBA - *Circuit Board Assembly*

CG – *Cleanliness Grade*

E&S – *Electronics and Safety*

EOS – *Electrical Overstress*

EPA – *ESD Protected Area*

ESD – *Electrostatic Discharge*

ESDS – *ESD Sensitive Device*

FA – *Final Assembly*

JEDEC - *Joint Electronic Devices Engineering Council*

MMT – *Manufacturing Technology Teams*

PCB – *Printed Circuit Boards*

RP – *Required Practices*

SMT – *Surface Mount Technology*

WH – *Warehouse*

WIP – *Work in Process*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo encontra-se descrito o projeto realizado na empresa APTIV, em Braga. Ao longo deste capítulo apresenta-se o enquadramento do projeto, uma breve apresentação da empresa, os seus objetivos pretendidos, a metodologia de investigação utilizada e, por fim, a estrutura adotada na elaboração da dissertação.

1.1 Enquadramento e Motivação

Atualmente, no mundo empresarial, crescer é sinónimo de inovar. Se as empresas se querem manter e destacar no mercado, precisam de estar sempre à procura de inovações que as diferenciam da concorrência. Adicionalmente, para as mesmas permanecerem no mercado têm de alcançar padrões de referência e têm de oferecer uma grande variedade de produtos, com qualidade, a um preço competitivo e atrativo para o seu cliente (Gonçalves Filho & Marçola, 1996).

Assim, é necessário muito trabalho diário para que uma empresa se mantenha ativa e com forte atuação no mercado. Aliada à inovação vem a evolução tecnológica que, em simultâneo, constituem a chave para qualquer negócio crescer e responder atempadamente às oportunidades do mercado e tecnologias em mudança (Lloréns et al., 2005). É justamente o investimento em soluções tecnológicas que proporciona essa vantagem competitiva, fazendo com que a empresa aumente a sua participação no mercado, a sua receita, as suas possibilidades de realizar parcerias e o valor agregado dos seus produtos e serviços.

Cada vez mais as empresas encaram o desafio de baixar os custos dos processos produtivos devido à constante mudança das condições do mercado e à pressão competitiva global (Dombrowski et al., 2016). Deste modo, a complexidade e o volume dos produtos está a aumentar cada vez mais pelo que os esforços para aumentar a qualidade estão inerentes à qualidade de qualquer empresa (Aguado et al., 2013).

A APTIV é uma empresa global de tecnologia que desenvolve soluções mais seguras, ecológicas e mais conectadas, que possibilitam o futuro da mobilidade. É uma empresa que fornece recursos de *software*, plataformas avançadas de computação e arquitetura de rede que fazem a mobilidade funcionar. Sendo assim, acredita e aposta no poder da nova mobilidade e pretende aumentar a sua segurança, a sua conectividade e, ainda, tornar a mobilidade o mais verde possível.

O principal objetivo da APTIV é oferecer qualidade aos seus clientes. As integrações de circuitos possibilitam experiências cada vez melhores, mas dão origem a circuitos complexos e os produtos passam a fazer parte de sistemas mais interligados/dependentes. Com o aumento da complexidade, também os riscos são maiores e, a rede de módulos eletrônicos nos veículos é cada vez mais responsável pela nossa segurança e, num futuro próximo o automóvel ficará nas mãos da tecnologia.

Os processos que se pretenderam analisar na unidade produtiva de Braga foram os processos de ESD & *Technical Cleanliness*. A principal preocupação foi com as danificações dos seus dispositivos devido à contaminação de partículas e eventos que podem levar à ocorrência de eventos ESD. O objetivo foi tentar eliminar, ou pelo menos diminuir, a ocorrência deste tipo de falhas na fábrica de Braga.

Segundo Taiichi Ohno (1988), o *Lean manufacturing* pretende eliminar os desperdícios e otimizar os processos. Porém, é necessário identificar esses desperdícios. Aprender a identificar os desperdícios é a base para iniciar as mudanças que é necessário implementar, para atingir o propósito inicial pelo qual foi iniciado um estudo nessa área.

Este projeto visa identificar as causas que geram erros nos processos de ESD & *Technical Cleanliness*, ou seja:

- Analisar o estado atual;
- Investigar causas e fatores que ocasionam erros e falhas;
- Apresentar alternativas para a melhoria dos processos;
- Concluir sobre os benefícios através dos resultados obtidos.

Concluindo, este projeto teve o seu principal foco na análise e redefinição de processos de ESD & *Technical Cleanliness* na APTIV e, após realizado todo este estudo, o objetivo foi divulgar regras e boas práticas para que a implementação de melhorias se mantenha.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto foi a análise de processos e redefinição das áreas com características especiais da empresa APTIV em Braga. Com a realização deste projeto pretendeu-se analisar o estado atual de processos de ESD & *Technical Cleanliness* da unidade produtiva.

Deste modo, foi necessário realizar um diagnóstico inicial. Assim, para ser possível identificar os riscos e melhorias que podem ser realizadas nestas áreas da fábrica de Braga, foi essencial estudar todas as ações que pudessem contribuir para o melhoramento das diversas áreas e, conseqüentemente, reduzir

todos os erros que pudessem estar a ocorrer de modo a evitar falhas, que representam desperdícios de diversos recursos à APTIV.

Adicionalmente, com o presente projeto, pretendeu-se realizar uma redefinição do processo de medições de ESD & *Technical Cleanliness* da fábrica de Braga e avaliar as potencialidades de integrar estes diferentes tipos de medições no software *HolisTech*. Além disso, foi fundamental definir regras e boas práticas que devem ser executadas por todos os trabalhadores e posteriormente proceder à elaboração da documentação de processo.

1.3 Metodologia de Investigação

O presente projeto foi desenvolvido em ambiente industrial e teve como propósito diagnosticar o estado atual de processos ESD e *Technical Cleanliness* da APTIV e do seu processo de medições. Esta análise inicial foi essencial para que numa fase seguinte fossem elaboradas propostas de melhorias e um plano de ação que permitisse a implementação das mesmas. Ou seja, neste processo de investigação foi realizada uma abordagem indutiva (Saunders et al., 2019), uma vez que a pesquisa foi realizada através de recolha de dados e informação para depois ser elaborada uma teoria com base nessa análise.

Assim, na fase inicial do projeto foram definidos os objetivos gerais e específicos do projeto. De seguida, realizou-se uma revisão bibliográfica de modo a obter uma ampla visão sobre os temas abordados neste projeto e um ponto de partida baseado na informação pesquisada. Esta fase foi significativamente importante e requereu uma investigação e a leitura de diversos artigos, relatórios e dissertações de mestrado que continham informação relevante para o projeto a ser realizado. No final, foi necessário filtrar a informação pesquisada e utilizar apenas a que facilitasse a compreensão do estudo.

Como a realização do projeto implicou o planeamento de todas as atividades que se pretendiam vir a desenvolver, a implementação dessas atividades e, por fim, a avaliação dos resultados obtidos, a metodologia de investigação mais adequada a utilizar foi a Investigação-Ação (*Action Research*). Esta metodologia é descrita como uma família de metodologias de investigação que incluem ação e investigação e, onde há o envolvimento não só do investigado, como de todas as pessoas envolvidas no projeto (O'Brien, 1998).

Na fase seguinte foi realizado um planeamento do projeto, com o objetivo de perceber o porquê da sua realização e viabilidade. Seguidamente, procedeu-se à análise do processo utilizado atualmente, isto é, identificar os recursos necessários, potenciais problemas ou riscos, e todos os fatores externos e internos que possam influenciar o processo de ESD & *Technical Cleanliness*.

Na fase seguinte foi necessário replicar todo este planeamento e análise, mas agora na área das medições do processo e avaliar a potencialidade de as integrar no software *HolisTech*. A recolha e análise de dados deve ser realizada de forma a utilizar o método misto (Creswell, 2010). Este método é utilizado na análise de documentos, registos e arquivos como fontes para a recolha de dados e na observação direta. Assim, é caracterizado por uma abordagem de investigação que associa as formas qualitativa e quantitativa num só estudo.

Depois de realizada a análise e de se verificarem os melhores métodos e comportamentos que se devem ter nesta área de produção, de forma a eliminar os erros que acontecem ou pelo menos diminuir a sua probabilidade de ocorrência, foram implementadas um conjunto de normas e medidas. Posteriormente, decorreu a divulgação das novas regras e boas práticas que os trabalhadores terão de adotar.

Por fim, as últimas fases constituem a elaboração de toda a documentação de processo e a redação e desenvolvimento da dissertação, que irá decorrer ao longo de todo o período do projeto e, como tal, tem em consideração todas as fases anteriormente mencionadas.

1.4 Estrutura da Dissertação

A estrutura da dissertação inicia pelo presente capítulo 1 que abrange a introdução, o enquadramento, os objetivos e a metodologia de investigação utilizadas. A seguir, o capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica elaborada, onde se pode ter acesso aos conceitos básicos de ESD e *Technical Cleanliness*. De seguida, o capítulo 3 contém a apresentação da empresa onde foi realizada a presente dissertação de mestrado, a APTIV. Começa com uma breve apresentação do grupo, passando para a sua caracterização em Portugal e, posteriormente, mais especificamente em Braga. No fim são mostrados os produtos produzidos em Braga, os seus principais clientes, a missão, visão e valores da APTIV e a política da empresa.

O capítulo 4 é iniciado com a análise e redefinição dos processos de *Technical Cleanliness* na APTIV. Começa pela demonstração da importância destes processos para a unidade produtiva de Braga, seguida pelas medidas e plano de controlo atuais e, posteriormente, contém uma análise para identificar os erros e propor melhorias.

O capítulo 5 segue exatamente a mesma estrutura do capítulo 4, mas referente aos processos de ESD. Adicionalmente ao capítulo anterior, este contém a potencialidade de integrar os diferentes tipos de medições ESD no software *HolisTech*.

Finalmente, o último capítulo é referente às conclusões da presente dissertação de mestrado, incluindo as principais limitações e os passos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica dos tópicos que suportaram este projeto de dissertação de mestrado. Realiza-se uma abordagem às características e aos métodos necessários para garantir a conformidade dos processos analisados. Assim, apresentam-se as noções básicas dos processos de ESD e *Technical Cleanliness* a ter em consideração dentro de uma unidade produtiva com um ambiente controlado como a APTIV.

2.1 Noções Básicas de *Technical Cleanliness*

2.1.1 Normas e Diretrizes

Technical Cleanliness é um tema utilizado há muitos anos, mas só mais recentemente é que começou a ser considerado num contexto industrial, para a melhoria dos processos e diminuição de falhas nos dispositivos.

Como o próprio nome indica, *Technical Cleanliness* é o termo utilizado para a limpeza técnica e foi concebido pela indústria automóvel para prevenir e reduzir os níveis de partículas que podem criar falhas no produto ou interrupções nos sistemas. Ao contrário da limpeza ótica, que acomoda a aparência visual ou cosmética, a limpeza técnica é relativa ao desempenho de componentes, produtos montados e sistemas.

A maioria dos circuitos em automóveis e unidades mecânicas e eletrónicas podem sofrer contaminação por partículas o que pode causar problemas funcionais. Os componentes que constituem estas unidades são geralmente limpos após a sua fabricação, e o seu nível de limpeza tem de estar de acordo com as normas de gestão de qualidade da indústria automóvel, a VDA 19 (Figura 1).

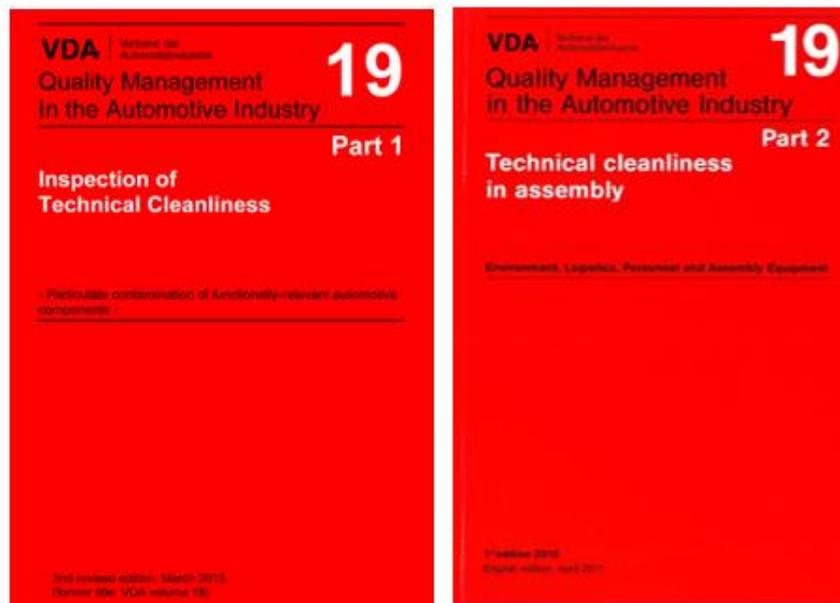


Figura 1- VDA 19 Parte 1 e Parte 2

A VDA Volume 19 Parte 1 *Inspection of Technical Cleanliness – Particulate Contamination of Functionally Relevant Automotive Components* (VDA 19.1, 2015) é uma diretriz que descreve as condições para aplicar e documentar métodos para determinar a contaminação de partículas de componentes funcionalmente relevantes. Fornece uma base para o desenvolvimento de inspeções de limpeza que são comparáveis em termos de projeto e execução, definidos entre cliente e fornecedor. Já a VDA Volume 19 Parte 2 *Technical Cleanliness in Assembly* (VDA 19.2, 2010) serve como um auxílio adicional na identificação e avaliação de fontes de partículas ao longo da cadeia de produção, nas áreas sensíveis à limpeza. As publicações da VDA mostram claramente que o tema da limpeza técnica não faz parte de nenhum currículo universitário e é por isso que não há especialistas formados especificamente neste campo.

A dar apoio a esta norma, existe uma diretriz elaborada pela Associação Alemã de Fabricantes de Produtos Elétricos e Eletrônicos, a ZVEI *Technical Cleanliness in Electrical Engineering* (ZVEI, 2014) (Figura 2), que contém informação adicional sobre recomendações para a extração de partículas, exemplos práticos na fabricação eletrônica e uma ferramenta que avalia o risco para curto-circuito originado pela presença de partículas. Segundo este guia, “a limpeza de componentes refere-se à ausência de partículas de componentes que podem prejudicar os processos de produção a jusante e/ou afetar negativamente o desempenho de um componente ou montagem”.

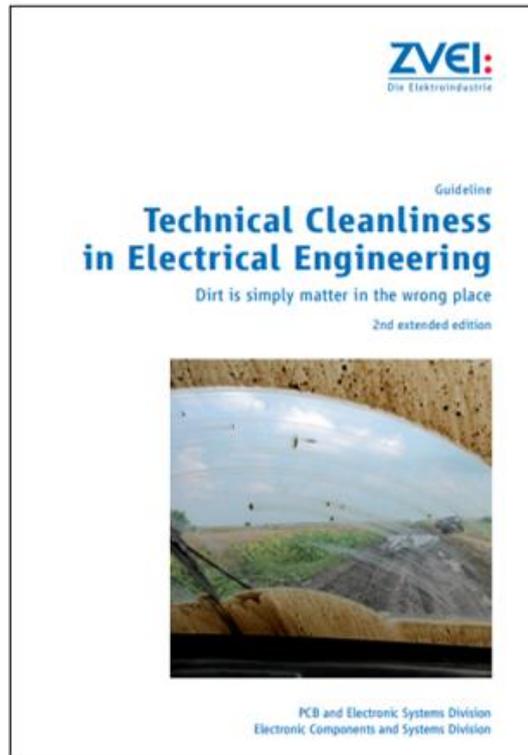


Figura 2 - ZVEI

A Organização Internacional de Padronização, ISO 16232:2018, também contem documentos que especificam os requisitos para a aplicação e documentação de métodos para determinar a contaminação por partículas em componentes e sistemas funcionalmente relevantes (inspeção de limpeza) de veículos rodoviários.

A ISO 16232-1 (ISO 16232, 2007, p.1) define o vocabulário usado na caracterização e medição de partículas, contaminação de peças, componentes, subconjuntos e conjuntos a fim de complementar a utilização unificada de termos no domínio da limpeza de componentes de veículos rodoviários. Por isso, esta norma é indispensável para a correta compreensão de assuntos relacionados com as salas limpas e ambientes controlados (ISO 14644, 2005, p.1) e sistemas de gestão da qualidade (Consultants et al., 2005).

Segundo a ISO 14644-2 (ISO 14644, 2015, p.2) uma inspeção de limpeza compreende a base de uma avaliação de limpeza técnica, que é realizada, por exemplo, nas seguintes circunstâncias:

- Inspeção e Avaliação inicial;
- Inspeção de componentes de entrada e saída;
- Controlo de qualidade ou monitorização de processos de fabricação relevantes para a limpeza.

Estes documentos têm como objetivo melhorar a qualidade informativa e a comparabilidade dos resultados dos testes e definem a expressão padronizada de especificações de limpeza e resultados de testes de limpeza na cadeia de qualidade da indústria automóvel.

2.1.2 Geração de partículas e a Importância de *Technical Cleanliness*

Quando existem ambientes em que a limpeza é um fator fulcral, todas as etapas de fabricação seguintes, como o transporte, armazenamento e montagem, também precisam de seguir determinadas normas para que o sistema não falhe devido à geração ou entrada de partículas. Este tipo de contaminação, por vezes, não se limita a uma determinada área, mas pode deslocar-se de um local anteriormente não crítico para um local sensível e, portanto, prejudicar o desempenho.

No início dos anos 90, havia a noção de que as partículas podiam interferir com os dispositivos como é o caso de sistemas de travagem e com a transformação dos carros em carros autónomos. Este é um assunto que tem vindo a apresentar cada vez mais uma maior preocupação.

Os responsáveis por sistemas produtivos começaram a preocuparem-se com as partículas que têm na produção e como é que podiam ser realizadas as medições destas partículas e tentar monitorizar o nível de limpeza de um produto.

A Figura 3 representa uma das razões porque a *Technical Cleanliness* é cada vez mais importante, uma vez que se trata de voltagens e os curto-circuitos podem provocar erros graves não só na placa dentro da empresa, mas também no cliente final.

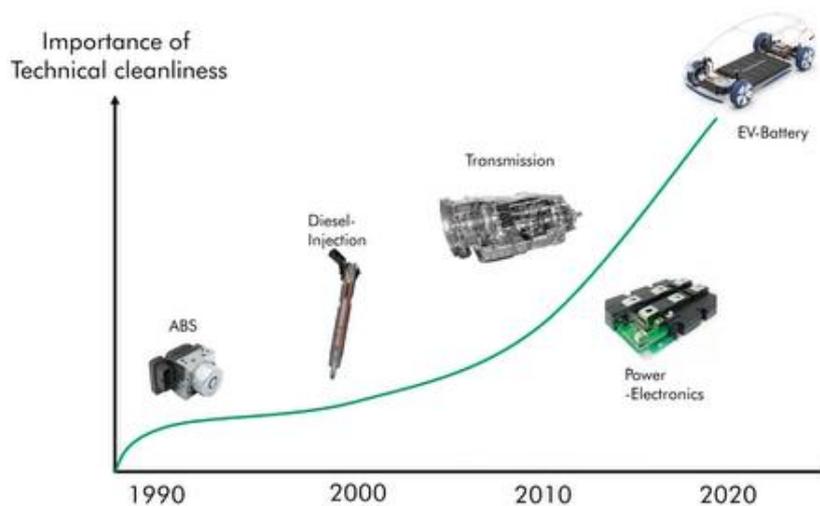


Figura 3 - Importância de *Technical Cleanliness* ao longo dos anos

Deste modo, podemos concluir que o objetivo é impedir a geração de contaminação crítica por partículas em locais sensíveis, remover partículas inevitáveis e proteger componentes e sistemas montados contra

a entrada de partículas nos arredores. Isto é necessário para tomar as medidas técnicas e económicas corretas e evitar custos desnecessários sem benefícios significativos para o produto final.



Figura 4 - Exemplo de um curto-circuito num PCB (Fonte *Zestron*)

É por isso que os requisitos técnicos de limpeza de uma indústria geralmente aplicam-se a sistemas completos, pelo qual o dispositivo mais sensível à presença de partículas é o que determina o nível de limpeza e os valores limites admissíveis para todo o sistema e para todos os seus componentes. Para cumprir os objetivos técnicos é necessário padronizar procedimentos para planejar e otimizar as áreas de montagem sensíveis à limpeza. Assim, após a verificação e o alinhamento dos requisitos necessários, os aspetos abordados servirão como base para desenvolver:

- Procedimentos;
- Lista de verificação;
- Instruções de trabalho;
- Especificações de performance.

A questão sobre quando um componente é considerado suficientemente limpo só pode ser respondida num contexto da aplicação relevante. Esta é a base para a definição da dimensão máxima de partículas e materiais de partículas, quando o desempenho de um conjunto a ser fabricado pode ser prejudicado, e como garantir um processo de produção ininterrupto. Os valores limitantes, a serem especificados para partículas, garantem que nenhuma partícula fora das faixas designadas seja encontrada em qualquer componente no final da cadeia de fabricação. Assim, é necessário decidir:

- que partículas produzidas é que podem ser toleradas;
- se são necessárias otimizações de processos para evitar a geração de partículas;
- se todas as partículas indesejadas são especificamente removidas no final da linha de fabricação.

Independentemente da abordagem selecionada, existe sempre uma dificuldade: as partículas problemáticas são produzidas inadvertidamente e não deliberadamente. Estas são um subproduto do

ambiente de fabricação, da adequação para a limpeza subsequente, das embalagens utilizadas e de considerações logísticas (VDA 19 Parte 2) e não podem ser controladas, nem eliminadas, através de um controlo estatístico do processo (padrão). As condições de produção controladas necessárias (graus de zona limpa) requerem, por isso, um esforço e tempo superiores. Por essa razão, é aconselhável determinar (juntamente com os clientes) os valores limitantes apenas quando é funcionalmente relevante.

Os procedimentos para determinar a limpeza dos componentes de acordo com a VDA Volume 19 são padronizados, reproduzíveis e também mais objetivos. No entanto, devem ser observados os seguintes pontos ao aplicar esses procedimentos:

- a geração de partículas pode variar fortemente;
- a deteção de partículas depende do método de análise e qualidade;
- as inspeções são caras e exigem um laboratório, que restringe o número de componentes de teste;
- as análises do sistema de medição não são possíveis para todo o processo de inspeção da limpeza técnica;
- as inspeções a decorrerem com medidas regulatórias associadas só podem ser implementadas após atrasos significativos.

Na prática, as análises de limpeza, segundo a VDA Volume 19, são utilizadas ao longo da produção e quando há motivos razoáveis para suspeita. Com a publicação do VDA Volume 19/ISO 16232, foram definidos procedimentos padronizados entre empresas para registar, analisar e documentar informações de limpeza de componentes.

Segundo o Instituto de Engenharia de Produção e Automação, *Fraunhofer IPA* (Schumacher et al., 2020), tendo em consideração os riscos de contaminação e sua importância do ponto de vista do produto, desde a fase de protótipo até à de montagem final, é necessário elaborar conceitos de limpeza adaptados aos diferentes componentes e indústrias. A ênfase está na solução económica que melhora a limpeza do produto e evita investimentos equivocados.

O aparecimento de partículas técnicas de limpeza é na maioria das vezes proveniente dos componentes (40%), da montagem (40%) e do ambiente envolvente (20%).

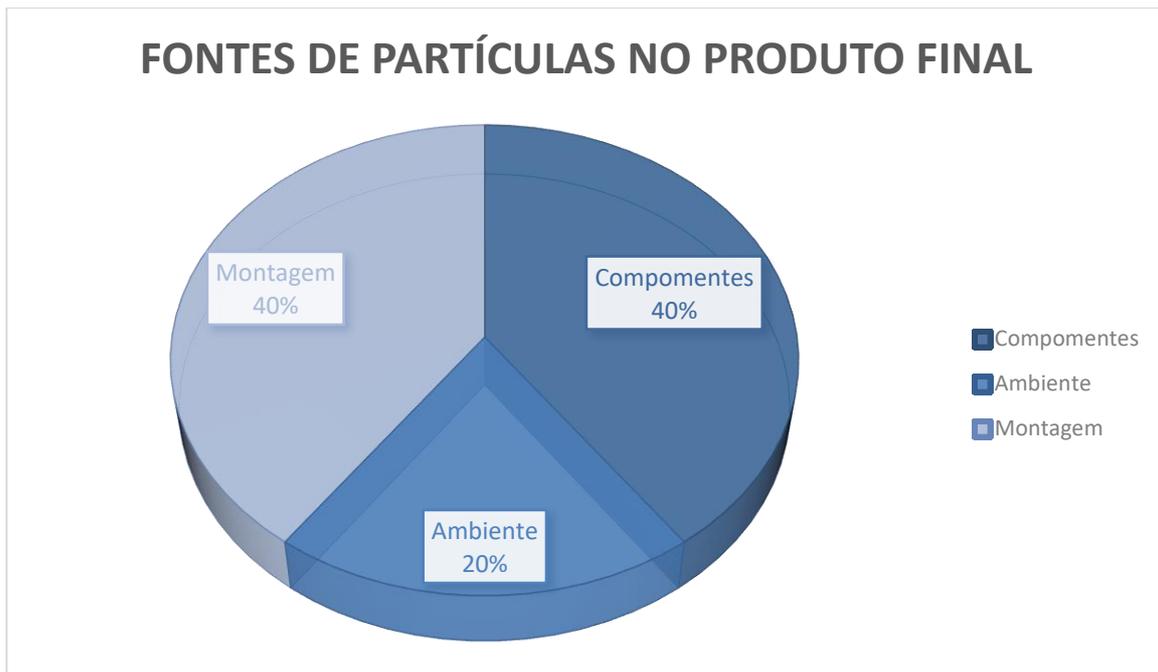


Figura 5 - Fontes de Partículas no Produto Final (Fonte – *Fraunhofer* IPA)

Na fabricação de componentes e subconjuntos, inúmeros fatores influenciadores podem afetar a limpeza do produto, como é o caso dos:

- Processos de fabricação;
- Pessoal;
- Tecnologia de lavagem;
- Transporte, armazenamento, logística;
- Ambiente de fabricação;
- Processos;
- Design adequado à limpeza;
- Garantia de qualidade.

Um número significativo de testes e estudos de empresas demonstram que os fatores de influência não têm sido avaliados de forma padronizada. Isso resultou em abordagens muito diferentes que foram implementadas para reduzir a contaminação nas várias indústrias ou locais industriais, e estava associada a diferentes graus de sucesso e custos significativamente flutuantes. Para estruturar e padronizar o procedimento, a norma VDA agrupou os fatores de influência nas seguintes áreas:

- Meio Ambiente;
- Logística;

- Pessoal;
- Instalações de montagem.

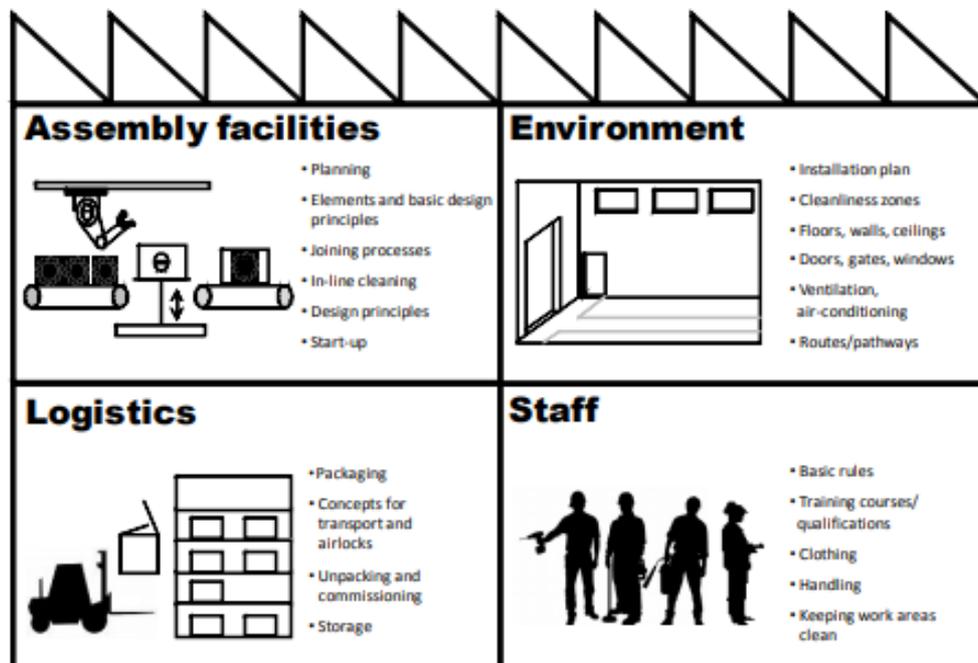


Figura 6 - Grupo de fatores que influenciam a limpeza em áreas próprias em consonância com os capítulos da diretriz (Fonte VDA 19.1, 2015)

2.1.3 Classificação de Áreas Limpas

Em particular, na indústria automóvel e seus fornecedores, os requisitos de limpeza aumentaram significativamente. Devido ao elevado número de etapas de fabricação e extensas cadeias de fornecedores, é extremamente difícil para as empresas interessadas identificar os processos que influenciam fortemente a limpeza do produto. Verifica-se que existem investimentos significativos, sem a certeza de que estes sejam eficazes. Por exemplo, a aquisição de novas máquinas de lavar ou a realocação de linhas de montagem numa sala de limpa.

Em muitos casos, as medidas de melhoria da limpeza estão associadas a investimentos e a custos operacionais. Para manter os custos num valor aceitável, a instalação de áreas com um ambiente controlado são projetadas e otimizadas de acordo com os seguintes princípios:

- **Tão limpo quanto o necessário, não o mais limpo possível:** apenas as partículas que podem afetar a função dos componentes ou dos seus agregados é que devem ser consideradas. Por este motivo, as especificações de limpeza são a base para o planeamento e a otimização.

- **De dentro para fora:** as fontes de partículas tornam-se cada vez mais críticas quanto mais próximas estão de componentes ou agregados. Portanto, na diretriz é priorizada uma diferenciação entre a influência direta de factos e as medidas derivadas. Como resultado, as fontes de partículas em contato direto com o componente são eliminadas antes que sejam tomadas medidas no ambiente envolvente.

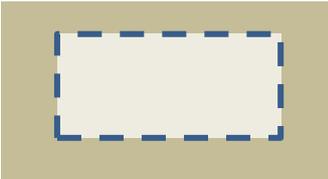
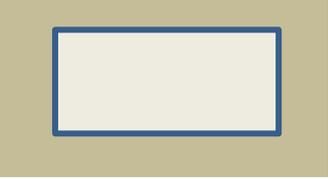
Do ponto de vista técnico e económico, raramente é possível evitar numa instalação de montagem completa todas as partículas consideradas de forma funcionalmente crítica no meio ambiente e em todos os processos logísticos. No entanto, essas partículas podem não atingir as superfícies funcionais de limpeza de componentes ou agregados. Isso pode ser conseguido através da triagem de fontes de partículas de componentes ou de etapas desprotegidas e sensíveis à limpeza dos componentes, que só estão expostas a fontes de partículas inevitáveis pelo menor tempo possível.

A função básica de uma área limpa num ambiente controlado é manter influências contaminantes longe de áreas descontroladas, como, por exemplo, o processamento mecânico ou as entregas recebidas, bem como as influências ambientais naturais. Isso refere-se, em primeiro lugar, ao controlo e redução das partículas existentes no ar envolvente (partículas transmitidas pelo ar). Por meio de especificações adequadas de medidas relativas ao pessoal e à transferência de materiais, também impede a entrada e expansão interna da contaminação.

Assim, são definidas áreas com requisitos de limpeza para proteger superfícies e mercadorias sensíveis. Uma área limpa serve para manter da melhor forma possível o grau de limpeza necessário dos componentes, materiais auxiliares e sistemas durante o processamento. Os níveis de limpeza dos componentes não devem ser reduzidos como resultado de influências ambientais.

Uma área limpa é uma área onde a entrada de contaminação é prevenida. Qualquer contaminação degenerada nessa área é cuidadosamente confinada e removida. O desenho, as medidas e a utilização de áreas limpas dependem dos requisitos de limpeza dos produtos em causa. O diagrama apresentado na Tabela 1 mostra como o design é orientado para o grau de limpeza (CG) necessário.

Tabela 1 - Graus de limpeza num ambiente controlado

Grau	Descrição	Layout
CG0	<p>Zona não controlada:</p> <ul style="list-style-type: none"> Nenhuma regulamentação orientada para a Limpeza (para além dos 5S). 	
CG1	<p>Cleanliness Zone:</p> <ul style="list-style-type: none"> Zona separada de áreas críticas por marcações ou cortinas; Com regras orientadas à sua limpeza e à circulação de pessoas e materiais nas áreas adjacentes; Ar condicionado normal. 	
CG2	<p>Cleanliness Room:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sala com separação física das restantes (por divisória fechada/parede); Com regras orientadas à sua limpeza e à circulação de pessoas e materiais nas áreas adjacentes; Ar condicionado normal. 	
CG3	<p>Cleanroom:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sala com separação física das restantes; Sistema de zonas diferenciadas (“room-in-room”) com acesso controlado; Com regras orientadas à sua limpeza e à circulação de pessoas e materiais nas áreas adjacentes; Equipada com tecnologia de ar limpo. 	

Dependendo do grau de limpeza de cada área, é descrita a maneira como esta deve ser projetada. Assim como medidas e regulamentações adicionais que são necessárias, no que diz respeito ao ambiente em que se encontra, às pessoas, à logística e ao embalamento.

Ao planear e usar áreas limpas, uma série de medidas e regulamentos devem ser observados:

- demarcação clara de áreas limpas, entradas e saídas;
- listagem dos métodos de embalagem prescritos e materiais de embalagem proibidos para entrega, fornecimento e expedição;
- responsabilidades em relação à limpeza, cuidados e manutenção;
- planos de limpeza e manutenção;

- fornecimento de equipamentos necessários para as tarefas de limpeza e, se necessário, roupas especiais;
- coordenação, documentação e verificação de medidas de modificação, procedimentos de instalação, reparações e outras intervenções em áreas limpas;
- tipo de verificação de áreas, equipamentos e procedimentos limpos;
- as especificações de limpeza podem não contradizer outras regras e regulamentos (por exemplo, prevenção de acidentes, incêndio e proteção física).

Como referido anteriormente, os principais fatores de influência, a serem considerados em detalhe suficiente, para permitir que as fontes de partículas sejam avaliadas e otimizadas/reduzidas com eficiência, são o meio ambiente em que o produto se encontra, a logística, o pessoal e as instalações de montagem.

Para impedir que partículas contaminantes da embalagem externa cheguem ao ambiente de montagem, requer-se um maior cuidado com os processos de montagem, o design do produto e equipamentos manuseados. A embalagem externa também deve ser projetada para se adequar ao grau de limpeza da área de montagem na qual os produtos embalados são transportados. Isso minimiza o risco de deslocamento de partículas.

2.2 Noções Básicas de ESD

Segundo a norma internacional IEC 61340-5-1 (International & Commission, 1999), ESD corresponde à transferência de carga eletrostática entre corpos de diferentes potenciais eletrostáticos. Pode ser causado através do contato direto, induzido um campo eletrostático ou devido à humidade relativa do ambiente que tem um elevado efeito no valor das cargas geradas.



Figura 7 - Normas e Diretrizes Internacionais de ESD

Atribui-se o nome de ESD *Sensitive Device* (ESDS) a dispositivos que podem ser danificados por campos eletrostáticos ou descargas eletrostáticas, como é o caso de um dispositivo sensível, circuito integrado ou montagem dos mesmos. Ou seja, os dispositivos e montagens sensíveis podem ser danificados devido a um evento ESD durante o seu manuseamento, montagem ou teste e é uma das principais causas de falhas de circuitos integrados.

Os dispositivos ESDS expostos à ESD podem falhar imediatamente e serem detetados na fase a que são sujeitos a teste funcional. No entanto, alguns dispositivos podem ficar apenas parcialmente danificados e ainda funcionar, pelo menos durante um tempo. Essas falhas permanecem latentes, o que as torna eventualmente indetetáveis, as quais se manifestam mais tarde, originando devoluções.

Os defeitos ESD latentes estão geralmente associados a falhas devido à ocorrência de *Electrical Overstress* (EOS) no dispositivo.

Para evitar este tipo de ocorrência, é necessário que as empresas desenvolvam um programa de controlo ESD que inclua requisitos administrativos e técnicos, tais como:

- a formação dos operadores;
- a qualificação dos produtos;
- a verificação de conformidade;
- os sistemas de aterramento;
- os requisitos para as ESD *Protected Area* (EPA);
- os sistemas de embalamento;
- a sinalização das áreas e materiais com características especiais.

A adesão aos procedimentos de controlo ESD é um requisito essencial para a produção de produtos eletrónicos de elevada confiabilidade. Cada local de fabricação tem de conter procedimentos que incluam

requisitos ESD para o manuseamento de produtos, equipamentos de processo, aterramento do operador, estações ESD de trabalho, embalagens e, por fim, auditorias a este controlo. O coordenador responsável pelos processos ESD tem de explicar os requisitos adequados e quaisquer possíveis problemas que a ESD pode provocar num determinado local em específico. É importante envolver o responsável de forma contínua quando surgirem quaisquer falhas suspeitas de ESD ou EOS ao longo da produção.

O transporte de dispositivos sensíveis sem cobertura protetora ESD, ou embalagem própria, deve ser realizado numa área classificada como EPA, ou seja, num ambiente controlado e protegido contra eventos ESD, e em que um ESDS pode ser resolvido com um risco aceitável de falha, como resultado de uma descarga eletrostática ou campos electrostáticos. Todos os materiais ou produtos, presentes nesta área, têm de ser devidamente projetados para evitar a geração de carga estática e/ou dissipar cargas estáticas que foram geradas e, assim, evitar falhas nos dispositivos.

Este tipo de zonas classificadas como EPA têm de possuir limites visivelmente identificados. Todas as áreas e departamentos sujeitos a um controlo ESD devem apresentar símbolos visíveis que indiquem que se trata de uma área ou zona de trabalho protegida e segura contra a ocorrência de descargas eletrostáticas (American & Standard, 2011). Para além disto, se se justificar, tem de conter o símbolo que indica que nos encontramos perante uma área, superfície ou zona de trabalho que não é segura para estar em contacto com um dispositivo sensível (Figura 8).



Figura 8 - Símbolo "Não protegido contra ESD"

Por outro lado, a Figura 9 apresenta o símbolo que tem como propósito alertar os colaboradores de que se encontram perante um dispositivo, montagem elétrica ou eletrónica que é suscetível a ficar danificada.



Figura 9 - Símbolo de Suscetibilidade ESD

Também existem símbolos, Figura 10, que indicam se o objeto ou a zona foi especialmente concebida para evitar a ocorrência de uma ESD, ou seja, criados para ESDS. Alguns exemplos destes itens de controlo ESD são a utilização de embalagens e roupas anti estáticas e, ainda, a utilização de equipamentos dissipativos com ligação à Terra.



Figura 10 - Símbolo de Proteção ESD

Todos os elementos objeto de um controlo ESD devem apresentar-se devidamente identificados e, dependendo do objeto, este terá de alvo de medições adequadas para verificar a sua conformidade. A lista de todos estes itens deve encontrar-se no plano de controlo e monitorização ESD da empresa, juntamente com a frequência com que os mesmos têm de ser monitorizados. Além disso, quais são os aparelhos apropriados para a realização dessas medições e qual é o intervalo de valores aceitáveis para cada um.

2.2.1 Plano de Controlo ESD e Verificação de Conformidade

Como mencionado anteriormente, o plano de controlo ESD tem de incluir todos os requisitos administrativos e técnicos (American National Standards Institute, 2014). A empresa tem de estabelecer, documentar, implementar, manter e verificar o cumprimento do plano de acordo com os seus produtos e requisitos dos mesmos.

Um plano de verificação de conformidade tem de ser estabelecido para garantir o cumprimento dos requisitos do plano de controlo definido pela organização. A monitorização de equipamentos deve ser

conduzida de acordo com o plano de verificação de conformidade que identifique os requisitos técnicos, os limites de medição e a frequência com que devem ocorrer. O plano deve documentar os métodos de teste utilizados para a monitorização e medições.

Ou seja, após serem instalados os equipamentos e os materiais com proteção ESD, estes procedimentos de teste de verificação são recomendados para fornecer uma linha de base de comparação com futuros testes de verificação de conformidade. O objetivo desses métodos de teste é identificar se é significativa a mudança de desempenho em equipamentos e materiais ao longo do tempo, e para verificar a conformidade dos itens de proteção ESD dentro do Plano de Controlo (Nonwovens Report International, 1996).

Para evitar a ocorrência de acontecimentos que possam originar estragos aos ESDS, é necessário eliminar diferenças no potencial entre os ESDS e outros condutores com os quais os dispositivos não podem entrar em contato, como o pessoal, os equipamentos de manuseio automatizados, as luminárias e os equipamentos móveis. Todos os itens que são capazes de conduzir eletricidade devem ser conectados ao solo ou eletricamente ligados, com o fim de eliminar diferenças de potencial.

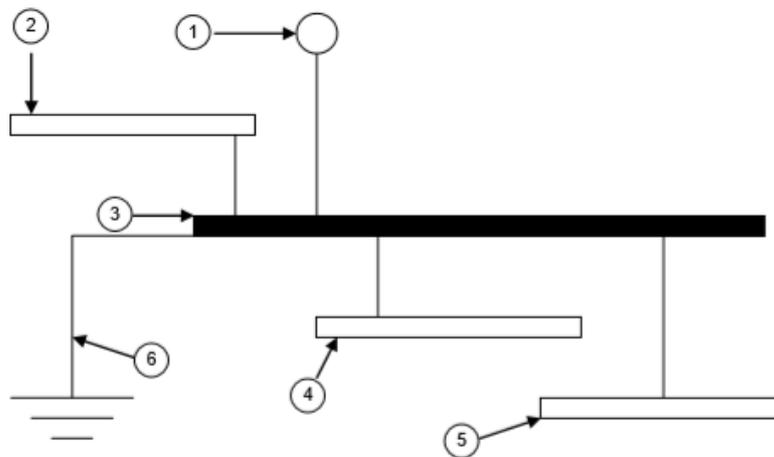


Figura 11 - Esquema de uma EPA com uma referência de aterramento (Fonte IEC 613405-1)

Legenda:

- 1- Pulseira de aterramento;
- 2- Superfície de trabalho;
- 3- Ponto comum;
- 4- Tapete;
- 5- Chão;

6- Aterramento funcional.

Todos os equipamentos sujeitos a medições, os seus valores e os seus requisitos ESD são apresentados no Anexo 1 de acordo com a IEC 61340-5-1.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Nesta secção apresenta-se uma descrição da empresa onde foi elaborado o presente projeto de dissertação de mestrado, a APTIV. Primeiramente faz-se uma referência à história da empresa e uma breve caracterização da mesma. Seguidamente, refere-se à representatividade da APTIV focando o seu mercado em Portugal. Posteriormente, como o projeto foi desenvolvido na unidade produtiva de Braga, apresentam-se os seus principais produtos e clientes. Por fim, menciona-se a sua missão, visão, valores e políticas pelos quais a empresa APTIV se rege.

3.1.1 Grupo APTIV

O grupo APTIV surgiu em 2017 quando a multinacional *Delphi Automotiv* realizou um *spin-off* que permitiu dividir as suas cinco áreas de negócios por duas empresas distintas, a APTIV e a *Delphi Technologies*. A *Delphi Technologies* ficou encarregada pelos segmentos de *Powertrain Systems*, *Thermal Systems* e *Product & Service Solution*. Consequentemente, a APTIV, onde foi realizada a presente dissertação de mestrado, ficou responsável pelas áreas de *Advanced Safety & User Experience* e *Signal & Power Solutions*.



Figura 12 - Logotipos da *Delphi Technologies* e da APTIV após a *spin-off* da *Delphi*

A APTIV representa uma empresa multinacional de tecnologia avançada e encontra-se sediada em Dublin, Irlanda. A empresa dedica-se à produção de componentes eletrónicos sendo que é uma das principais empresas fornecedoras desses mesmos componentes para a indústria automóvel em todo o mundo.

Há medida que os veículos ficaram cada vez mais definidos por um software, a empresa adaptou o seu negócio pelo que desenvolveu e melhorou as suas capacidades de software e a sua competência de integração de sistemas. Atualmente, a APTIV encontra-se em 45 países e representa 109 unidades fabris e 14 centros técnicos que integram cerca de 150 mil colaboradores espalhados por todo o mundo.

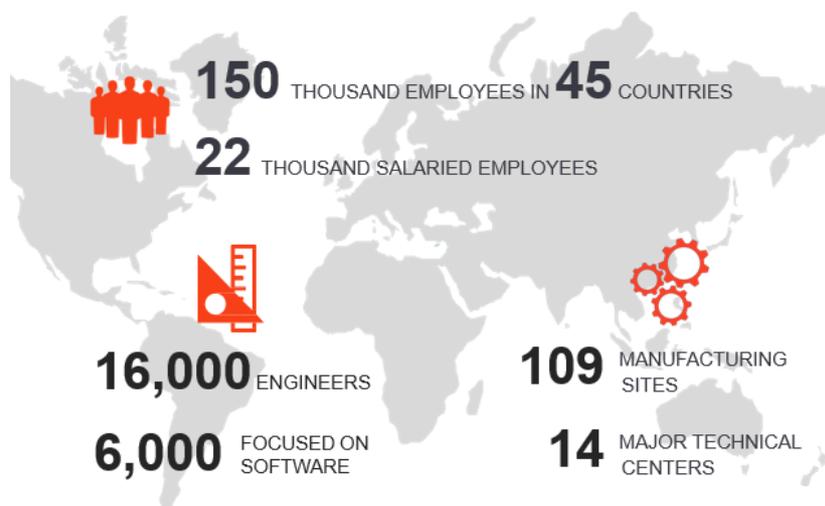


Figura 13 - Presença Global e Capacidades da APTIV

3.1.2 Caracterização do Grupo APTIV em Portugal

Em Portugal, a empresa APTIV encontra-se em três localidades distintas ao longo do território nacional (Figura 3) e conta com cerca de 1700 colaboradores. A unidade produtiva de Castelo Branco é focada em *Signal & Power Solutions*, a de Lumiar representa um centro técnico de excelência e em Braga existe uma unidade produtiva e um centro técnico que se concentram nas áreas de *Advanced Safety & User Experience*.

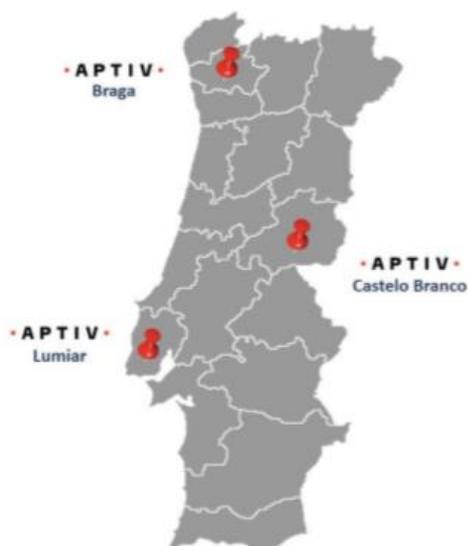


Figura 14 - Localizações da APTIV em Portugal

3.1.3 APTIV – Braga, Portugal

O projeto descrito nesta dissertação foi desenvolvido na empresa APTIV de Braga, que se dedica à produção e desenvolvimento de autorrádios, *displays* e sistemas de navegação para as principais marcas da indústria automóvel. Atualmente, emprega cerca de 900 colaboradores e o seu volume anual de vendas é de aproximadamente 301 milhões de euros.

Resumidamente, a história da fábrica de Braga começou em 1965 com o nome de Grundig e, em 1973 deu início à produção de autorrádios. Posteriormente, em 2003 foi vendida à multinacional Delphi e após a *spin-off*, em 2007, tornou-se na empresa como atualmente é conhecida, a APTIV.



Figura 15 - Instalações da APTIV em Braga

O complexo da unidade produtiva de Braga é constituído por quatro edifícios (Figura 16) que ocupam uma área total de 33.000m². No que concerne ao edifício 1, encontra-se a unidade administrativa e a produção dos componentes eletrónicos. No edifício 2 localiza-se a área produtiva de componentes plásticos e é fornecedor à unidade produtiva do edifício 1, pelas áreas de montagem de sistemas de controlo e de algumas gamas de autorrádios e ainda contém o armazém de produto acabado. O edifício 3 destina-se para o armazenamento de matérias-primas necessárias à produção e, por fim, o edifício 4 representa uma unidade dedicada à investigação e desenvolvimento de novos produtos, o *Technical Center*, onde é desenvolvida tecnologia de ponta para os maiores fabricantes da indústria automóvel da Europa.

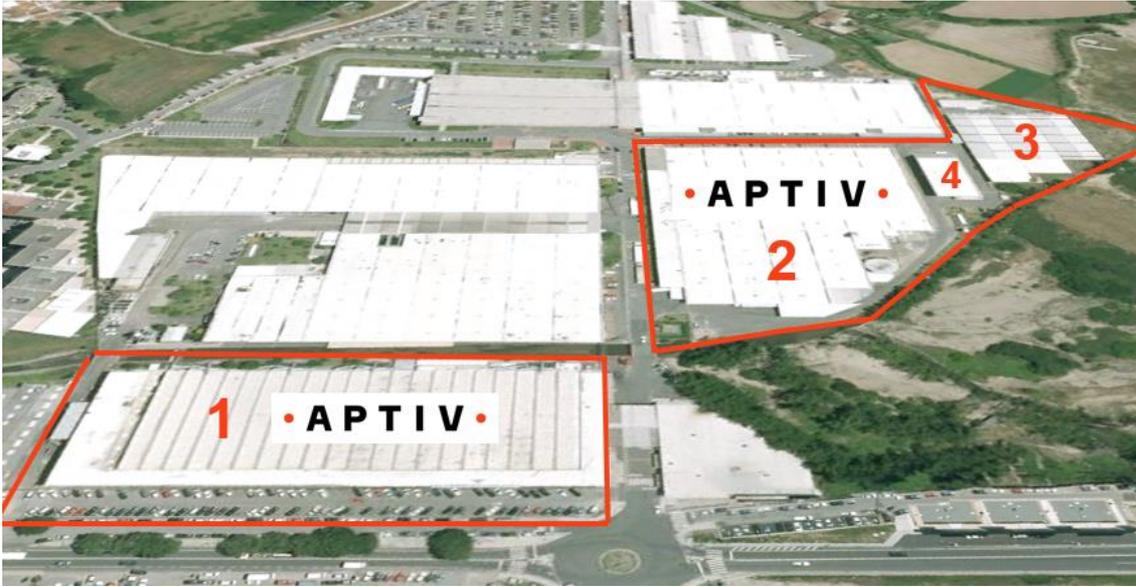


Figura 16 - Complexo industrial da APTIV de Braga

3.1.4 Produtos e Principais Clientes da APTIV de Braga, Portugal

A APTIV possui uma vasta gama de produtos de alta tecnologia com características específicas e de grande complexidade de fabrico, para assim atingir os objetivos e satisfazer os seus clientes. Como já referido anteriormente, a empresa centra-se na produção de autorrádios, displays e sistemas de navegação (Figura 17).

Product Line	Product Family	Product Portfolio
Infotainment and User Experience	Head Units Navigation Systems	
	Displays, Clusters, and Head up Displays	
Connectivity and Security	Body Control	

Figura 17 - Product Portfolio by Product Line da APTIV de Braga

Por último, de referir que a APTIV é uma das principais marcas fornecedoras da indústria automóvel e possui uma base de clientes significativamente diversificada (Figura 18).



Figura 18 - Principais Clientes da APTIV

3.1.5 Missão, Visão e Valores

A APTIV pretende criar a nova geração de segurança ativa, veículos autónomos, cidades inteligentes e conectividade. Assim, torna-se imperativo para esta empresa seguir uma missão e ter uma visão e valores que possam corresponder à sua grandeza.

Deste modo, a APTIV tem como missão oferecer tecnologia segura, verde e conectada que habilita o futuro da mobilidade. Nos próximos 3-5 anos, a sua missão consiste em ser o parceiro de escolha dos seus clientes e oferecer aos seus acionistas resultados superiores.

Os seus valores regem-se por fazer sempre a coisa certa, da forma certa. Ou seja, os seus valores são jogar para vencer, uma equipa, pensar e agir como proprietários, agir com sentido de urgência, paixão por resultados e, por fim, operar com respeito.

Assim, a mobilidade tem o poder de mudar o mundo e a APTIV tem o poder de mudar a mobilidade.

3.1.6 Políticas da Empresa

A APTIV rege-se por políticas de qualidade, ambiente, segurança e saúde e compromete-se a assegurar estas políticas aos seus colaboradores como um dos seus valores essenciais, uma vez que contribuem para a manutenção e bom funcionamento empresarial.

A política de qualidade é focada na satisfação do cliente de acordo com os seus pré-requisitos e, se possível, exceder as suas expectativas. Para além disto, também destaca o reconhecimento dos seus colaboradores, tratando-os com respeito e promovendo o trabalho em equipa. Os colaboradores têm como objetivo a inovação e a melhoria contínua e, por isso, a APTIV promove a eliminação de desperdícios e aceita a mudança como uma oportunidade.

A política de ambiente trata em proteger o ambiente em geral, assim como a saúde humana. Mais uma vez são essenciais os colaboradores para que ocorram as práticas inseridas nesta política e, assim, promover a prevenção na gestão dos recursos naturais e na poluição. Este compromisso vai para além dos requisitos obrigatórios e do cumprimento da lei, abrangendo a integração de práticas ambientais na gestão diária.

A política de segurança e saúde é caracterizada por ser a mais importante para a empresa, defendendo a necessidade da colaboração de todos para evitar os acidentes e, desta forma, manter a segurança dos trabalhadores. A APTIV acredita que os seus colaboradores têm de usufruir de um bom ambiente de trabalho, livre de riscos de acidente e por isso são implementadas medidas para que tal não aconteça.

4. ANÁLISE E REDEFINIÇÃO DE PROCESSOS DE *TECHNICAL CLEANLINESS* NA APTIV DE BRAGA

Ao longo deste capítulo apresenta-se a qualidade da limpeza que pode ser alcançada para um produto e a interação de vários fatores na cadeia de processos que têm influência na limpeza técnica. Assim, especifica-se a importância de processos de *Technical Cleanliness* para a APTIV e para os seus produtos. De seguida referem-se todas as práticas existentes na fábrica de Braga e o estudo realizado ao seu estado atual, tendo em conta as tarefas básicas associadas ao *layout* da fábrica, de acordo com o grau de limpeza requerido pelos seus produtos, a aplicação das normas necessárias e as principais características de cada área limpa tendo em conta a zona da montagem, o ambiente, a logística e os colaboradores. Por último, mencionam-se as principais conclusões retiradas da análise efetuada, os principais erros e desvantagens encontradas e as propostas de melhoria para solucionar os mesmos.

4.1 Importância de Processos de *Technical Cleanliness* para a APTIV

Na APTIV a limpeza técnica é um fator fulcral para o bom funcionamento da fábrica e para o cumprimento de todos os requisitos impostos pelo cliente. Para garantir que é o fornecedor de escolha dos seus compradores, procura atender e superar as expectativas dos clientes e desta forma ser o fornecedor de escolha para os *power electronics*. O sucesso da APTIV depende do sucesso dos seus clientes.

Os seus clientes esperam que as instalações da APTIV respeitem aos padrões VDA 19.2 para o cumprimento dos requisitos da limpeza técnica já que é de particular importância para a indústria automóvel, devido ao uso de componentes de alta tensão em veículos e à crescente complexidade e exigência tecnológica desses mesmos componentes.

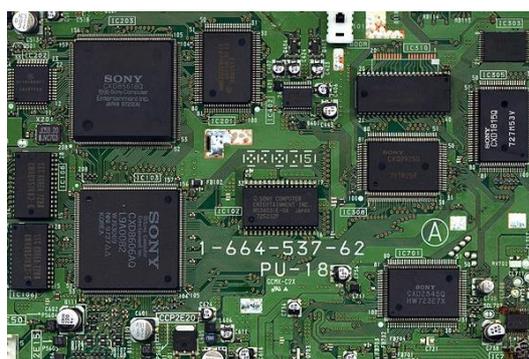


Figura 19 - Exemplo de um dispositivo eletrónico produzido na APTIV

De forma sucinta, o objetivo da limpeza técnica é prevenir a contaminação de partículas em áreas críticas, prevenir e remover partículas inevitáveis e proteger componentes e produtos montados contra a entrada de partículas do exterior que podem provocar falhas nos seus produtos. Um dos cuidados

essenciais da APTIV é precisamente com as partículas metálicas (partículas condutivas) já que podem dar origem a um curto-circuito que por sua vez podem provocar o mau funcionamento de produtos ou até mesmo incêndios.

As principais preocupações são com a montagem e manuseamento de componentes eletrónicos que possam provocar um curto-circuito tanto nos dispositivos eletrónicos como nos componentes de alta tensão. Outra grande preocupação é com os defeitos cosméticos e visuais que possam ser observáveis nos *Clusters* e nos *Displays*, assim como, na pintura e nas Câmaras.

Como mencionado anteriormente, atualmente a APTIV de Braga tem um projeto para começar a produzir outro tipo de dispositivos para além dos que já produz atualmente. Este tipo de sistemas avançados de assistência ao motorista (ADAS) requerem o cumprimento e a conformidade dos processos de *Technical Cleanliness*.

A partir do momento que se trata de um sistema que pode comprometer o bom funcionamento da viatura, a segurança do condutor e das pessoas que o rodeiam, é fundamental garantir, no caso da ocorrência de um erro, que o mesmo se deveu a um fator humano por parte do seu utilizador ou a um fator externo à sua produção.

Os ADAS são sistemas eletrónicos num veículo que utiliza tecnologias avançadas para auxiliar o motorista. Estes podem incluir muitos recursos de segurança ativa e, muitas vezes, os termos "ADAS" e "segurança ativa" são utilizados alternadamente.

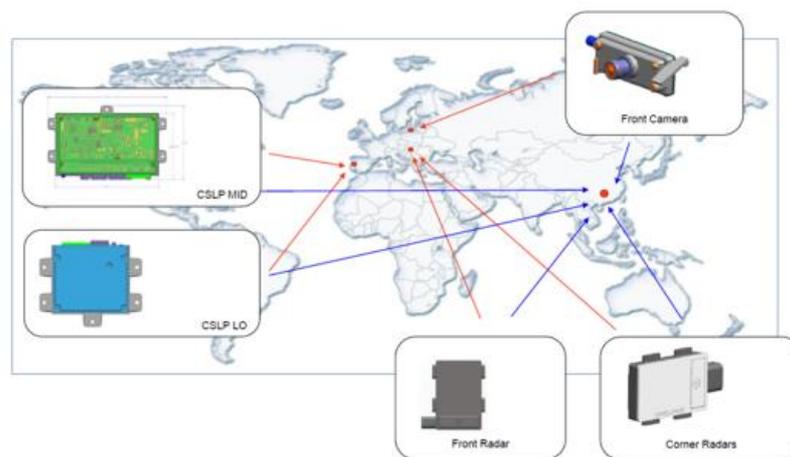


Figura 20 - Exemplo de ADAS produzidos pela APTIV

Os ADAS utilizam sensores no veículo, como radar e câmaras, para reconhecerem e interpretar o espaço ao seu redor e, em seguida, fornece informações ao motorista ou executa uma ação automática com base no que identifica.

Relativamente aos produtos que são produzidos atualmente, trata-se de dispositivos sensíveis que são manuseados e manipulados na fábrica da APTIV de Braga e, por isso, requerem um maior cuidado por parte dos colaboradores que com eles trabalham e com todo o tipo de atividades e ambiente em que se encontram inseridos.

Apesar de a APTIV já apresentar uma elevada preocupação nesta área de ESD & *Technical Cleanliness*, e de se reger segundo um conjunto de regras definidas para este propósito, ao longo dos anos foram identificados alguns casos de contaminações das peças que provocam erros ou avarias. Estes casos podem ter manifestado essas avarias por contaminações na empresa ou, até mesmo, já na posse do cliente.

Algumas das contaminações de partículas detetadas na empresa foram:

- Presença de partículas metálicas nos conectores do display;
- Resíduos no ecrã do display;
- Presença de resíduos provenientes do desgaste de tabuleiros.

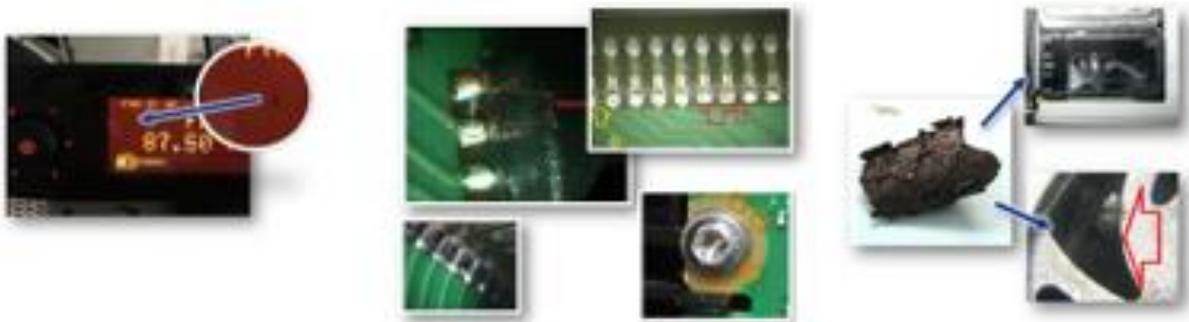


Figura 21 -Erros nos dispositivos devido à presença de partículas

Em 2019, a APTIV Braga teve 13 casos de 0 km em diferentes produtos devido à presença de partículas metálicas (Figura 22) o que corresponderam a um gasto adicional de 11.000 euros devido a essas reclamações.

Número de casos (0Km) em 2019

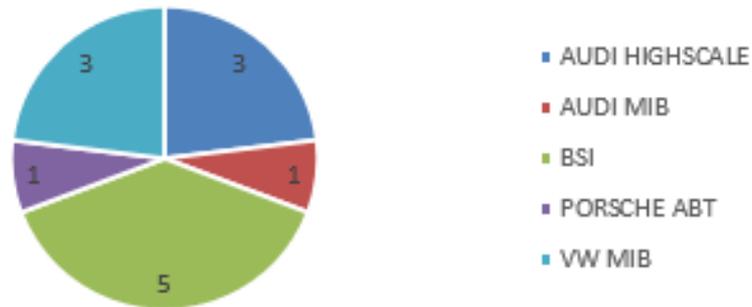


Figura 22 - Número de casos detetados na APIV em 2019

Sempre que é detetada uma avaria ou um erro com qualquer dispositivo, devido à presença de partículas que torna a sua venda não viável, é importante perceber o que pode ter originado o aparecimento da partícula, o tipo de partícula e se é frequente esse acontecimento.

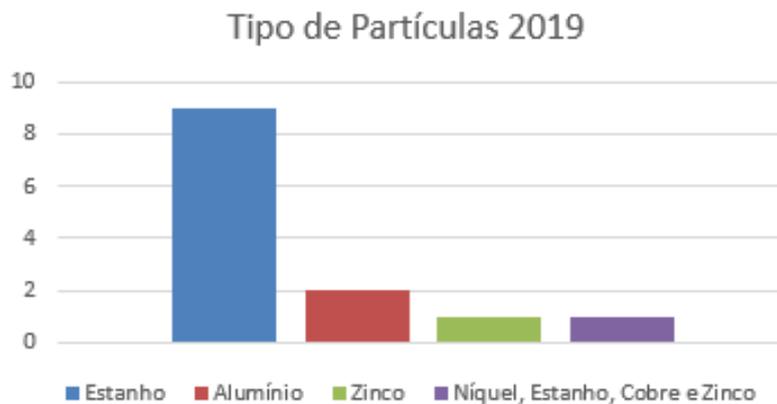


Figura 23 - Tipo de partículas nos casos de 0Km em 2019

Em relação às reclamações provenientes dos clientes, as mais comuns são:

- Carro não arranca;
- Luz esquerda de marcha atrás sempre ligada;
- Porta da mala não abre;
- Mau funcionamento das teclas;
- Camião não arranca;
- Rádio sem som.

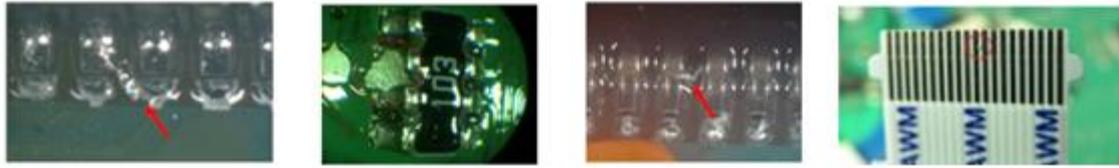


Figura 24 - Partículas em dispositivos que provocaram o mau funcionamento do produto final

Assim, pode destacar-se que para garantir a segurança dos colaboradores e utilizadores dos produtos e evitar custos desnecessários para a APTIV, os processos de *Technical Cleanliness* são fundamentais e, por isso, objeto de estudo ao longo do presente capítulo.

4.2 Estado Atual de Processos de ESD na APTIV

4.2.1 Medidas Atuais na APTIV de Braga

A rede de módulos eletrónicos nos veículos é cada vez mais responsável pela segurança. Em particular, num futuro próximo um automóvel dependerá cada vez mais da tecnologia. Como a APTIV pretende continuar a produzir painéis de instrumentos e displays, tem de inovar e melhorar o seu desempenho e, desta forma, garantir que a qualidade é oferecida aos seus clientes.

Deste modo, a empresa tem vindo a apostar cada vez mais na implementação de medidas relacionadas com *ESD & Technical Cleanliness*, através da implementação de novas regras, novos produtos, novos comportamentos e novas medidas de limpeza e organização.

Algumas ações no âmbito da medição da limpeza técnica têm sido a medição e identificação das partículas potencialmente críticas para os produtos. Estas medições realizam-se tanto nas partículas presentes no ambiente envolvente à produção como nas partículas aéreas.



Figura 25 - Aparelhos utilizados para medir e determinar as partículas na APTIV

Como se podemos observar na Figura 26, a APTIV de Braga contém as áreas do edifício 1 e do edifício 2 delimitadas de acordo com os dispositivos aí manuseados e o seu grau de limpeza. Atualmente têm áreas CG2 nos dois edifícios representadas a verde, áreas CG1 exibidas a azul no edifício 2 e áreas CG0 em ambos os edifícios em cinza.

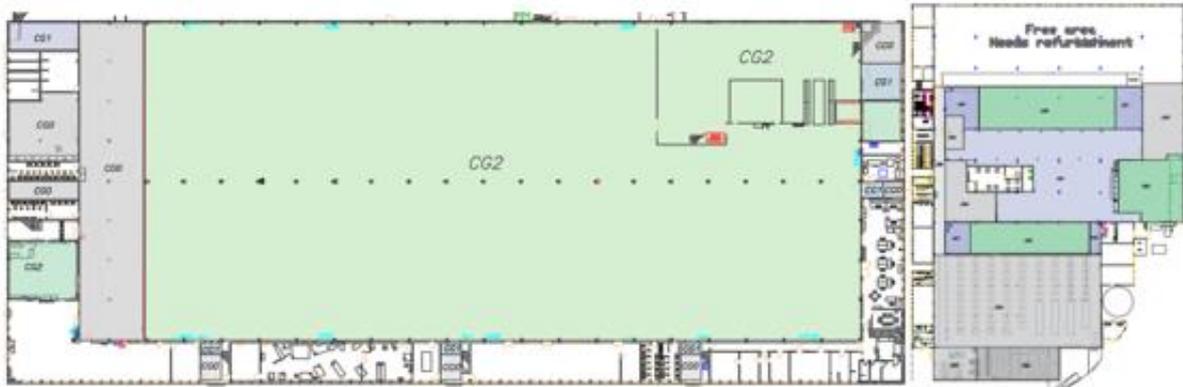


Figura 26 - Áreas CG do Edifício 1 e do Edifício 2 da Fábrica de Braga da APTIV

Em todas as entradas principais do edifício 1, os acessos ao exterior realizam-se através de portas duplas e rotativas, de forma a isolar o ambiente de produção da contaminação direta do exterior. Além disso, ambos os edifícios têm cortinas de passagem sempre que ocorre uma mudança de área com requisitos CG1 para CG2.

Na entrada para as áreas classificadas como CG1 e CG2, encontra-se implementada a obrigatoriedade de *StickyMats*, que são uns tapetes próprios, para limpeza dos sapatos e rodas dos carros em todas as entradas.



Figura 27 - *StickyMats*

Ainda relativamente à limpeza dos sapatos, perto das entradas para a área de produção encontra-se uma máquina (Figura 28), que permite uma limpeza e remoção de partículas das solas dos sapatos. Existe um documento com as instruções de utilização.



Figura 28 - Entrada para a zona de produção

Nas instalações da fábrica é obrigatório o uso correto de bata, com as mangas a cobrir todo o braço, o uso de luvas sempre que ocorrer o manuseamento dos dispositivos e o uso de calçado próprio. De salientar que todos estes equipamentos e materiais utilizados na zona de produção e em zonas onde há o contacto direto/indireto com os dispositivos têm de ser protegidos contra ESD e conter a certificação do fornecedor para comprovar. Nas zonas CG2 não é permitido o uso de caixas ou de elementos de cartão e deve-se sempre evitar o uso de equipamentos que se desgastem facilmente e, assim, evitar a libertação de partículas.

No contexto do estudo realizado, importa, ainda, mencionar que a APTIV de Braga tem procedimentos de *Housekeeping*, rotinas de limpeza dos *containers* e equipamentos específicos, e implementada a metodologia dos 5S. No sentido de que todos os colaboradores tenham consciência das suas medidas e as apliquem no seu dia a dia, estes têm formação específica quando iniciam atividade na APTIV. Nesta formação adquirem as noções básicas e conhecimento acerca dos cuidados que devem ter.

4.2.2 Plano de Controlo e Requisitos Práticos da APTIV

Todas as práticas e procedimentos da APTIV devem estar em conformidade com o Plano de Controlo de *Technical Cleanliness* exigido globalmente pela empresa, que tem em consideração todas as normas exigidas. Isto é, todos os documentos disponibilizados na APTIV aplicam-se em todas as operações mundiais da APTIV *Electronics & Safety* (E&S).

Para o correto cumprimento do Plano de Controlo, a APTIV detém em sua posse cerca de 12 documentos diferentes, denominados como Requisitos Práticos - *Technical Cleanliness*. Estes documentos definem os requisitos de controlo de limpeza técnica a serem usados para evitar danos por contaminação durante a montagem de produtos eletrónicos em Ambientes Controlados. Os níveis de proteção definidos neste documento devem iniciar na receção das peças, passar por todas as fases de montagem e testes e finalizar na embalagem.

Os controlos de limpeza técnica devem ser fornecidos em todas as áreas onde os conjuntos sensíveis à limpeza técnica são manuseados, testados e/ou armazenados. Estes procedimentos devem ser usados para a fabricação de produtos que requerem um nível de limpeza de ambiente controlado.

Para além disto, os projetos de equipamentos devem ter em conta considerações relacionadas com *Technical Cleanliness*. O projeto da máquina deve assumir várias “mentalidades”, que devem ser consideradas continuamente ao longo do processo de projeto, como a Funcionalidade, a Segurança e a Facilidade de Manutenção. A segurança, por exemplo, deve ser considerada e incorporada ao mesmo tempo em que a funcionalidade é considerada, ao invés de esperar até o final do processo de design. A contaminação do produto por partículas é uma preocupação crescente e a limpeza da máquina também deve ser considerada em todo o processo de projeto.

A contaminação por partículas é um problema crescente na fabricação de componentes eletrónicos para automóveis e a avaliação e o controlo do *status* de contaminação potencial dos produtos manufaturados e seu desempenho é uma exigência do cliente. Deste modo, justifica-se uma abordagem e procedimento comum a todas as Unidades de Fabricação da APTIV para determinar e avaliar a contaminação por partículas nos produtos manufaturados da APTIV.

O objetivo de uma inspeção de limpeza é detetar da melhor forma possível a contaminação por partículas gerada pelo processo de fabricação que está presente nas superfícies relevantes de um componente de teste. Os procedimentos de *Technical Cleanliness* integrados na montagem e/ou fabricação de dispositivos eletrónicos são muito relevantes para atingir os níveis de limpeza necessários. A contaminação de partículas, ou a existência de elementos estranhos ao produto manufaturado, pode ser controlada, contida e/ou eliminada, integrando-se durante o fluxo do processo de manufatura. Os requisitos identificam vários processos e técnicas de limpeza que podem ser aplicados e integrados ao longo dos diversos processos pelos quais os dispositivos se encontram sujeitos.

Adicionalmente, apresenta métodos de extração de partículas e especifica os métodos, materiais, equipamentos e procedimentos disponíveis para realizar a Extração de Partículas de superfícies de produtos para detetar uma quantidade representativa de partículas, garantindo que o número máximo

de partículas destacáveis seja detetado, incluindo o destacamento confiável de partículas únicas críticas, através vários métodos de extração diferentes, e realizando a quantificação e análise da contaminação por partículas do produto de acordo com o padrão da indústria VDA 19.1 e ISO 16232.

Para finalizar, a APTIV tem definidas regras de conduta, comportamento e vestuário em ambientes controlados num documento. Este documento apresenta as regras gerais de conduta, comportamento e vestimentas mínimas necessárias recomendadas para ambientes controlados quanto à limpeza técnica.

4.2.3 Atual Controlo e Monitorização aos Processos de *Technical Cleanliness* na APTIV

Como já mencionado anteriormente, são controladas as partículas aéreas (*airborne particles*) e as partículas existentes no ambiente envolvente. Para realizar as medições às partículas aéreas é utilizado um contador de partículas aéreas, HHPC 2+. Pretende-se monitorizar a qualidade do ar e localizar as fontes das partículas. Por outro lado, para observar o volume de partículas em determinados locais relevantes no ambiente de montagem, alimentação e áreas de processo são utilizadas as *particle traps*.



Figura 29 - Aparelhos de medição de partículas

As medições são efetuadas pelo colaborador responsável pelos processos de *Technical Cleanliness* na APTIV de Braga. Este também analisa e arquiva os resultados obtidos no seu computador.

A Figura 30 exhibe as localizações definidas pelo responsável como as mais importantes para se realizarem as medições às partículas aéreas. Como podemos observar, estão definidas 14 localizações ao longo do edifício 1. As partículas analisadas são as partículas aéreas de $0,5 \mu m$ e $5,0 \mu m$.

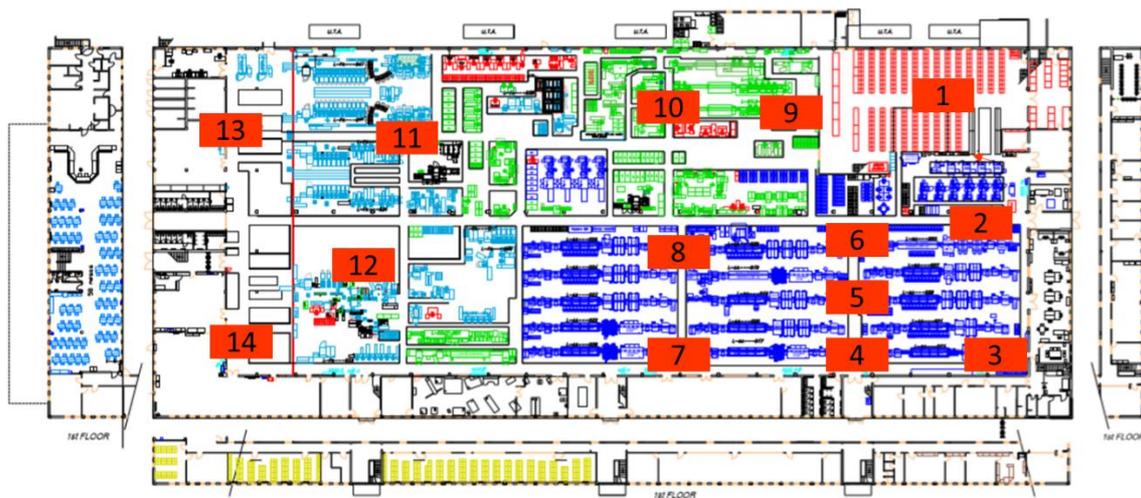


Figura 30 - Localização das medições às partículas aéreas no edifício 1

Depois de realizadas todas as medições, o responsável passa os dados para o seu computador através de um cabo USB. Com estes dados, realiza um gráfico que contém todas as localizações e se estas se encontram dentro dos parâmetros corretos ou não. Atualmente não se encontra definida a frequência com que esta análise deve ser efetuada.

As *particle traps* são colocadas em diferentes departamentos. Cada uma apresenta um número distinto e a localização em que foi colocada na fábrica. Assim, acumulam partículas e sedimentos do ambiente e dos processos e, após um período de 1 semana (168 horas), é utilizada para análise.

Estas *particle traps* são colocadas ao longo da área de produção do edifício 1 da fábrica APTIV e permitem estudar tanto a quantidade como o tipo de partículas que se encontram nas áreas SMT, CBA, FA e WH da APTIV de Braga. Após o período de tempo referido anteriormente, todas as *particle traps* colocadas são devidamente fechadas e enviadas para análise.

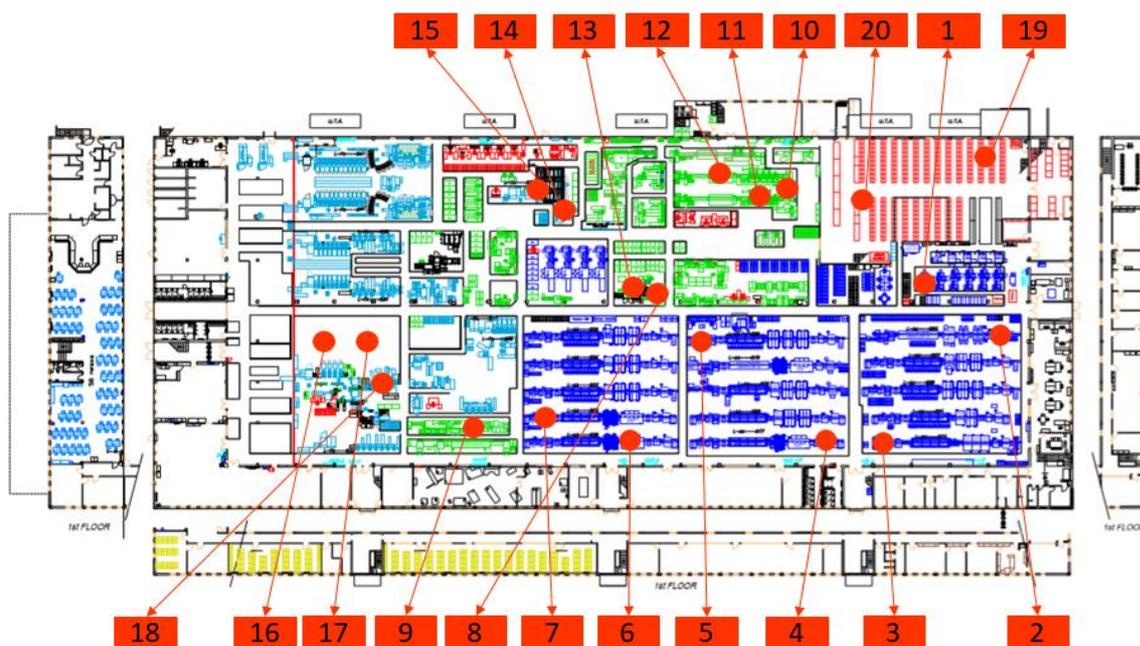


Figura 31 - Localização das *particle traps* no edifício 1

Posteriormente, é enviado um relatório para a empresa com a informação sobre o tipo de partículas que são encontradas em cada *particle trap* (fibras, metálicas, outras), uma fotografia e dados da partícula de maior dimensão, o número de partículas de acordo com as suas dimensões ($25\mu\text{m}$ - $>3000\mu\text{m}$), entre outros.

Analyseergebnis – Partikelgrößenverteilung nach VDA19.1				
<i>Analysis result – Particle size distribution</i>				
Partikel pro Partikelfalle				
<i>Number of particles per particle trap</i>				
Partikelgröße [µm] <i>Particle size</i>	Größen- klasse <i>Size category</i>	Metallisch glänzende Partikel <i>Metallic shining particles</i>	Nichtglänzende Partikel ohne Fasern ¹ <i>Not shining particles without fibers¹</i>	Alle Partikel ohne Fasern ¹ <i>All particles without fibers¹</i>
25-50	D	6	351	357
50-100	E	1	106	107
100-150	F	0	7	7
150-200	G	0	2	2
200-400	H	0	1	1
400-600	I	0	0	0
600-1000	J	0	0	0
1000-1500	K	0	0	0
1500-2000	L	0	0	0
2000-3000	M	0	0	0
>3000	N	0	0	0

Figura 32 - Exemplo do relatório com o número de partículas numa *particle trap*

Os resultados da análise incluem dados sobre o número de tipos de partículas em cada grupo de tamanho, e fotografias e tamanhos de 2 partículas de cada tipo (metálicas, fibras e não metálicas), como se pode observar na Figura 33.

Größtes metallisch glänzendes Partikel <i>Picture of largest metallic shining particle</i>		Größte Faser¹ <i>Picture of largest fiber¹</i>	
			
Bildtext description	Metallisch glänzendes Partikel Metallic shining particle	Bildtext description	Faser/Fiuse fiber/fuff
Länge [µm] length	63	Länge F _{max} [µm] Length F _{max}	1931
Breite [µm] width	17	Länge L _{st} [µm] Length L _{st}	4481

Figura 33 - Imagens das partículas presente no relatório *das particle traps*

Atualmente, a APTIV de Braga só tem estabelecidas as localizações das *particle traps* no edifício 1, mas não apresenta a frequência com que estas medições devem ser realizadas, nem é feita uma análise aos resultados obtidos nos relatórios.

4.3 Análise ao Estado Atual de Processos de *Technical Cleanliness* na APTIV de Braga

4.3.1 *Gap Assessment*

Segundo as normas e os requisitos necessários, foi elaborado um conjunto de listas de verificação que permitiu realizar uma análise ao estado atual dos processos de *Technical Cleanliness* da APTIV de Braga e identificar quais os fatores que requerem uma maior atenção, assim como, reduzir a presença e a geração de partículas ao longo da fábrica.

O Excel contém uma lista de perguntas que visam melhorar o grau de limpeza dos agregados montados e garantir o cumprimento dos requisitos de limpeza confiáveis do processo. O objetivo é aconselhar sistematicamente sobre os fatores (pontos fracos ou potenciais) que influenciam a limpeza dos componentes.

A lista enfoca os fatores que afetam a limpeza dos produtos finais, conforme considerado e descrito nos principais capítulos das diretrizes. Ou seja, a lista de perguntas deve ser usada para ajudar a identificar os pontos fracos na cadeia de limpeza, a fim de desenvolver potenciais para melhorar o grau de limpeza. A análise de potenciais pretende ser um auxílio interno para identificar formas de melhorar a eficiência e estabilizar o grau de limpeza.

Com o auxílio das perguntas abertas, o operador responsável por preencher a lista de problemas deve ser capaz de verificar se todos os fatores que influenciam a limpeza foram considerados e se a cadeia de limpeza ao longo da produção apresenta alguma lacuna ou fragilidade. A lista de perguntas é, portanto, pretendida como um suplemento interno para auditorias de acordo com VDA e os 5S.

A frequência e o intuito de uma análise dos potenciais de limpeza dependem da situação individual de cada instalação de montagem crítica de limpeza e não podem ser especificados de forma vinculativa. Um procedimento definido para uma análise de potenciais de limpeza, portanto, não é descrito, e é da responsabilidade do responsável pelos processos de *Technical Cleanliness*.

Todas as áreas e instâncias afetadas pela estratégia de limpeza de uma empresa devem ser incluídas na análise dos potenciais de limpeza desde o início. Uma nova análise dos pontos fracos é recomendada se os requisitos de limpeza são implementados nas instalações de montagem existentes ou para novas gerações de produtos, os requisitos de limpeza para um produto não são atendidos e, por fim, os processos e sequências em instalações de montagem existentes são alterados.

Estas listas de verificação foram elaboradas num documento Excel que se encontra dividido segundo os seguintes temas:

- Requisitos Gerais (Apêndice 1);
- Sistemas de Controlo de Qualidade;
- Ambiente;
- Logística;
- Instalações de Montagem;
- Colaboradores;
- Limpeza dos Componentes.

No total contém mais de 118 questões, avaliadas de 0 a 10, juntamente com um descritivo de observações e recomendações. Como se pode verificar na Figura 34, depois do preenchimento de todas as listas, o resultado final irá aparecer numa tabela e em gráficos que permitem realizar uma análise rápida aos dados obtidos e comparar com outras análises que sejam posteriormente realizadas.

O preenchimento do *Gap Assessment* foi desenvolvido juntamente com o colaborador responsável pelos processos de *Technical Cleanliness* da APTIV, assim como as normas o indicam. Em equipa ficou definido que os próximos passos a serem realizados teriam como prioridade os tópicos que ficaram pontuados com um valor menor que 90%.

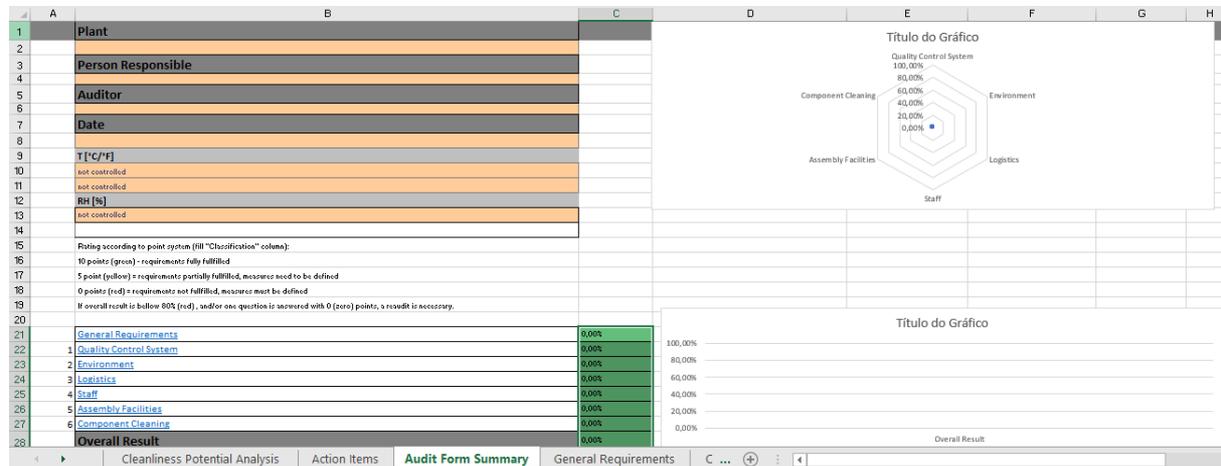


Figura 34 - Folha de Resultados

Nas situações em que as respostas obtêm uma cotação inferior a 5, o assunto tem de ser imediatamente analisado para perceber o motivo e quais as ações necessárias para o resolver ou, pelo menos, melhorar. A classificação de acordo com o sistema de pontos indica que quando os requisitos se encontram totalmente preenchidos, a pontuação dada é 10 (verde), quando os requisitos estão parcialmente preenchidos e precisam de ser definidas medidas, a pontuação é 5 (amarelo) e, por fim, quando a pontuação é 0 (vermelho) remete para a imprescindibilidade de se definirem e executarem as medidas. Para a correta análise do estado atual, inicialmente foram estudadas todas as normas e diretrizes e realizada a verificação dos planos e dos requisitos internos para a sua atualização. Assim, também foram efetuadas diversas visitas aos edifícios 1, 2 e 3 e realizadas medições em diferentes zonas da fábrica para melhor perceção e verificação do cumprimento das medidas implementadas.

A Figura 35 apresenta o resultado obtido à primeira auditoria interna efetuada.

General Requirements	81,11%
Quality Control System	67,86%
Environment	80,00%
Logistics	64,76%
Staff	90,83%
Assembly Facilities	74,58%
Component Cleaning	86,67%
Overall Result	77,45%

Figura 35 - Resultado da primeira auditoria interna aos processos de *Technical Cleanliness*

O resultado global obtido é 77,45%, o que confirma que a APTIV de Braga já contém implementadas ações para promover a limpeza técnica e diminuir a geração de partículas, mas não as suficientes de acordo com as exigências que tem de cumprir por forma a garantir a sua conformidade.

Como se pode observar na Figura 36, apenas o grupo responsável pelo pessoal, onde são analisadas questões relacionadas com formações dos colaboradores, a sua sensibilidade e cumprimento de regras que não comprometam a limpeza é que apresenta um valor superior a 90%. Todos os outros apresentam valores muito inferiores, especialmente os grupos da logística (64,76%) e do sistema de controlo da qualidade (67,86%).



Figura 36 - Gráfico com o resultado da auditoria aos processos de *Technical Cleanliness*

No final do preenchimento deste documento, elaborou-se uma lista de ação que contempla todas as intervenções necessárias para que a APTIV se encontre em conformidade com as normas e com os seus objetivos.

De acordo com os resultados obtidos, é notório que a empresa tem de colocar novas medidas em prática. Começando pelas que apresentam um valor inferior a 5, mas também pelas que são mais simples de implementar e que não envolvam custos adicionais.

Por questões de confidencialidade da empresa, não são apresentadas as cotações individuais a cada ponto avaliado. Assim, são apresentadas as sugestões de melhoria no subcapítulo 4.4 juntamente com observações que foram identificadas durante as visitas aos diferentes edifícios da APTIV.

4.3.2 Medições Efetuadas na APTIV

Tendo em conta a realidade vivida atualmente e os recursos disponibilizados pela APTIV, as medições realizadas na fábrica de Braga só foram possíveis de se efetuar no mês de agosto, setembro e outubro do ano 2020. As medições foram sempre efetuadas junto do responsável, tanto para a análise das

airborne, como para a análise das *particle traps*. A execução das mesmas permitiu conhecer o método utilizado atualmente na APTIV, pelo responsável dos processos de *Technical Cleanliness*. Isto é, como são obtidos os dados, como estes são tratados e onde é que são armazenados e o tipo de conclusões que retiram. Relativamente às medições feitas às partículas aéreas, foram colocados os pontos de recolha de dados no seu *layout* atualizado (Figura 30).

De forma a verificar se os dados que o aparelho de medição transfere para o computador são os mesmos e verificar que não ocorrem trocas com medições anteriores já guardadas no seu software, elaborou-se uma folha para garantir que as medições seriam feitas sempre nesse lugar (Apêndice 2).

Todas as medições efetuadas foram em áreas CG1 e CG2 do edifício 1. Para podemos afirmar que se encontram em conformidade com as diretrizes e normas existentes, os valores têm de estar dentro dos parâmetros da ISO 8 e 9 apresentados na Tabela 2. Apesar de ainda não terem sido realizadas quaisquer medições ou verificações, existe no edifício 1 uma sala limpa (CG3) que vai ser utilizada para a montagem de um novo dispositivo em fevereiro de 2021.

Tabela 2 – Parâmetros para cada CG

CG	0	1	2	3
Ambiente	Zona não controlada	<i>Cleanliness Zone</i>	<i>Cleanliness Room</i>	<i>Cleanroom</i>
Classe ISSO (N)	-	9	8	7 ou +
Airborne [partículas/m ³] ≥ 0,5 µm	-	35200000	3520000	352000
Airborne [partículas/m ³] ≥ 5,0 µm	-	293000	29300	2930
Tamanho de partículas condutivas	-	< 500 µm	< 500 µm	< 500 µm

Para o tratamento de dados dos resultados obtidos através do aparelho de medições de partículas aéreas, foi elaborado um Excel que após a colocação dos dados fornece os gráficos para as partículas de dimensões 5,0 μm e 0,5 μm em todos os pontos e por áreas (WH, SMT, CBA, FA, WALL).

Em todas as medições realizadas (agosto, setembro e outubro de 2020) os resultados obtidos foram sempre muito semelhantes. Em relação ao número de partículas superiores a 5,0 μm , todos os pontos estão dentro dos parâmetros. Inclusive, as áreas CG1 apresentam valores compatíveis a áreas CG2.

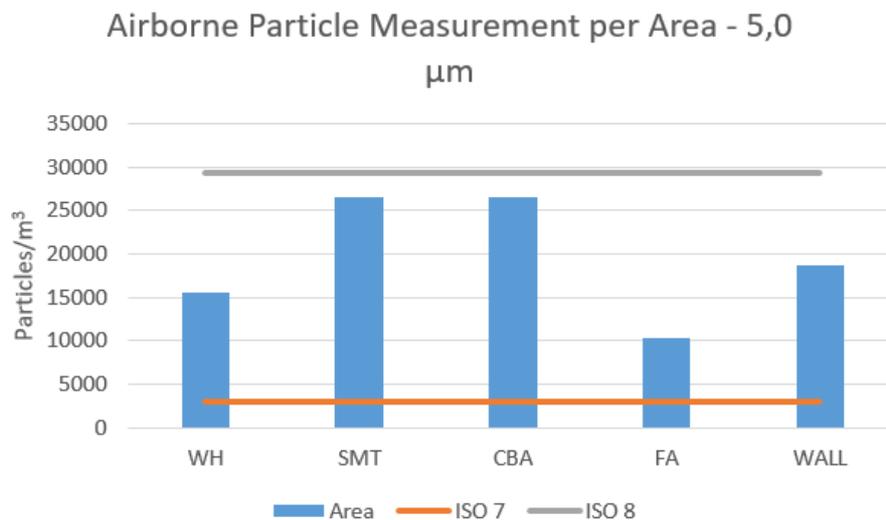


Figura 37 - Medições de partículas aéreas por área - 5,0 μm

Por outro lado, nem todos locais estão em conformidade com o número de partículas superiores a 0,5 μm . A zona SMT e CBA contém zonas fora dos parâmetros.

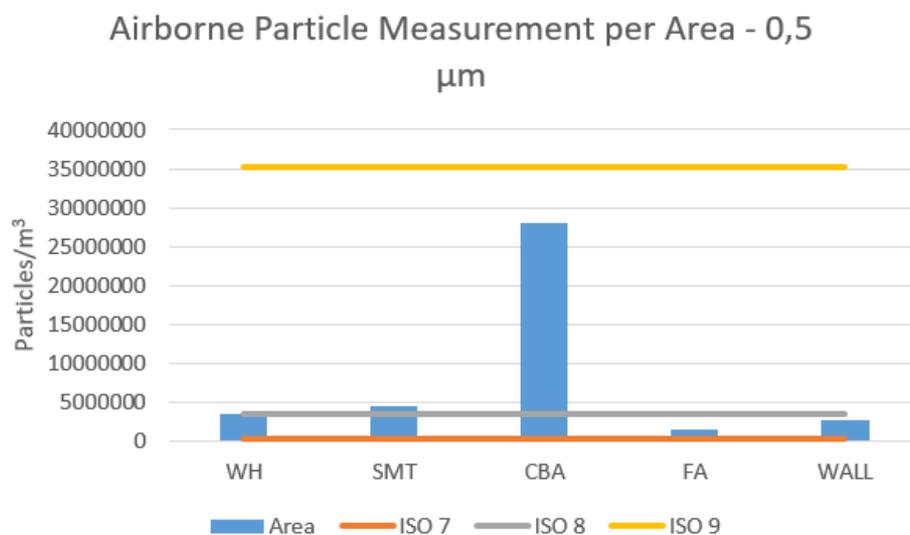


Figura 38 - Medições de partículas aéreas por área - 0,5 μm

Infelizmente, em relação às mediações dos anos anteriores, a APTIV apenas tem armazenado o próximo gráfico referente às partículas dos anos 2015 a 2019 para partículas superiores a 5,0 µm. Como não efetuam estas mediações de forma frequente nem padronizada, não é possível realizar a comparação destes 3 meses com a mesma altura do ano anterior.

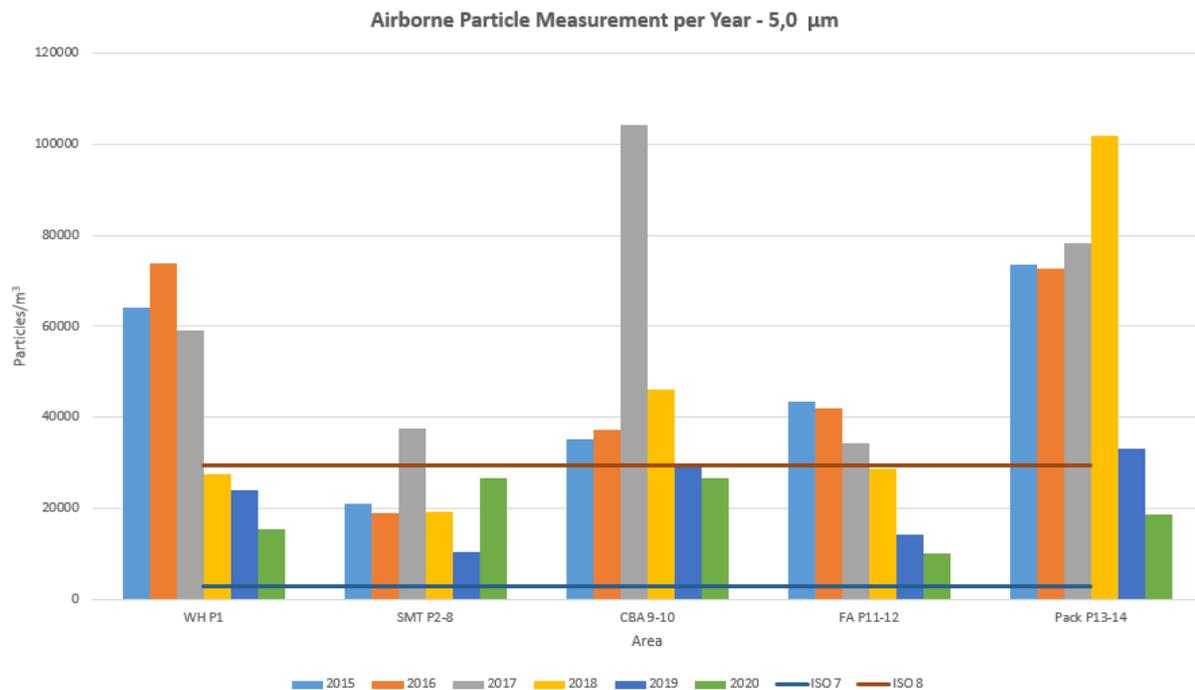


Figura 39 - Medições de partículas aéreas por área desde 2015 - 5,0 µm

Por tudo o que já foi mencionado anteriormente, os dados apresentados neste último gráfico, não são viáveis para se poder retirar conclusões realistas dos valores mencionados referentes aos últimos anos e, também não é correto afirmar que estes três meses possam caracterizar o ano de 2020. De salientar, mais uma vez, que estas mediações foram efetuadas de acordo com o habitual na APTIV de Braga. Isto permite realizar uma análise ao que é e como é realizado atualmente, para depois ser possível identificar erros e propostas de melhoria.

Durante os meses em que decorreu o estudo, foram apenas colocadas cerca 20 *particle traps* no mês de julho, ao longo do edifício 1 (Figura 31) e posteriormente enviados para análise. As *particle traps* consistem numa base de cartão na qual há espaço para uma descrição da amostra e uma placa redonda de 44mm de diâmetro anexada, com uma tampa. A parte inferior do recipiente é coberta por uma cola à qual as partículas em queda aderem.



Figura 40- Exemplo de uma *Particle Trap*

Com base na dimensão máxima, as partículas são classificadas para o grupo A a M. Apenas os grupos D-N (dimensões em μm) são importantes para esta análise, pelo que, não estão incluídas partículas menores que $25\mu\text{m}$.

De seguida é elaborada uma tabela que apresenta o número de partículas de acordo com as suas dimensões ($25\mu\text{m} - >3000\mu\text{m}$) e classe (D-N). Quanto "maior" o grupo, maior a importância da partícula na análise de limpeza, de modo que a análise deve ser particularmente precisa para as partículas de maiores dimensões. Além disso, as partículas metálicas são de particular importância na produção de componentes eletrónicos, uma vez que podem causar danificações irreversíveis.

O próximo passo é colocar todos os dados de cada amostra num Excel de forma a obter o *illig-value*, o valor médio e o valor limite ($MV+3*SD$ número máximo de partículas que pertencem a uma classe) de cada amostra/ *particle trap*.

O *illig-value* é o número de sedimentos presentes numa área referente a 1000cm^2 , numa hora e tendo em conta o fator de ponderação de cada classe.

Tabela 3 - Classes e Fator de Ponderação de acordo com o tamanho das partículas

Tamanho das Partículas [μm]	Classes (VDA 19)	Fator de Ponderação
$25 \leq x < 50$	D	0
$50 \leq x < 100$	E	1
$100 \leq x < 150$	F	4
$150 \leq x < 200$	G	9
$200 \leq x < 400$	H	16
$400 \leq x < 600$	I	64
$600 \leq x < 1000$	J	144
$1000 \leq x$	K	400

Como os valores dos dados presentes no relatório estão em partículas/ *particle trap* e o objetivo é obter o valor [1/1000cm³h]. Assim, é necessário determinar o valor do *Norming Factor*.

$$\text{Norming Factor} = \frac{1 \text{ hora}}{\text{Tempo de Medição (h)}} * \frac{1000 \text{ cm}^2}{\text{Área (cm}^2\text{)}}$$

Onde, o tempo de medição corresponde a 1 semana, ou seja, 168 horas e a área é da superfície da *particle trap*.

$$\text{Área} = \pi * \left(\frac{44}{2}\right)^2 \approx 1520,5 \text{ mm}^2 \approx 15,2 \text{ cm}^2$$

Assim,

$$\text{Norming Factor} = \frac{1 \text{ hora}}{168 \text{ horas}} * \frac{1000 \text{ cm}^2}{15,2 \text{ cm}^2} \approx 0,39$$

A partir deste momento já temos todos os dados necessários para proceder ao preenchimento do Excel.

A Figura 41 mostra a tabela referente à análise da primeira amostra da *particle trap* número 1.

Diâmetro (mm)	44							
Norming Factor	0,391665							
SMT			Sample1					
Weighting Factor	Size Class	Particle Size(µm)	All (Non-Metallic and Metallic)	Metallic	Fibers	All x WF	Metallic x WF	Fibers x WF
0	D	25 - 50	368	62	0	0	0	0
1	E	50 - 100	118	9	0	118	9	0
4	F	100 - 150	19	1	1	76	4	4
9	G	150 - 200	2	0	4	18	0	36
16	H	200 - 400	1	0	15	16	0	240
64	I	400 - 600	0	0	6	0	0	384
144	J	600 - 1000	0	0	9	0	0	1296
400	K	>1000	0	0	8	0	0	3200
TOTAL			508	72	43	228	13	5160
Illig Value						89,299814	5,091656	2020,995

Figura 41 - Excel Medições *Particle Traps*

Com os dados obtidos, foram elaborados os seguintes gráficos que apresentam os valores médios por área da fábrica da APTIV de todas as partículas e, em específico, das partículas metálicas. Isto, porque a equipa de *Technical Cleanliness* só tem estabelecido que a preocupação é apenas com as partículas condutivas superiores a 500 µm. De acordo com os valores apresentados nos gráficos das figuras seguintes, é possível verificar que foram encontradas partículas metálicas superiores a 500 µm na FA.

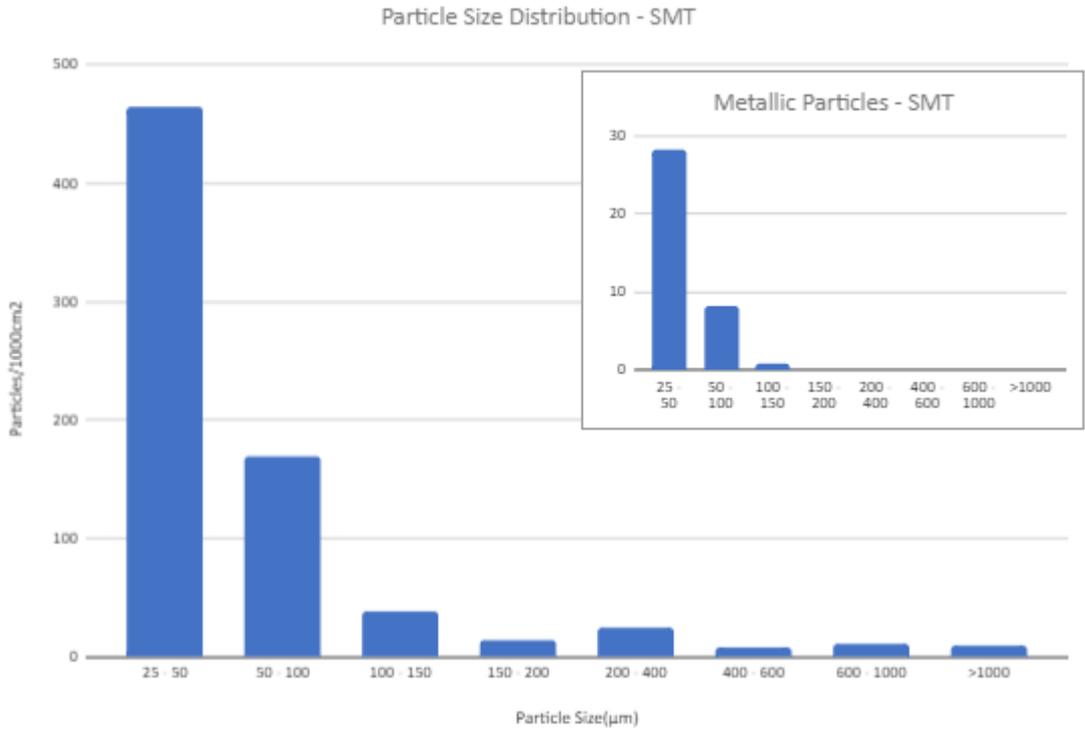


Figura 42 – Distribuição das Partículas na SMT

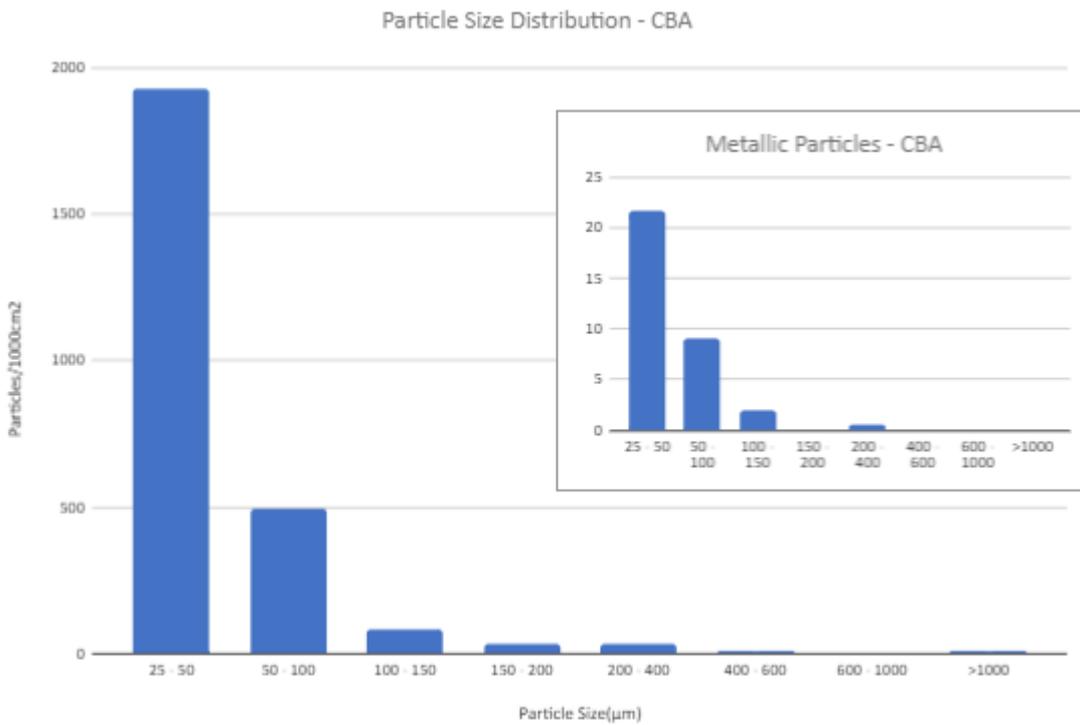


Figura 43 – Distribuição das Partículas na CBA

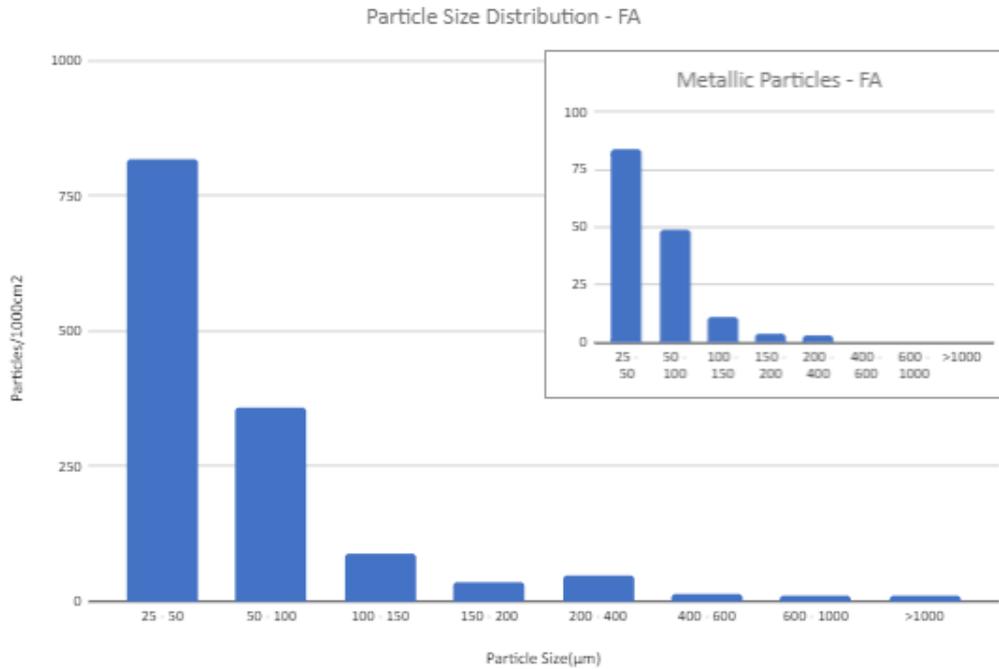


Figura 44 - Distribuição das Partículas na FA

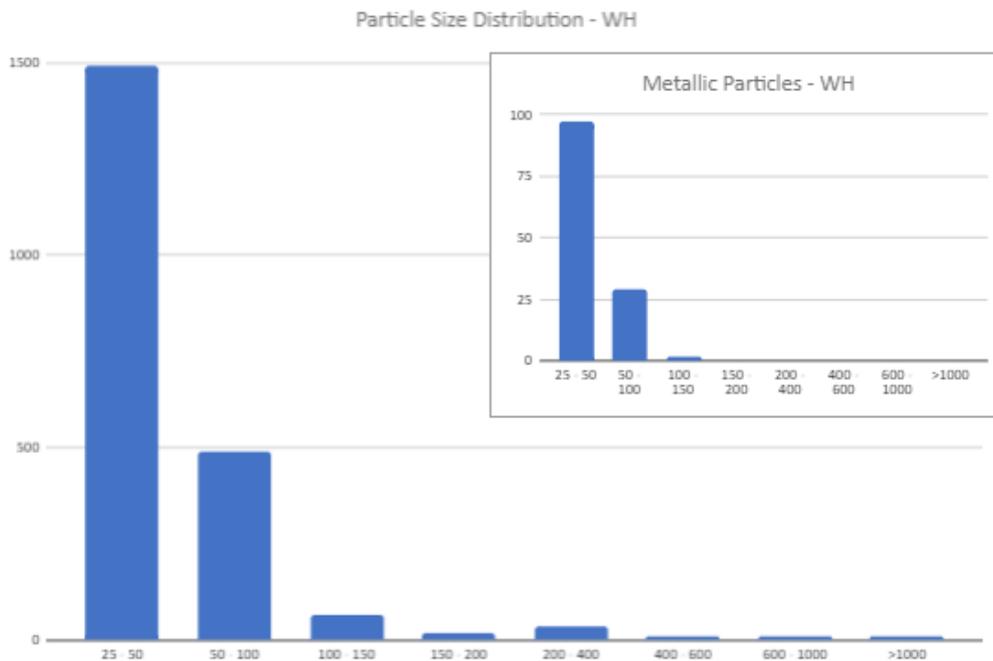


Figura 45 - Distribuição das Partículas no WH

Em relação às análises feitas anteriormente, apenas se viam algumas características, mas não era realizado nenhum tratamento e armazenamento dos dados pelo que o registo se foi perdendo. As análises às *particle traps* apenas foram possíveis neste mês, uma vez que eram as últimas do stock da APTIV de Braga.

4.4 Identificação de Erros e Propostas de Melhoria

Ao longo do presente capítulo foi-se referenciando como é que funcionavam os processos de *Technical Cleanliness* na APTIV, as ações e os cuidados que os colaboradores tinham em relação a esta temática, assim como, mencionados alguns erros. O *Gap Assessment* permitiu delinear os requisitos que se pretendem atingir, executar a análise ao estado atual da empresa, verificar a conformidade com as diretrizes e definir as ações seguintes.

A primeira ação consistiu em verificar se as áreas CG (Figura 26), atribuídas ao *layout* do edifício 1 e do edifício 2, se encontravam corretas e as diretrizes que tem de cumprir. No edifício 1 foi possível observar que a zona de produção, que é uma área classificada como CG2, devido aos dispositivos aí manuseados, estava em contacto direto com áreas CG0 sem antes apresentar uma zona CG1. Além disso, o anterior *layout* ainda não continha a sala limpa (CG3) que foi planeada recentemente para a montagem de um novo produto.

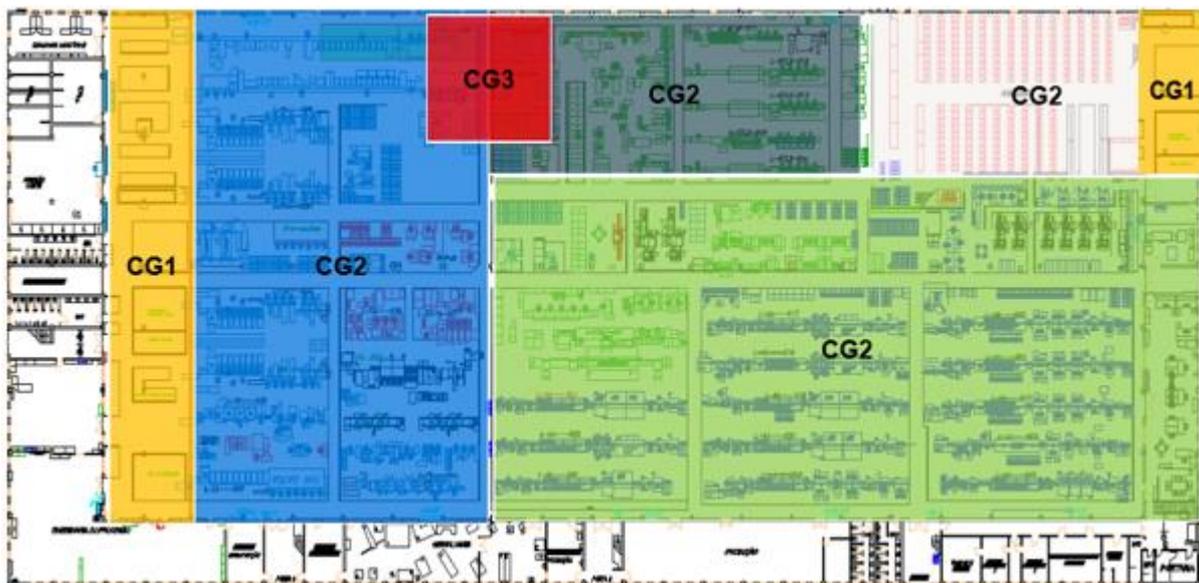


Figura 46 - Novas áreas CG do edifício 1 da APTIV de Braga

De seguida, foi realizada uma análise a esta separação das áreas CG1 e CG2 e identificados os erros que ocorrem e que fazem com que estas áreas não se encontrem em conformidade com as normas. Nunca pode haver contacto direto de uma CG1 para uma CG2, por isso o número de passagens deve ser o mais reduzido possível e cumprir certas condições. Por exemplo, a passagem de pessoal tem de ter obrigatoriamente cortinas até ao chão e os *StikyMats* e, na passagem de material, as cortinas têm de ser o mais compridas possível. Todo o resto deve ser tapado e não devem existir passagens que não têm utilidade. O objetivo é tentar ao máximo diminuir a passagem direta de uma área para a outra.

Algumas das não conformidades encontradas foram a existência de tapetes em zonas que já não são de passagem e a falta dos mesmos nas zonas corretas. Além disso, também foram identificados todos os locais com falta de vidros ou cortinas nesta separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1.



Figura 47 - Exemplos de erros na separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1

Por outro lado, muitos dos *StikyMats* já apresentavam sinais de desgaste e necessitavam de ser substituídos. Na próxima imagem é visível esta situação, e também é possível observar que a zona de passagem é maior do que o corredor dos colaboradores.



Figura 48 - Exemplo de erros na separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1

Outro erro identificado nesta separação, é a existência de zonas em que as cortinas tinham de ser cortadas e zonas em que é essencial a sua colocação.

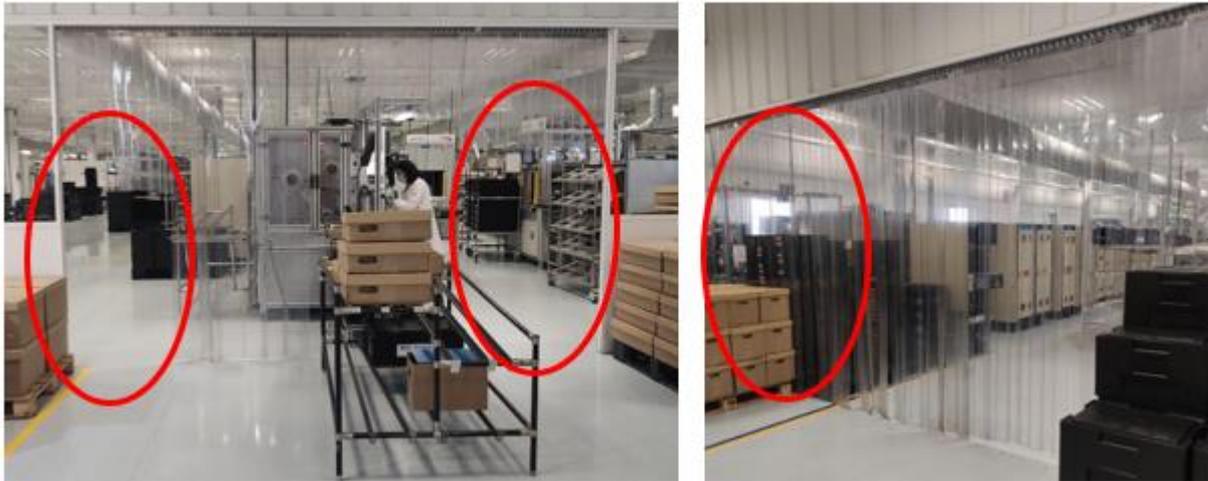


Figura 49 - Exemplos de erros na separação entre a CG1 e a CG2 do edifício 1

Concluindo, ocorriam alterações de *layout* e de zonas de montagem que necessitavam da passagem de materiais entre a CG1 e a CG2, e como os colaboradores possivelmente não tinham a noção deste requisito em *Technical Cleanliness*, quando ocorriam estas alterações, o responsável por este processo não era informado. Este é um ponto a ter em consideração nas próximas formações aos colaboradores da empresa.

O grau de limpeza não foi reformulado apenas no edifício 1, mas também no edifício 2. A próxima imagem mostra que a zona de *repacking* foi considerada uma CG1.



Figura 50 - Nova classificação das áreas CG no edifício 2

Contrariamente ao edifício 1, o edifício 2 cumpria com todas as regras de separação entre as áreas CG1 e as áreas CG2. A única anotação apontada foi a de se ter em atenção que os *StickyMats* já estavam a ficar desgastados e a sua troca seria necessária num futuro próximo. Seria interessante possuir um registo da compra destes equipamentos e perceber qual é o seu período de vida útil.

Dentro das áreas CG2 foram identificadas várias falhas de comportamentos dos operadores e a existência de equipamentos em que os seus materiais não são permitidos dentro de uma área que apresenta requisitos de limpeza.



Figura 51 - Exemplos de materiais encontrados numa CG2

Na Figura 51 é possível observar a presença de vassouras, caixas de cartão, a utilização de panos inapropriados e a ausência de procedimentos básicos de limpeza. Além dos colaboradores, os trabalhadores externos que fazem as limpezas, também deveriam ter uma formação de *Technical Cleanliness* e seria relevante terem conhecimento do documento com os requisitos para estas áreas, assim como o planeamento do modo e a frequência da sua limpeza.

Independentemente de quem é o responsável pelos processos de *Technical Cleanliness*, todos os colaboradores têm a obrigação de trocar frequentemente as suas luvas, de lavar a sua bata e de avisar o responsável sempre que observa ou suspeita situações anómalas.

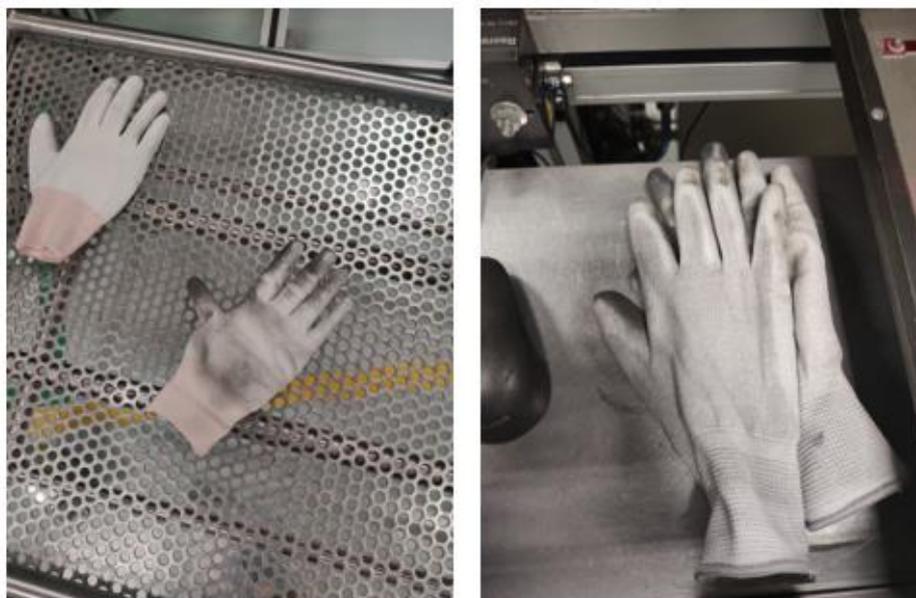


Figura 52 - Luvas encontradas ao longo da zona de produção

Os componentes que se encontravam inicialmente limpos, são gradualmente contaminados durante o seu transporte, armazenamento e, sobretudo, durante o processo de montagem. Alguns exemplos observados de comportamentos que contribuiram para a ocorrência de contaminações foram:

- o uso de luvas gastas e sujas (transportando resíduos nas próprias luvas);
- a falta do uso de luvas (contaminando os equipamentos com óleos e cosméticos);
- o uso de luvas que foram utilizadas em tarefas com óleos, ou no interior sujo de uma máquina ou em atividades de manutenção de equipamentos;
- o uso das luvas para remover contaminações visíveis, que no final da sua utilização não foram substituídas;
- o transporte de objetos, materiais e contentores com resíduos para as áreas limpas;
- a abertura de portas/janelas diretamente para o exterior;
- a não limpeza dos sapatos à entrada.

Foram várias vezes observados acontecimentos como os apresentados na Figura 53. Estes ocorreram em zonas visíveis e de passagem de colaboradores e operadores da fábrica. É óbvio que este tipo de situações, não podem ser permitidas e devem ser reportadas de imediato.

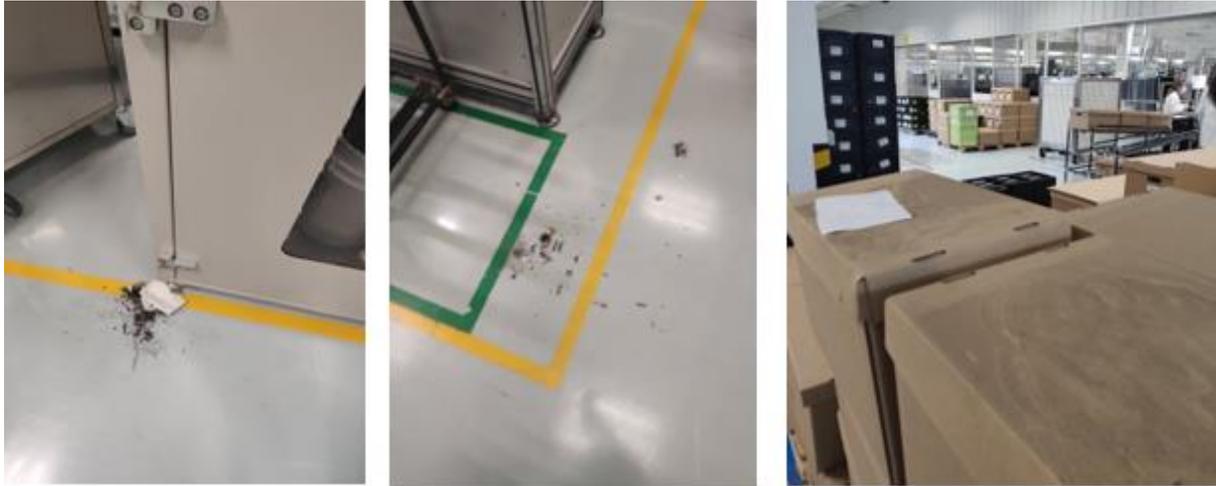


Figura 53 – Exemplos de sujidades encontradas

Assim, foi possível concluir que a formação inicial onde são apresentados conceitos básicos de *Technical Cleanliness* não é suficiente. Todos os colaboradores e operadores da empresa têm de ser apelados para esta questão e recordados através da colocação de avisos visuais. Também seria importante adaptar a formação ao trabalho ou à zona de trabalhado do operador, juntamente com a realização de auditorias periódicas para verificar o seu cumprimento.

Os equipamentos que se encontravam ao longo da produção, e o modo como estes eram manuseados, também podiam estar a contribuir para a contaminação de dispositivos dentro do ambiente controlado (Figura 54), nomeadamente:

- as rampas que libertavam resíduos sobre os equipamentos/produtos;
- os dispositivos que geravam/libertam partículas durante a sua utilização;
- os materiais que não protegiam os produtos;
- a utilização de ar comprimido para limpar partículas visíveis das superfícies de componentes;
- o ato de sacudir o pano de limpeza;
- a abertura de equipamentos contaminados ou impróprios numa área limpa;
- a presença de limalhas em equipamentos retrabalhados/alterados.



Figura 54 – Partículas visíveis em equipamentos de contacto direto com os dispositivos

Outras ocorrências que geram partículas visíveis a olho nu e, por isso, dos pontos que devem ser objeto de uma análise posterior são:

- o aparafusamento;
- a colocação de *containers* nas suas bases;
- a abertura de embalagens (sobretudo de cartão);
- a intervenção em máquinas;
- a falta de limpeza das batas, luvas e sapatos;
- as rodas dos carros ou porta-paletes;
- as caixas ou equipamentos onde são colocados os dispositivos.

No sistema operativo e comportamentos têm de ser implementados procedimentos de *housekeeping*, rotinas de limpeza de *containers* e equipamentos, rotinas de limpeza de caixas, realizadas auditorias 5S e, por fim, treinos e formações.

Um dos maiores erros detetados foi no controlo e mediações das *airborne* e das *particle traps*. A falta da padronização neste procedimento é notória. Não se encontra estabelecida a frequência com que os diferentes tipo de medições devem ser efetuadas, o porquê da necessidade dessa análise, como é que os dados devem ser tratados e armazenados e que conclusões é que se pretendem obter/retirar.

Relativamente às *airborne*, para estas serem executadas segundo as diretrizes, cada local deveria incluir mais do que uma medição (pelo menos duas) e o número de amostras retiradas em cada área depender da sua dimensão.

A área total da zona de produção do edifício 1 da APTIV de Braga (área CG2 do ED1) é de 7371 m². Segundo a ISO 14644-1:2015, para determinar o número necessário de amostras, numa área superior a 1000 m², deve recorrer-se à seguinte equação:

$$N_L = 27 * \left(\frac{A}{1000}\right)$$

em que,

- N_L representa o número mínimo de localizações para realizar amostras;
- A é a área em m².

assim,

$$N_L = 27 * \left(\frac{7371}{1000}\right) = 199,017 \approx 200 \text{ localizações}$$

Desta forma podemos concluir que para realizar uma análise correta, e de acordo com as normas, é necessária uma análise das *airborne* no edifício 1 em pelo menos 200 localizações diferentes, o que representa um valor muito superior ao atual que são apenas 14 amostras.

Outro ponto negativo é a não existência de medições na CG3 do edifício 1. Apesar do seu pleno funcionamento estar previsto para daí a uns meses, este é um projeto onde já estão a decorrer testes. A sala limpa tem cerca de 21 m² e, por isso, necessita de 6 medições.



Figura 55 – Localização das medições *airborne* na CG3

Depois de realizadas corretamente as medições, o resultado obtido encontra-se na Figura 56 e na Figura 57.

Airborne Particle Measurement - 0,5 µm

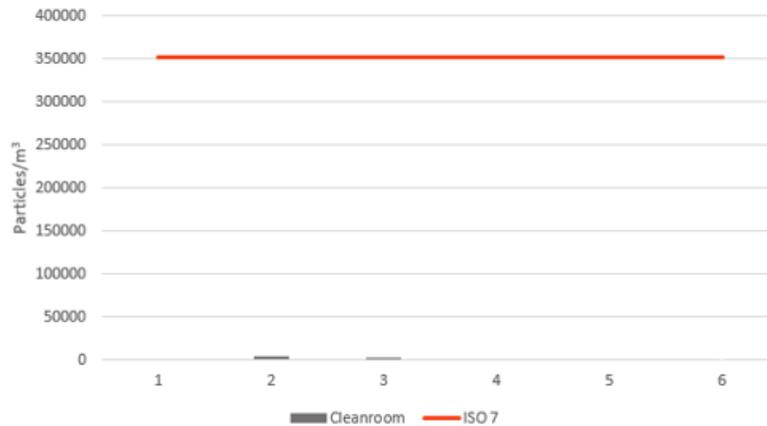


Figura 56 - Resultado das medições às partículas aéreas na sala limpa – 0,5 µm

Airborne Particle Measurement – 5,0 µm

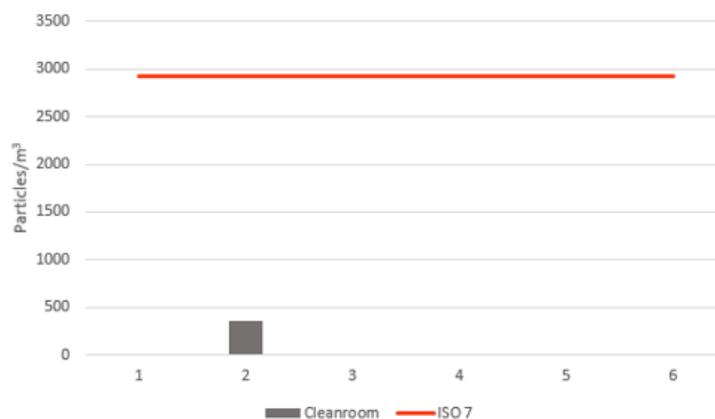


Figura 57 - Resultado das medições às partículas aéreas na sala limpa – 5,0 µm

Como podemos observar, é possível concluir que os números de partículas aéreas na sala limpa se encontram dentro dos parâmetros. É relevante definir a continuidade na realização destas medições.

Outro erro identificado é a ausência de qualquer tipo de análise no edifício 2. As áreas CG1 e CG2 representam aproximadamente 1896 m², ou seja, deveriam ser executadas cerca de 52 amostras.

$$N_L = 27 * \left(\frac{1896}{1000} \right) = 51,192 \approx 52 \text{ localizações}$$

É necessário referir que o colaborador responsável exercia outras funções para além da sua responsabilidade com os processos de *Technical Cleanliness*. Estas medidas devem ser efetuadas uma

vez por mês e realizadas corretamente. É necessário dispensar muito tempo com as mesmas. Após a análise feita e os resultados obtidos, é obrigatório colocar os resultados na página local das equipas de *Technical Cleanliness*.

Semelhante às medições das *airborne*, foram detetados os mesmos problemas nas medições das *particle traps*. Isto é, o número de amostras não é suficiente, não são efetuadas medições suficientes no edifício 2 e não há tratamento e armazenamento dos resultados obtidos.

Segundo as normas, devem ser colocadas cerca de 1 a 2 *particle traps* por cada 200 m² de área. Ou seja, no mínimo são necessárias 37 *particle traps* para o edifício 1 e 11 para o edifício 2. O que dá um total de 576 *particle traps* por ano. Aquando da o orçamento para o próximo ano, este dado tem de ser ter em consideração para evitar a falta de stock.

Outro erro identificado foi a elaboração das análises das partículas no exterior da empresa. A APTIV já tinha comprado o microscópio “Stereo microscope with automatic polarization filter” (Figura 58) que contém um *software* de reconhecimento de imagem. O microscópio tira uma série de fotos à *particle trap* e, de seguida, agrupa-as e analisa a imagem resultante.



Figura 58 - Microscópio

Este microscópio foi adquirido especificamente para este fim. A cotação atual para a análise de cada *particle trap* é de 25€, ou seja, representa um custo por ano de pelo menos 14400€. Uma vez que já possuem o equipamento, o mais vantajoso é dar formação ao responsável para a sua utilização do.

Resumidamente, podemos concluir que com a implementação dos fatores aqui mencionados, com a divulgação de boas regras e práticas no local de trabalho e com a correta monitorização de partículas,

os resultados obtidos na próxima auditoria dos processos de *Technical Cleanliness* da APTIV de Braga teriam certamente um resultado superior aos valores obtidos.

5. ANÁLISE E REDEFINIÇÃO DE PROCESSOS ESD NA APTIV DE BRAGA

No presente capítulo apresentam-se os motivos pelos quais a existência de medidas e processos ESD são tão importantes para a APTIV e, como é possível melhorar de forma a cumprir com todas as normas globais e requisitos internos. Assim, foi fulcral estudar o estado atual da empresa para entender que ações e medidas de prevenção contra eventos ESD são necessárias ocorrer no contexto de uma fábrica que produz dispositivos sensíveis. Assim, apresenta-se a avaliação realizada ao processo atual utilizado pela empresa APTIV, indicando os principais problemas encontrados e propostas de melhoria. Por último, refere-se a potencialidade de integrar os diferentes tipos de medições ESD no *software HolisTech* e as vantagens que esta redefinição do processo de medições ESD representam para a APTIV de Braga.

5.1 Importância de Processos ESD na APTIV

Como mencionado anteriormente no capítulo 3, a APTIV centra-se na produção de produtos de alta tecnologia com características específicas e de grande complexidade de fabrico. Na unidade de Braga, a empresa opera com circuitos integrados e materiais sensíveis à ESD, que podem levar ao surgimento de falhas ou à pré danificação dos dispositivos fabricados.

Sempre que a APTIV recebe reclamações por parte dos seus clientes, é feita uma análise que permita determinar a causa raiz que levou ao descontentamento do cliente. A ESD representa cerca de 3% da causa raiz.

Contudo, sempre que ocorre um evento ESD, é quase impossível determinar a área da empresa em que ocorreu esta falha ou a ação/ conjunto de ações podem ter contribuído para tal. Dentro da APTIV, estes acontecimentos podem ser detetados ao longo da produção dos dispositivos ou então nas diferentes fases de teste. A Figura 59 apresenta o exemplo de uma falha ESD detetada num dispositivo.

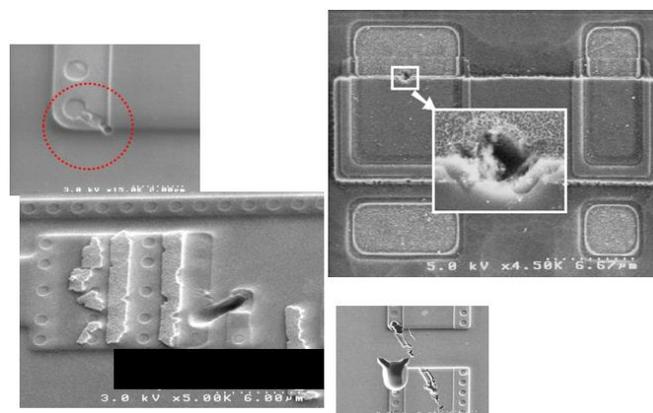


Figura 59 - Exemplo de uma falha visível ESD

Nem sempre estes defeitos são visíveis, e os produtos podem estar apenas parcialmente danificados e ainda funcionar, pelo menos durante algum tempo. Estas falhas permanecem latentes e são as causas de devolução. Frequentemente estes defeitos ESD são um precursor comum do EOS (Figura 60).

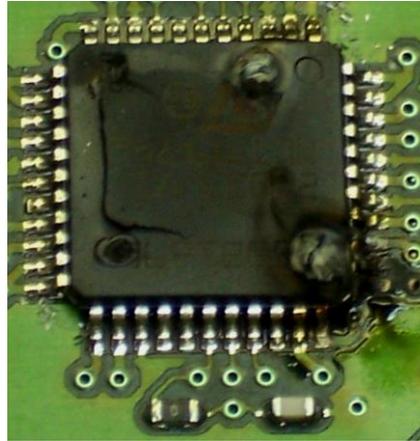


Figura 60 - Exemplo de uma falha EOS

Para eliminar ou evitar danificações provocadas por um evento ESD, é necessário eliminar diferenças de potencial entre ESDS e outros condutores, com os quais o ESDS pode entrar em contato, como colaboradores, equipamentos de manuseio automatizados e equipamentos móveis. Se há itens que ao entrarem em contato com o ESDS são capazes de conduzir eletricidade, estes são conectados ao solo ou eletricamente ligados, com o fim de eliminar diferenças de potencial.

Por esta razão, é indispensável para a APTIV garantir que todos os equipamentos se encontram devidamente ligados à terra. Daí ser de extrema importância a definição de um plano de controlo detalhado e o cumprimento do mesmo para garantir que não ocorrem acidentes de trabalho nem falhas nos dispositivos.

Além disso, na zona da produção todos os materiais e produtos têm de ser projetados para possuírem características específicas de forma a evitar a geração de carga estática e/ou dissipar cargas estáticas que foram geradas e, conseqüentemente, evitar danificações aos dispositivos sensíveis ao ESD.

Todos os factos previamente citados fazem com que os processos ESD sejam de extrema relevância para a APTIV e, por estas razões, alvo de estudo na presente dissertação. O objetivo foi perceber quais eram as medidas atuais que se encontravam em vigor, se essas medidas consideravam as necessidades atuais e futuras da empresa, se estavam a ser aplicadas e cumpridas corretamente e, por fim, estudar e executar novas medidas e ações relevantes para melhorar os processos de ESD na APTIV.

5.2 Estado Atual de Processos de ESD da APTIV

5.2.1 Medidas Atuais na APTIV de Braga

Na Figura 622 e na Figura 63 encontram-se visíveis as áreas controladas e protegidas contra possíveis eventos ESD e em que os dispositivos podem ser produzidos e manuseados com um risco aceitável de falha. As EPA são zonas que se regem por requisitos muito específicos e próprios. Na APTIV de Braga os limites destas áreas encontravam-se convenientemente identificadas e continham símbolos (Figura 61) que permitem identificar a entrada ou a saída destas mesmas áreas.



Figura 61 - Exemplo de símbolos de identificação à entrada de uma EPA na APTIV

Na próxima figura é possível averiguar que as EPA do edifício 1 são as áreas de produção da APTIV e os laboratórios onde ocorre o manuseamento de ESDS.

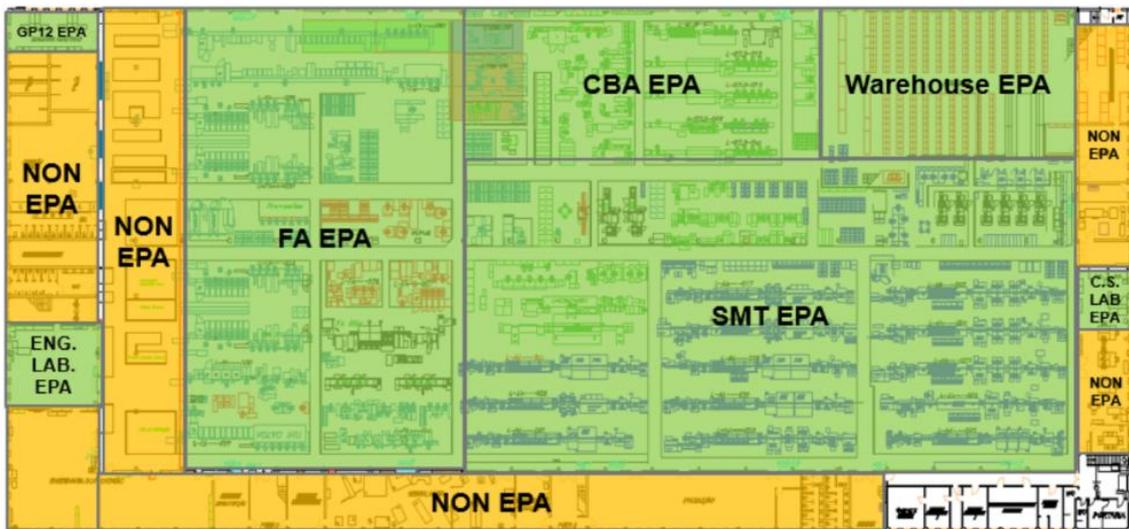


Figura 62 - Identificação das áreas protegidas ao ESD e das áreas não protegidas no edifício 1 da APTIV de Braga

Em relação ao edifício 2, a APTIV tinha determinado a seguinte definição de áreas EPA e não EPA. As zonas classificadas como EPA, que correspondem às áreas onde ocorre a produção e manuseamento de dispositivos, estão apresentadas na Figura 63 a verde.

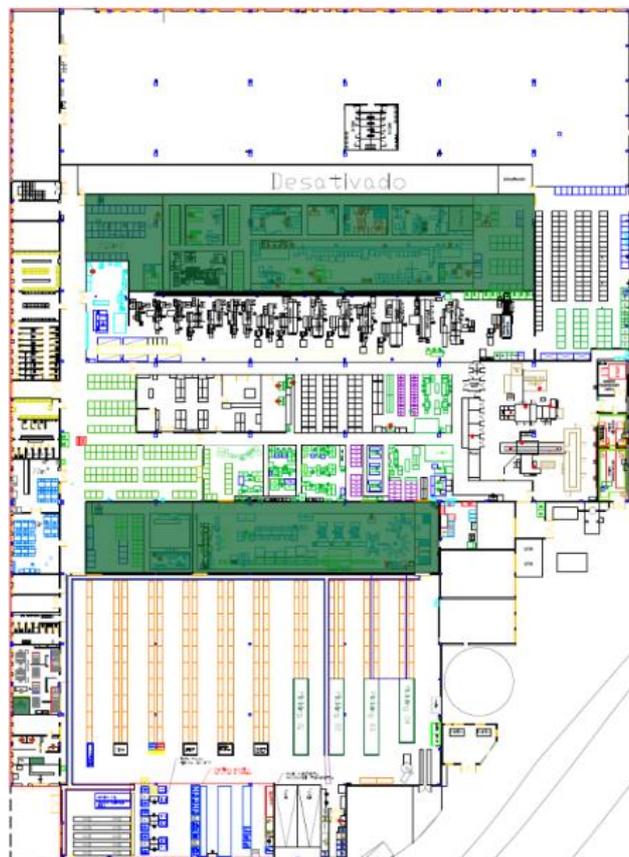


Figura 63 - Identificação das áreas protegidas ao ESD e das áreas não protegidas no edifício 2 da APTIV de Braga

Em relação ao edifício 3 e 4 da APTIV de Braga, estes não apresentam a produção ou manipulação de dispositivos sensíveis ao ESD e, é por esta razão que estes dois edifícios não requerem de um estudo aprofundado nesta área, nem possuem zonas com características especiais. Assim, podemos caracterizar os edifícios 3 e 4 da APTIV como áreas não EPA.

Na empresa, o acesso à EPA é limitado aos operadores que previamente concluíram a formação ESD fornecido por trabalhadores da APTIV. Esta formação ocorre quando um colaborador novo entra para a equipa. Um colaborador sem esta formação deve ser acompanhado por um que já tenha esta formação. O vestuário indispensável para entrar numa EPA encontra-se referenciado nas entradas principais para a produção. É indispensável a utilização de bata ESD, de sapatilhas ESD e, caso se justifique, de luvas ESD tal como apresentado na Figura 64.



Figura 64 – Regras de vestimenta necessárias para entrar numa EPA na APTIV

Em relação a visitantes ou colaboradores que recentemente admitidos, a APTIV disponibiliza umas coberturas descartáveis ESD para os pés. No sentido de verificar se todas as pessoas estão devidamente equipadas, e que o seu equipamento se encontra em conformidade, nas entradas para a produção existem torniquetes de passagem (Figura 65), que só permitem a entrada do operador depois de este colocar os pés corretamente e verificar que cumpre todos os requisitos.



Figura 65 - Torniquete que realiza o controlo dos sapatos ESD

No interior da EPA todos os equipamentos devem ser dissipativos e com ligação à terra. Alguns exemplos aplicados pela APTIV são o vestuário que já foi divulgado anteriormente, a utilização de caixas ESD, o uso de pulseiras de aterramento por parte dos operadores nos seus postos de trabalho (quando estes se encontram sentados), a existência de ionizadores para ajudar a eliminar cargas que possam estar presentes nos materiais, o uso de cadeiras ESD em contacto com o piso dissipativo e equipamentos próprios de transporte.

O próprio design de segurança ESD (Figura 66) para os equipamentos segue exigências específicas que garantem o aterramento do operador, o aterramento do produto, que não haja o movimento excessivo do dispositivo e que os componentes isolantes não apresentem um perigo de campo estático.

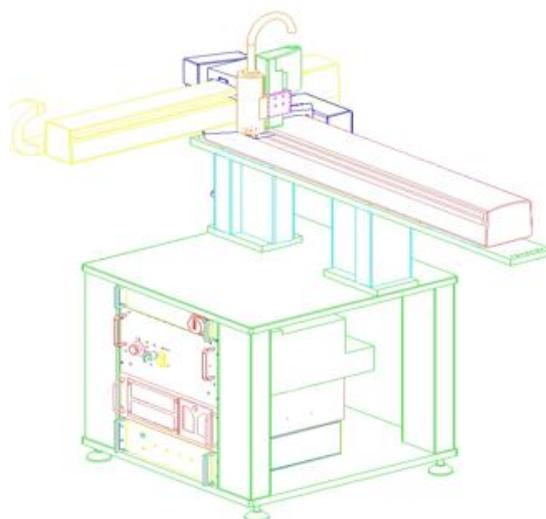


Figura 66 - Exemplo de um projeto de design de segurança ESD

Todos estes equipamentos e materiais com características especiais passam pelas devidas medições para verificar a sua concordância com as exigências da APTIV e dos seus clientes. Desta forma, sempre que um novo equipamento é comprado ou sofre alterações na empresa, o responsável por ESD da APTIV tem de ser informado e, de seguida, realizar todos os passos essenciais.

Em relação às medições que têm de serem realizadas, a APTIV anuncia todas as regras no seu plano de controlo ESD, que contém todos os aparelhos fundamentais na posse do responsável e guarda os resultados obtidos em folhas Excel.

5.2.2 Plano de Controlo e Requisitos Práticos da APTIV

Todas as práticas e procedimentos da APTIV devem estar em conformidade com o Plano de Controlo ESD. Aplicável às instalações EPA com atividades que fabricam, processam, montam, instalam, testam, inspecionam, transportam ou manuseiam peças elétricas ou eletrónicas, conjuntos e equipamentos suscetíveis a estragos por descargas eletrostáticas.

A questão importante concerne ao presente controlo e manutenção de todos os equipamentos e materiais, sendo este um fator crucial para o bom funcionamento da APTIV. É aqui que o Plano de Controlo ESD da empresa é essencial para inspecionar e evitar incidentes de geração de eletricidade estática.

Ou seja, o Plano de Controlo ESD da APTIV define os requisitos mínimos de controlo de descargas eletrostáticas a serem usados para evitar danificações aos dispositivos sensíveis. Esses requisitos devem ser aplicados em todos os dispositivos e conjuntos ESDS, e identificados como tal. Esta proteção começa com a receção de ESDS, continua por todas as fases de montagem e teste e termina com a embalagem e o envio.

Assim, a proteção ESD é fornecida em todas as áreas de fabricação onde os dispositivos são manuseados, testados ou armazenados. Este procedimento é aplicado em todas as unidades produtivas da APTIV.

Desta forma, o atual Plano de Controlo ESD apresenta informações como requisitos administrativos, elementos técnicos e requisitos técnicos necessários para o controlo e monitorização ESD. Para dar suporte ao que é fundamental ser executado na empresa, a APTIV contém cerca de 11 documentos de apoio que constituem as práticas requeridas para o cumprimento do Plano. Cada um destes requisitos tem o seu propósito e fornece diretrizes, tanto visuais como práticas, pelas quais a empresa tem definido que é por estas que se tem de reger.

Os principais temas abordados nos Requisitos Práticos (RP) referem-se à sinalização e identificação ESD, à verificação e controlo ESD do piso e dos ionizadores, à lista de produtos de controlo ESD, aos processos para analisar linhas de fabricação para riscos de EOS, ao procedimento de auditoria de controlo ESD, ao plano de controlo de manuseamento de isoladores em EPA, ao plano de acondicionamento de ESDS, aos requisitos de controlo para ESDS2 e montagem, aos requisitos de vestuário e, por fim, à seleção e uso de tapetes de piso.

As RP fornecem informação relevante sobre a lista dos materiais que há na APTIV e que são alvo do plano de controlo, que tipo de materiais é que podem ser usados numa EPA, como é que os dispositivos devem ser manuseados, como é que têm de ser transportados e requisitos mínimos das embalagens para evitar danificações dentro e fora das áreas protegidas. Além disso, esclarece a exigência padrão de vestuário para todos os funcionários utilizarem roupas que fornecem características especiais contra ESD e proteção contra a contaminação dos seus produtos.

Todos os materiais e equipamentos mencionados nas RP são aceitáveis para utilização na APTIV *Electronics & Safety* (E&S), têm de passar nos testes iniciais internos e mostrar desempenho aceitável ao longo do tempo. Contudo os produtos estão sujeitos a alterações após uma utilização extensiva. Esta é uma das razões pelas quais é de extrema importância que sejam realizadas auditorias e um estudo aos atuais processos de medições de ESD na APTIV de Braga.

5.2.3 Atual Controlo e Monitorização de Processos ESD na APTIV

Como mencionado anteriormente, o plano de medições tem de ser realizado a todos os equipamentos e materiais que estão em contacto com dispositivos sensíveis ou que possam influenciar o seu correto funcionamento. Este plano deve conter todas as monitorizações necessárias, que equipamentos é que devem ser verificados, a sua frequência e, por fim, quais é que foram os valores obtidos e, de acordo com este, se o equipamento se encontra conforme.

Cada equipamento que tem de ser monitorizado, pode apresentar diferentes formas de se saber se está a fazer descargas corretamente, ou seja, se se encontra ligado à Terra e não se encontra a sobrecarregar os ESDS. Todos os aparelhos de medição da APTIV e a sua forma de utilização encontram-se definidos nos requisitos práticos de ESD da APTIV.



Figura 67 - Exemplo da verificação ESD a uma correia de distribuição

A Figura 68 apresenta o atual plano genérico de verificação da APTIV de Braga. O plano estava definido numa folha Excel e dividido pelas zonas que contêm equipamentos que sofrem verificações ESD, pelas cadeiras ESD, pelos equipamentos de transporte de materiais, pela monitorização de pulseiras, pelos torniquetes de passagem, pelos ionizadores e pelos laboratórios.

Assets	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Linhas Montagem Final												
Linhas de CBA												
Linhas de SMT												
Cadeiras ESD produção												
Carros produção												
Monit cont. de pulseiras												
PGT120												
Ionizadores												
Labs												

Figura 68 - Tabela Excel com o plano de verificação genérico de ESD na APTIV de Braga

Segundo este plano genérico, a manutenção ESD ocorria duas vezes por ano nas linhas de produção, trimestralmente nos ionizadores e uma vez por ano nos restantes equipamentos que têm de ser verificados.

Neste Excel encontram-se discriminados todos os equipamentos que padecem de monitorização ESD e para cada ano é elaborado um Excel diferente. Ou seja, cada Excel contém um total de 16 folhas diferentes, sendo que cada uma corresponde a um dos itens mencionados em cima e uma outra folha com os dados das medições efetuadas relativamente a um determinado ano.

Por exemplo, no caso dos torniquetes de passagem, que correspondem à monitorização contínua dos sapatos, podemos ver que o Excel apresenta todos os equipamentos que têm de ser verificados, a sua

localização, a data em que foram verificados, se passaram ou não na sua verificação e qual será a data da sua próxima verificação.

2020												
Procedimento:		Calibration Unit for PGT120 Procedimento 7 do manual										
Periodicidade:		Anual										
Equipamento	SN	Auto ID (Holist.)	Localização	Verif 2019	Pass/fail	Etiqueta de verificação colocada?	Conjunto torniquet e base de medição ok?	Verif 2020	Pass/fail	Etiqueta de verificação colocada?	Conjunto torniquet e base de medição ok?	Obs.
Entradas Edifício 1												
Equip teste PGT 120	12371	46684	Torniquete T1 - porta norte	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	12380	46685	Torniquete T2 - porta norte	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	12388	46686	Torniquete T3 - porta norte	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	12396	46688	Torniquete T4 - porta norte	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	12403	46687	Torniquete T5 - porta 3	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	12404	46689	Torniquete T6 - porta 3	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	12412	46690	Torniquete T7 - porta 1	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	13694	59452	Torniquete T8 - porta 2	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	13704	59453	Torniquete T9 - porta 2	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Equip teste PGT 120	7211	27827	Porta acesso armazém ED1	1/9/2019	Pass	S	S	1/8/2020	Pass	S	S	Prox 08-01-2021
Edifício 2 - área electrónica Infotainment												
Equip teste PGT 120	2117	46691	Torniquete T(?) Dir.	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Equip teste PGT 120	14911	68916	Torniquete T(?) Esq.	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Equip teste PGT 120	14932	69786	Porta rápida corredor	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Equip teste PGT 120	7219	27829	Porta rápida saída produto	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Edifício 2 - área electrónica Controls												
Equip teste PGT 120	14919	68917	Torniquete T(?)	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Equip teste PGT 120	7218	27828	Porta rápida BSI - armazém	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Equip teste PGT 120	7197	27825	Porta rápida corredor principal	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Edifício 2 - Sala QLS												
Equip teste PGT 100	6742	27461	Porta acesso sala QLS	10/25/2019	Pass	S	S					Prox. 23/10/2020
Equip teste PGT 120	16926	73083	Torniquete									

Figura 69 - Modo de armazenamento de medições ESD atual

Porém, como é que são realizadas estas medições e como é que são guardados os dados obtidos? O coordenador ESD averigua na sua folha Excel e, de acordo com o seu plano genérico de verificações, prioriza os equipamentos que pretende verificar e dirige-se ao local juntamente com os aparelhos de medição (Figura 70).



Figura 70 – Aparelhos de medição Metriso 3000 e Safety Pips Calibration Unit

Depois de realizadas as medições com estes aparelhos, o coordenador armazena os dados e, de seguida, coloca essa informação no seu documento Excel. No caso de utilizar o “Metriso 3000”, que é um aparelho digital que pode testar elevadas resistências, registar a temperatura e a humidade relativa do

local, os dados são armazenados no seu próprio *software* (Figura 71) e, posteriormente, os resultados são transcritos para o Excel.

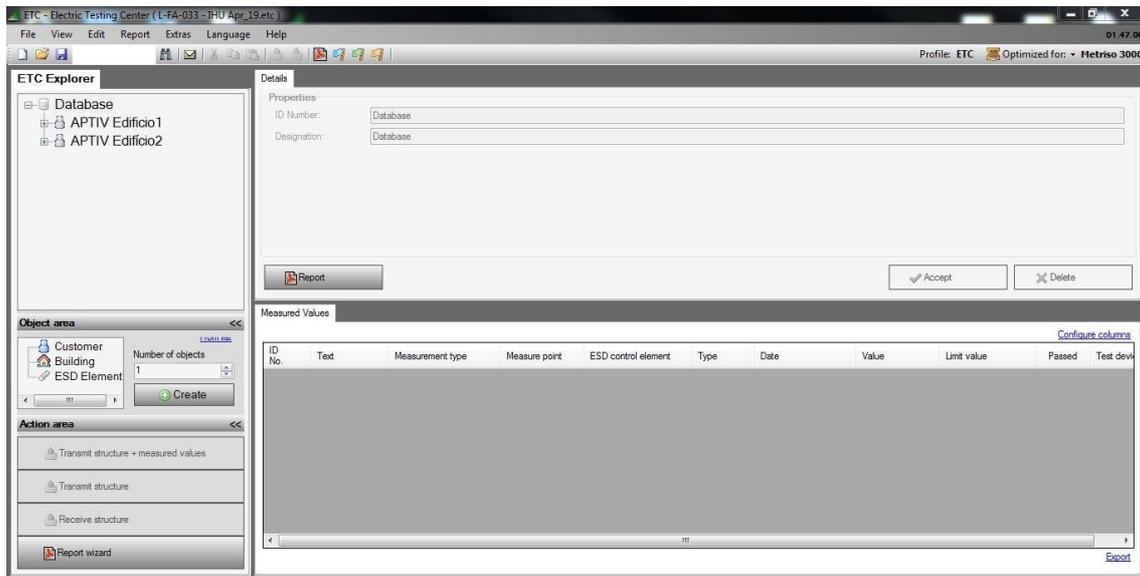


Figura 71 - Metriso 3000 *software*

Caso opere com o *Safety Pips Calibration Unit*, o coordenador de ESD da APTIV regista num papel (Figura 72) se a pulseira, que se encontra no posto de trabalho, está em conformidade, isto é, se passa ou não no teste. De seguida, tal como acontece no caso anterior, a informação é incluída no ficheiro Excel.

Mont Cont Safety Pips	ID	Designation	Date	Result	Next Verif
12336	27584	L-STLD-010 - Lugar 2 (Inactiva)	12/03/2019	Pass	16-09-21
11421	27477	VMS-008	12/03/2019	Pass	16-09-21
L-STLD-011 / Line 01					
12153	27602	L-STLD-011 - Lugar 4	12/03/2019	Pass	01-09-21
12072	27145	L-STLD-011 - Lugar 3	15/03/2019	Pass	13-01-20
11630	27607	L-STLD-011 - Lugar 1	12/03/2019	Pass	13-03-2020
17908	59439	VMS-011 - Visualização S1026	12/03/2019	Pass	16-03-2020
L-STLD-012 / Line 02					
12345	27168	L-STLD-012 - Lugar 1	12/03/2019	Pass	Reparado - Prox. Verif. 12-03-2020
12632	27291	L-STLD-012 - Lugar 2	28/10/2019	Pass	Prox. Verif. 28-10-2020
17367	59438	L-STLD-012 - Visualização	28/10/2019	Pass	Prox. Verif. 28-10-2020
11834	27511	(Lugar n.º 1)		Pass	
11843	27520	(Lugar n.º 2)		Pass	
L-STLD-013 / Line 03					
16329	73277	L-STLD-013 - Lugar 1	28/10/2019	Pass	Reparado - Prox. Verif. 28-10-2020
12273	27578	L-STLD-013 - Lugar 4	12/03/2019	Pass	Prox. Verif. 12-03-2020
17318	59448	L-STLD-013 - Visualização	12/03/2019	Pass	Prox. Verif. 12-03-2020
AOI					
17523	63165	AOI - 020 - Yeastech	18/03/2019	Pass	Prox. Verif. 12-03-2020
17519	63169	AOI - 021 - Yeastech	18/03/2019	Pass	Prox. Verif. 12-03-2020
18063	68546	AOI - 025 - Yeastech	15/04/2019	Pass	Prox. Verif. 15-04-2020
16316	73278	AOI - 018 - Wavetek	28/10/2019	Pass	Substituído em 28-01-2020
11823	27561			Pass	02-09-21
C-SUBA					
11832	27600	C-SUBA-009	12/03/2019	Pass	Prox. Verif. 12-03-2020
14055	27618	C-SUBA-007 - Retardo no sinal	15/04/2019	Pass	Prox. Verif. 15-04-2020
18445	72367	C-SUBA-011		Pass	NOVO - não está no sistema
18444	72355	C-SUBA-012		Pass	NOVO - não está no sistema
17630	63181	C-SUBA-014	25/03/2019	Pass	Prox. Verif. 25-03-2020

Figura 72 - Folha de verificação da monitorização contínua atual das pulseiras

5.3 Análise ao Estado Atual dos Processos ESD na APTIV

Segundo as normas e os requisitos necessários, para ser possível afirmar que a fábrica se encontra em conformidade, foi elaborado um conjunto de listas de verificação que nos permite realizar uma análise ao estado atual dos processos de ESD da APTIV de Braga e identificar quais é que são os pontos ou áreas da empresa que requerem uma maior atenção, assim como, identificar e eliminar antecipadamente potenciais não conformidades, identificar oportunidades de melhoria e preparar a empresa para processos de avaliação por parte de entidades externas.

O objetivo com elaboração e preenchimento deste documento é definir os requisitos de verificação do Controle ESD em áreas controladas pelo ESD e retirar conclusões, observar deficiências e recomendar ações corretivas para todas as não conformidades identificadas. Este procedimento permite que todos os sites da APTIV *Electronics & Safety* globalmente auditem e verifiquem as medidas apropriadas e consistentes de controle do ESD.

Esta auditoria permitiu avaliar o grau de cumprimento da APTIV perante o conjunto de exigências definidos através das normas e teve como *output* um relatório que para além de fornecer este grau de maturidade da implementação das medidas utilizadas, identifica um conjunto de medidas que devem ser consideradas pela empresa.

Estas listas de verificação foram elaboradas num documento Excel que se encontra dividido segundo os seguintes temas (Figura 73):

- Auditoria geral de controlo de ESD (Apêndice 3);
- Sensibilidade do dispositivo;
- Aterramento pessoal e vestuário;
- Estações de trabalho protegidas pelo ESD;
- Ionizadores - Ferramentas - Itens ESD;
- Instalações Gerais e Equipamentos;
- Armazenamento e transporte de ESD;
- Diversos;
- Dispositivos ESD extremamente sensíveis;
- Prevenção do EOS.

B3			Audit form - Template		
	A	B	C		
1	ESD/EOS control - Auditing Form and Line Side Review				
2	Index				
3		Audit form - Template			
4		Action Items			
5	1	Device Sensitivity Level of Area or Product Audited			
6	2	Personnel Grounding And Apparel			
7	3	ESD Protected Workstations			
8	4	ESD Control Ionizers / Tools / Items			
9	5	General Facility And Equipment			
10	6	Storage And Transportation Of ESD Sensitive Devices Or Assemblies			
11	7	Miscellaneous			
12	8	Extremely Sensitive ESD Devices (ESD^2)			
13	9	EOS Prevention			
14		EOS Flowchart			
15		Supplier ESD Control Audit			
16		General ESD Control Audit			
17					

Figura 73 - Índice do Formulário de Auditoria ESD

Por outras palavras, o objetivo deste documento é definir os requisitos de verificação do Controle ESD em numa EPA, observar deficiências e recomendar ações corretivas para todas as não conformidades identificadas. Este procedimento permite todos os representantes da APTIV E&S globalmente auditem e verifiquem as suas medidas de controlo ESD.

A verificação periódica dos procedimentos e equipamentos de Controlo ESD é parte essencial para um bom programa relacionado com esta área.

Em equipa definiu-se que os próximos passos a serem realizados teriam como prioridade os tópicos que ficaram pontuados com um valor menor que 95%.

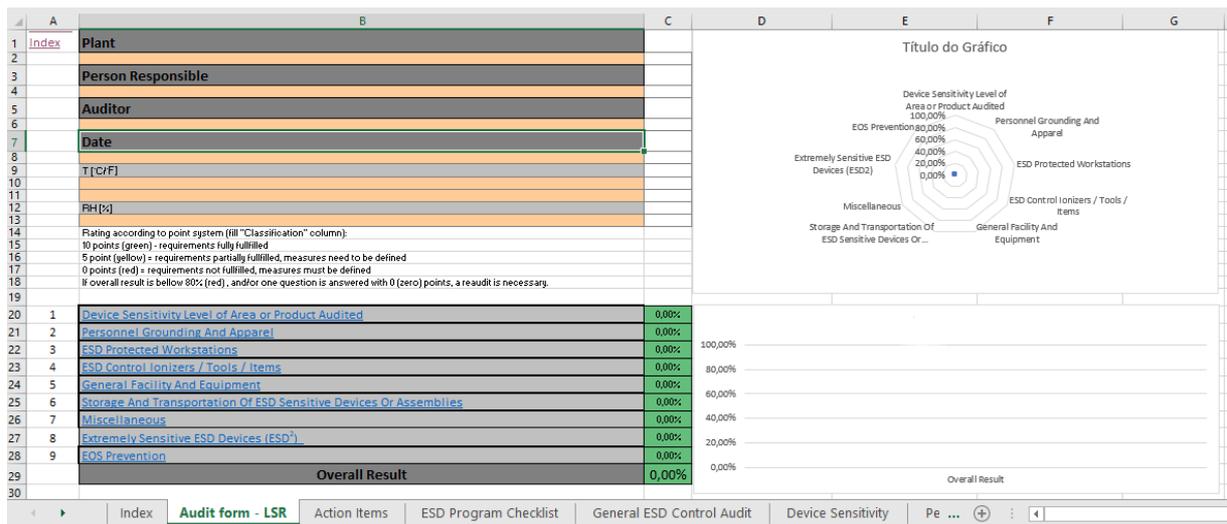


Figura 74 - Folha de resultados

Como se pode observar na Figura 74, depois de preenchidas todas as listas, o resultado de cada uma delas e o geral aparecerem nesta tabela, juntamente com os gráficos que permitem realizar uma análise rápida aos dados obtidos e comparar com outras auditorias que sejam feitas posteriormente.

De seguida, apresenta-se um exemplo do preenchimento das medidas gerais do controlo de ESD. Apesar de não estar aqui demonstrado, para além da casificação (de 0 a 10), a folha de Excel também dá para preencher observações, recomendações e deteção de possíveis causas raízes em cada um dos pontos. Todas as questões que apresentem uma pontuação inferior a 5 apontam para algo que se encontra muito fora da sua conformidade e do que a APTIV pretende e, por essa razão, tem de ser imediatamente analisado o assunto para perceber o motivo e quais as ações necessárias para o resolver ou, pelo menos, melhorar.

De acordo com o sistema de classificação, a pontuação dada é 10 (verde) quando os requisitos se encontram totalmente em concordância com as normas e as exigências da empresa, quando os requisitos estão parcialmente preenchidos e precisam de ser definidas medidas, a pontuação é 5 (amarelo) e, por fim, quando a pontuação é 0 (vermelho) remete para a imprescindibilidade de se definirem e executarem de imediato ações.

O preenchimento do *Gap Assessment* foi desenvolvido juntamente com o responsável de ESD da APTIV tal como as normas o indicam. Por motivos de confidencialidade não constam na presente dissertação todos pontos avaliados e a sua pontuação individual. No total foram respondidas 137 questões.

Para a correta análise do estado atual, inicialmente foram estudadas todas as normas e realizada a verificação dos planos e dos requisitos internos para a sua atualização. Posto isto, também foram efetuadas diversas visitas aos edifícios 1 e 2 e feitas medições em diversos equipamentos que se

encontravam dentro das áreas de produção (EPA) para melhor percepção e verificação do cumprimento das medidas implementadas.

Por conseguinte, este foi o resultado obtido à primeira auditoria efetuada (Figura 75).

<u>Device Sensitivity Level of Area or Product Audited</u>	80,00%
<u>Personnel Grounding And Apparel</u>	92,50%
<u>ESD Protected Workstations</u>	96,25%
<u>ESD Control Ionizers / Tools / Items</u>	62,50%
<u>General Facility And Equipment</u>	99,17%
<u>Storage And Transportation Of ESD Sensitive Devices Or Assemblies</u>	95,83%
<u>Miscellaneous</u>	80,83%
<u>Extremely Sensitive ESD Devices (ESD²)</u>	91,67%
<u>EOS Prevention</u>	98,82%
Overall Result	88,62%

Figura 75 - Resultado da primeira auditoria ESD

O resultado global obtido foi 88,62% o que indica que a empresa já tem muitas considerações ESD implementadas, comprovando que este é um tema de elevada relevância para a APTIV. Contudo, ainda não se encontra de acordo com todas as exigências e especificações necessárias.

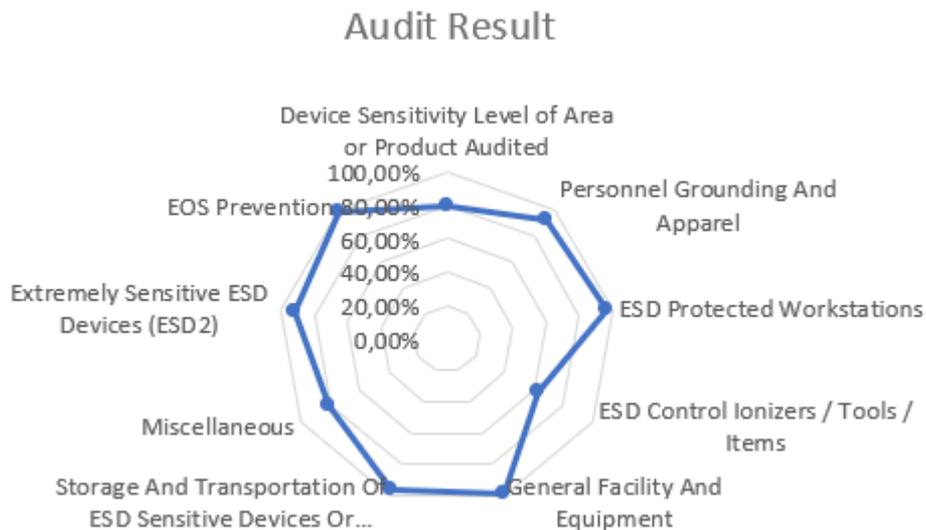


Figura 76 - Gráfico com o resultado da auditoria ESD

No final do preenchimento deste documento, elaborou-se uma lista de ação que contempla todas as intervenções necessárias para que a APTIV se encontre em conformidade com as normas e com os seus objetivos (todas as questões que apresentam uma cotação inferior a 10). Este conjunto de sugestões estão apresentadas no capítulo 5.5.

De acordo com o tempo que a empresa pretende fazer estas alterações e o que é fundamental de se colocar em prática, desenvolveu-se um *road map* pelo qual a APTIV se deve guiar para atingir todos os seus objetivos, começando por aqueles que representam uma maior urgência e relevância para a fábrica. Ao observar as questões e a lista de ações, foi notório que a maioria dos problemas atuais relacionados com os processos de ESD da APTIV se deviam aos processos de medições, à forma como era feito o planeamento para a realização e manutenção dessas medições e a o armazenamento de dados e a sua credibilidade. Uma vez que este era o principal objetivo mencionado pelos próprios trabalhadores da APTIV, este vai ser um dos principais focos e é tratado subcapítulo 5.4.

5.4 Potencialidade de Integrar os Diferentes Tipos de Medição no *software HolisTech*

5.4.1 Integração do *Software HolisTech* e as suas Vantagens para a APTIV

O *HolisTech* é um *software* de gestão que visa capacitar as empresas a investir em soluções de infraestrutura de tecnologia e websites de qualidade a longo prazo. Sobre o ponto de vista ESD da APTIV, permitiu a colocação de todos os equipamentos ESD, definir o plano de monitorização e a partir daí ficaram disponíveis todas as informações numa só plataforma que pode ser acedida por todos os operadores registados.



Figura 77 - Página Inicial do *HolisTech Web*

É de especial relevância realçar que este foi o *software* utilizado uma vez que era o existente na APTIV e já era usado por diversos departamentos da empresa. Desta forma, pretendeu-se que todos os trabalhadores operem com o mesmo sistema, facilitando a passagem de informação entre todos os importados destes equipamentos. Apesar de possuírem características ESD, são materiais manuseados com vários propósitos e, se por exemplo, precisar de ser feita uma manutenção nesse equipamento, o *HolisTech* armazena todos esses dados e cria um histórico completo do mesmo.

O *software* permite inserir um *asset* no seu sistema (Figura 78) e, automaticamente, é-lhe atribuído um auto ID único. Neste auto ID, é possível colocar toda a informação necessária, como por exemplo, uma

breve descrição, a que tipo de grupo pertence, qual a sua posição na empresa e as suas medidas ESD. Para além destes dados informativos, também contém a informação do conjunto de precedências que terá de passar no caso de conter algum erro nas suas medições e só depois de cumprir todas essas precedências e de as mesmas serem validadas é que pode voltar à sua posição inicial e cumprir a função para a qual foi concebido.

Figura 78 - Criar um *asset* no *software HolisTech*

Uma das desvantagens deste software é que cada *asset* teve de ser introduzido individualmente. Por esta razão, na fase inicial foram necessárias várias horas para introduzir todos os equipamentos de monitorização pertencentes a ESD. Foram inseridas cerca de 400 cadeiras e 400 equipamentos de transporte (para o edifício 1 e 2 da APTIV de Braga), todas as pulseiras anti estáticas, torniquetes de passagem, ionizadores, laboratórios e, por fim, todas as linhas de produção de cada uma das áreas da APTIV (SMT, CBA, FA). No total foram introduzidos mais de 1000 *assets*.

Auto ID	Asset ID	Asset Description	Sub Description	Serial Number
	ESD			
27450	ESD0001	Medidor de Estática, DCA-1200-1		10679
27451	ESD0002	Electrostatic Analyser		4066
27452	ESD0003	ESD Probe Set Vermason H8001		980642315606
27453	ESD0004	Testador de Calçado		49957
27454	ESD0005	Medidor de Estática EFM 110		12820294
27455	ESD0006	Medidor de Estática Charleswater 99091		0135002
27456	ESD0007	Testador de Calçado e Pulseiras		1680
27457	ESD0008	Testador de Calçado e Pulseiras		5825
27458	ESD0009	Testador de Calçado e Pulseiras		5842
27459	ESD0010	Testador de Calçado e Pulseiras		6737
27460	ESD0011	Testador de Calçado e Pulseiras		6741
27461	ESD0012	Teste Calçado		6742
27462	ESD0013	Testador de Calçado e Pulseiras		6744
27463	ESD0014	Equipamento de Monitorização Contínua		11392
27464	ESD0015	Monitorização Pulseira		11399
27465	ESD0016	Monitorização Pulseira		11406
27466	ESD0017	Equipamento de Monitorização Contínua		11407
27467	ESD0018	Monitorização Pulseira		11408
27468	ESD0019	Monitorização Pulseira		11409
27469	ESD0020	Equipamento de Monitorização Contínua		11410
27470	ESD0021	Monitorização Pulseira		11411
27471	ESD0022	Monitorização Pulseira		11412

Figura 79 - Exemplo da lista de *assets* no *software HolisTech*

Previamente à colocação dos *assets* no novo *software*, realizou-se um conjunto de decisões que permitissem uniformizar e organizar o nome de cada *asset*, a sua função e, finalmente, a sua localização. Em equipa, definiu-se que todos os equipamentos relacionados com ESD teriam esta sigla no seu começo, seguido da sua identificação e de um conjunto de números. Por exemplo, um procedimento de monitorização contínua ESD na linha de produção número 27 da *Final Assembly* é identificado como “ESD_L-FA–027”.

Depois da inserção destes componentes, consegue-se aceder a estes a partir de uma pesquisa básica no *HolisTech*, através do nome do *asset* ou do seu auto ID, ou então da sua posição, sistema ou grupo na fábrica, tal como podemos observar na Figura 80.

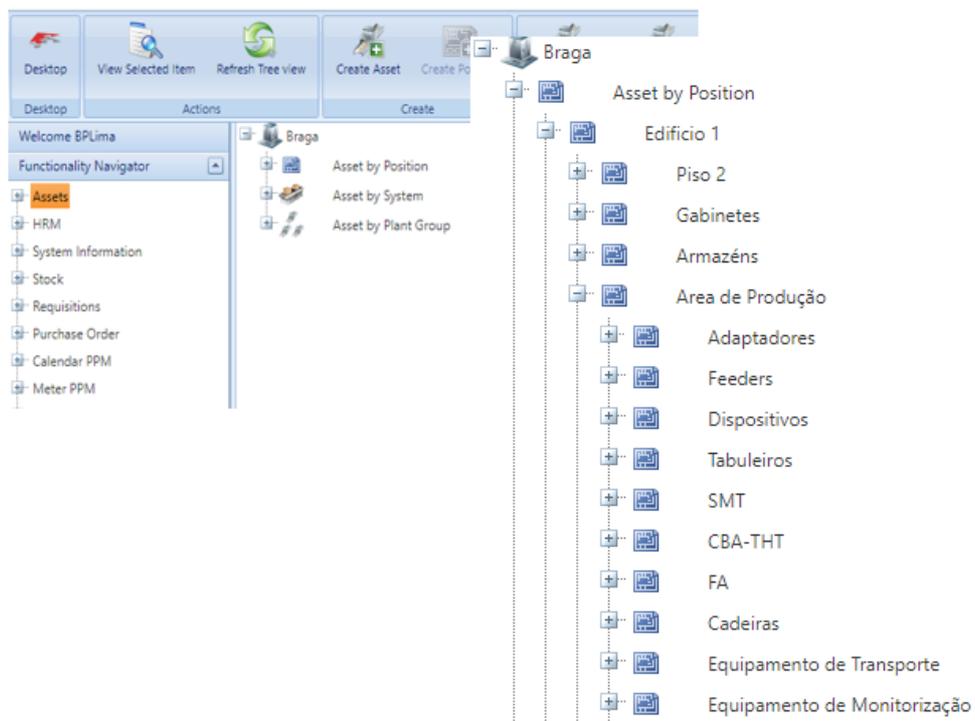


Figura 80 - Organização dos *assets* no *HolisTech*

Contrariamente ao que acontecia no controlo de medições ESD antecedente ao *HolisTech*, agora, sempre que há qualquer tipo de alteração de um equipamento, realocação ou até mesmo manutenção, basta entrar no *software* (através do computador ou de um *tablet*) colocar esta informação e, o próprio *HolisTech* trata virtualmente dessa realocação e preservação de todo o histórico.

Uma das carências nos processos ESD da APTIV era a falta de um elemento visual (para além do símbolo de identificação ESD) nos equipamentos ESD que permitisse facilmente obter a informação. O *Holistech* retificou esta desvantagem com a conceção de etiquetas que compreendem os dados essenciais para identificar o equipamento como, o nome (*asset* ID), o auto ID e uma breve descrição.



Figura 81 - Etiqueta ESD

Nesta fase foram criadas todas as etiquetas referentes a todos os *assets* introduzidos presentes na fábrica, impressas essas etiquetas e, de seguida, colocadas ao longo da APTIV. Há medida que as etiquetas iam sendo colocadas, efetuaram-se as novas verificações ESD e realizou-se o seu registo.

Como podemos visualizar na Figura 81, a etiqueta possui uma barra de dados e, é esta nova funcionalidade que detém inúmeras vantagens para a APTIV e para a gestão da verificação ESD. Neste momento é possível dirigir-se ao equipamento pretendido com um telemóvel ou um *tablet* e obter todas as informações do *asset* através de uma simples leitura deste código de barras com uma simples câmara fotográfica.

Esta nova função proporciona bastantes benefícios, tanto para os operadores interessados na empresa, como facilita bastante no caso de ocorrer uma auditoria. Até este momento, sempre que ocorriam auditorias de colaboradores externos à APTIV de Braga, não existia uma forma de comprovar que os equipamentos estavam a ser verificados e em conformidade com as exigências necessárias. O documento Excel utilizado podia ser alterado a qualquer altura e não tinham nenhuma forma de comprovar que os dados lá colocados seriam verdadeiros ou não.

Este *software* contém várias funcionalidades que permitem a elaboração de um plano de manutenção preventiva para a APTIV. Assim, o próximo passo implementado na empresa foi a elaboração do plano genérico de verificação ESD no *HolisTech*.

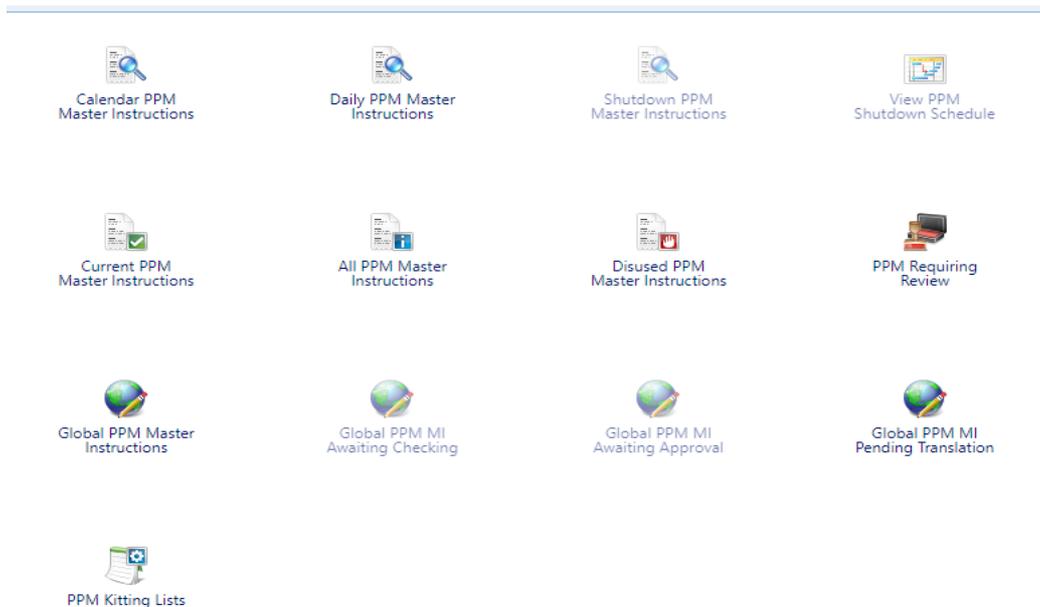


Figura 82 - Funcionalidades do *software HolisTech*

O primeiro passo consistiu em definir as semanas em que se pretende realizar as medições relativas a cada equipamento e a frequência com que estas têm de ocorrer (Figura 83). O próprio software gera um calendário que apresenta estes dados e, envia e-mails ao responsável ESD a avisar qual é o plano que tem para essa semana, se a data para a realização de uma manutenção ESD de um *asset* se está a aproximar ou, até mesmo, se a data marcada já passou e, por isso tem operações em atraso.

Brief Description	Trade	PPM ID	PPM Type	Frequenc	Risk ID	Current?	PPM version	First wee	Total Resource Time
	ESD								
ESD - PGT 120 - ESD Shoes test in turnstiles - ye	ESD - Management	11024	Calendar	52	0	<input type="checkbox"/>	1	201646	000 Days 00 Hrs 30 Mins
ESD - CHAIR - ESD Chairs - Yearly Verification	ESD - Management	11063	Calendar	52	0	<input type="checkbox"/>	4	201615	000 Days 00 Hrs 20 Mins
ESD - CART - ESD Carts - Yearly Verification	ESD - Management	11104	Calendar	52	0	<input type="checkbox"/>	6	201740	000 Days 00 Hrs 20 Mins
ESD - Final Assembly Lines Verification - 6-Mont	ESD - Management	13096	Calendar	26	0	<input checked="" type="checkbox"/>	3	202005	000 Days 01 Hrs 00 Mins
ESD - CBA Lines Verification - 6-Monthly (Calenc	ESD - Management	14353	Calendar	26	2795	<input checked="" type="checkbox"/>	2	202013	000 Days 02 Hrs 00 Mins
ESD - Monitoring Continuous Safety PIPS - Yearl	ESD - Management	14356	Calendar	52	0	<input checked="" type="checkbox"/>	2	202048	000 Days 00 Hrs 15 Mins

Figura 83 - Novo Plano de Verificação ESD

Para além disto, o *HolisTech* permite a colocação da média do tempo que se demora a realizar essas medições, quem é o operador responsável e, no fim, apresenta qual foi o tempo dispensado para a execução do plano e a sua representação monetária para a APTIV. Isto permite à própria empresa determinar quais são os recursos fundamentais para o cumprimento da manutenção ESD e tomar medidas necessárias.

Adicionalmente, no *HolisTech* foram colocadas listas de instruções de trabalho com todos os passos que têm de ser verificados e quais os aparelhos necessários para concluirmos que os equipamentos que estamos a monitorizar se encontram conformes os requisitos ESD ou não.

PPM Details		Calendar Levels	Resources	Assets	Positions	PPM Categorisation	PPM Shutdowns	Attachments	URL Attachments	
Item Number	Line Key	Check Box	PPM Line Detail							
	1	[1]	<input checked="" type="checkbox"/>	Verificar o valor da ligação à terra da estrutura da linha (< 5 Ohm)						
	2	[2]	<input checked="" type="checkbox"/>	Verificar a resistividade da superfície de trabalho em relação à terra em dois pontos (< 1GOhm)						
	3	[3]	<input checked="" type="checkbox"/>	Verificar a resistividade do piso dissipativo em relação à terra em três pontos (< 1 GOhm)						
	4	[4]	<input checked="" type="checkbox"/>	Verificar ligações à terra dos dispositivos (<1GOhm)						
	5		<input type="checkbox"/>	Os resultados das verificações podem ser consultados na pasta de rede \\PTBRA-FP02\GroupE01\$\VMFGE-IE\João Araújo\ESD						

Figura 84 - Passos a realizar para as medições ESD numa bancada de trabalho

Desta forma, basta o operador levar consigo o computador, tablet ou telemóvel e seguir todos os passos referenciados no *HolisTech*. Caso seja encontrada alguma anomalia, basta indicar no *software* o erro encontrado e, é enviado um e-mail à equipa de manutenção da APTIV de Braga para verificar este erro e investigar a causa raiz do problema apresentado. Este *asset* permanece com a cor vermelha no sistema até que o assunto esteja resolvido e se volte a realizar novas medições ESD e estas apresentem valores dentro dos limites aceitáveis que se encontram definidos no Plano de Controlo.

Como referido anteriormente, a APTIV contém todos os aparelhos necessários para realizar estas medições. O principal é o Metrismo 3000 que após a realização das medições fornece um relatório com todos os dados que foram medidos. Este mesmo relatório é introduzido no *HolisTech*, contendo assim toda a informação relacionada com o equipamento num só sistema de partilha esta informação para todos os interessados, criando uma ligação entre os diferentes departamentos da APTIV.

Apesar do *software HolisTech* apresentar diversas melhorias para a gestão de processos ESD na APTIV previamente referidos, também abarca algumas desvantagens. Contudo, já é o sistema utilizado globalmente pela APTIV.

Todos estes dados para além de se encontrarem presentes no *HolisTech*, também se encontram na plataforma *Manufacturing Technology Teams* (MMT) da APTIV o que permite perceber o que é feito em cada uma das unidades produtivas da APTIV e os resultados que estão a ser obtidos. Desta forma, possibilita um crescimento contínuo das medidas ESD que são impressionantes para a APTIV alcançar os seus objetivos.

Por fim, podemos concluir que a inserção do *HolisTech* para a monitorização ESD foi uma mais-valia para a APTIV de Braga. O plano de verificações já se encontra bem definido e com um nível de detalhe bastante superior ao anterior, o que permite englobar diferentes departamentos da empresa que são

fundamentais para o cumprimento do plano e para que este seja executado da melhor forma possível para os operadores e para os interesses da APTIV.

5.5 Erros Identificados na APTIV e Propostas de Melhoria

Por toda a extensão do presente capítulo foram mencionados erros e desvantagens dos processos ESD na APTIV de Braga, tanto no plano de controlo atual, como na execução das verificações ESD. O *Gap Assessment* foi uma ótima maneira de delinear os requisitos que se pretendem atingir, executar a análise ao estado atual da empresa e estabelecer os próximos passos tendo em consideração diretrizes ESD.

Mas será que os requisitos da APTIV estavam a ser cumpridos? No decorrer do estágio foram realizadas observações, dentro e fora das EPA, para perceber melhor o comportamento dos operadores em relação aos requisitos ESD, se as regras estavam a ser cumpridas, se havia a presença de materiais inadequados no interior destas áreas e identificar possíveis erros que estão a acontecer atualmente e que não estão a ser tidos em conta.

Para começar, todas as entradas e saídas para as EPA deviam apresentar a correta sinalização ESD e o vestuário essencial para a deslocação correta dentro destas zonas. Já existia uma grande preocupação dentro da APTIV relacionada com este tema, mas todas as zonas de passagem, sem exceção, deveriam conter identificação (Figura 85).



Figura 85 - Entrada para uma EPA sem identificação

Assim como, zonas e materiais que não são ESD dentro de uma EPA. É fundamental que estas se encontrem devidamente identificadas para que os operadores possam ter um cuidado extra.



Figura 86 - Sinalização "Sem Proteção ESD"

É fundamental o fácil acesso ao Plano de Controle ESD por todos os colaboradores e, até mesmo, dos requisitos práticos da APTIV. Informações importantes como o manuseamento de dispositivos extremamente sensíveis, materiais isoladores dentro de uma EPA, o plano de embalagem ESD e requisitos de vestuário padrão encontram-se aqui descritos.

Em conversa com os operadores deu para perceber que todos têm noção básica do que é ESD e da importância que tem para a APTIV. Contudo, notou-se que não têm noção de que tipo de comportamentos é podem influenciar os dispositivos que estão a manusear. Desta forma, é de extrema importância para a APTIV ir reforçando a formação ESD em vez desta ser apenas dada a novos colaboradores aquando da sua entrada para a empresa.

Um dos maus comportamentos identificados foi, por exemplo, a falta da utilização da pulseira de aterramento por parte dos funcionários que trabalham sentados e que manuseiam os dispositivos sensíveis. Quando esta pulseira ESD (Figura 87) não é utilizada, ou quando não está a ser usada corretamente, a luz de presença no posto de trabalho permanece inativa. Assim, é necessário informar e explicar a importância da correta utilização desta pulseira aos operadores e, reforçar aos chefes de linha a necessidade do correto cumprimento destas regras e, para estarem mais atentos a este problema que pode provocar falhas nos ESDS.



Figura 87 - Pulseira de Aterramento

Em cima já foi referido que a APTIV continha diversos requisitos para estas áreas, como é o caso da utilização de materiais próprios com características ESD, projetados para eliminar a geração de carga estática e o campo estático associado. Porém, foram encontrados objetos dentro das EPA que quando sujeitos a análise, se verificou a sua não conformidade com os requisitos ESD.

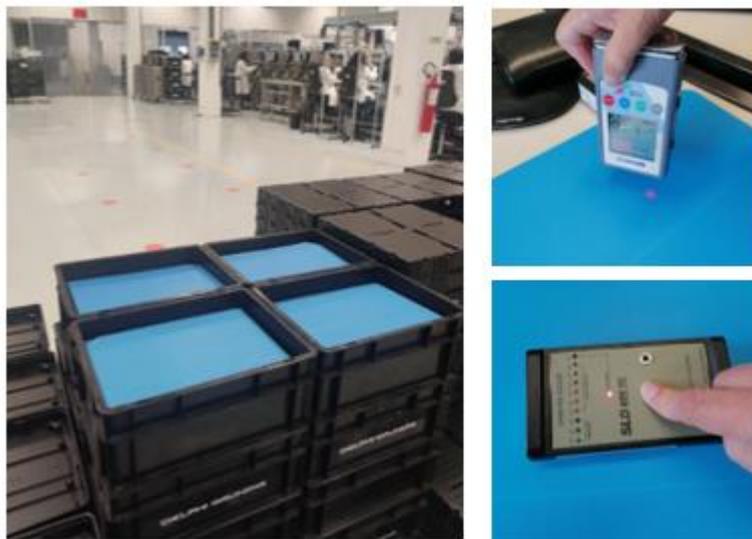


Figura 88 - Equipamento não dissipativo na EPA

Na Figura 88 pode-se observar que não há a presença de qualquer identificação que indique de que se trata se um material sem proteção ESD. Alguns materiais identificados foram estas proteções que se encontram em contacto direto com os dispositivos, a presença de sacos de lixo não ESD, as caixas de *repacking* onde se encontram componente que vão ser colocados nos PCB, entre outros.

Todas as fontes de eletricidade estática têm de ser eliminadas. Por isso é fundamental não utilizar objetos que criem estática, como é o caso da utilização de componentes com ar comprimido, e substituir os

materiais não ESD que se encontrem na EPA. Na Figura 89 é demonstrado mais um exemplo na fábrica de dois papéis com informação útil, um protegido com uma mica ESD (amarelo) e outra não.

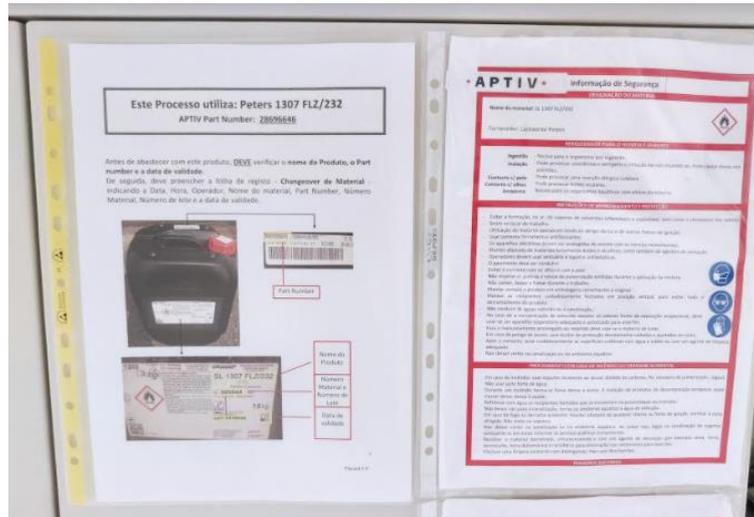


Figura 89 - Utilização de equipamentos não ESD numa EPA

Isto realça a necessidade de avisar o responsável por ESD da APTIV de todos os materiais que entram na fábrica para que se proceda à verificação dos mesmos e da utilidade da identificação visual ESD de todos os componentes. Por esta razão deve-se garantir que a localização da etiqueta que identifica o equipamento, está num local seguro para que não aconteça o que é apresentado na ilustração seguinte, ou, então a colocação de um plástico protetor transparente ESD.



Figura 90 - Desgaste/ danificação das etiquetas ESD

Relativamente ao processo de verificação ESD, ou seja, como era feita a medição ESD nos componentes e como é que esses dados eram armazenados, já se encontra detalhado no capítulo anterior, juntamente com as vantagens que a integração do *software HolisTech* possibilitou e a implementação de etiquetas nos componentes ESD.

Ao longo do presente capítulo é evidente o conjunto de desvantagens do plano de medições anterior à utilização do *HolisTech*. Para começar, qualquer pessoa da equipa de ESD, tanto da APTIV de Braga como de todas as outras, deveriam conseguir ter facilmente acesso a esta informação. Nos dias que correm e numa empresa como a APTIV não há necessidade para que o registo dos dados das medições ainda ocorrer de forma tão antiquada.

Claro que quando nos referimos a um plano genérico de verificação (Figura 68) este deve ser conciso, contudo o plano não denotava os elementos pertinentes e necessários de ter em consideração para a concessão de um mapa de frequência de verificações ESD.

Desta forma, um dos erros com o anterior plano de verificações genérica era não ter perceção de todo o trabalho que é preciso ser produzido, quando é que este pode ou deve ser desempenhado e o número de recursos necessários para tal. Neste momento é notório que não é possível cumprir todo o trabalho que é fundamental para a monitorização de todos os equipamentos nas áreas com características especiais na fábrica de Braga, com apenas uma pessoa.

É de extrema importância definir bem todos os elementos e equipamentos novos que vão sofrer estas medições e não identificar apenas a sua zona dentro da empresa. Também seria interessante conter a separação entre o edifício 1 e 2 para facilitar o acesso à informação e esta se tornar mais intuitiva.

Nem todos os elementos eram perceptíveis com o anterior plano genérico. Para uma linha de produção passar no teste há um conjunto grande de medições que têm de ser efetuadas, como é o caso das verificações do piso, das bancadas de trabalho, das correias de distribuição, entre outras.

Assim sendo, não devia estar dividido pelas zonas da empresa (linhas de montagem final, linhas CBA e linhas SMT), mas sim pelos equipamentos que se encontram em cada uma delas. Desta forma é mais perceptível qual é o trabalho que realmente é necessário ser feito e distribuir o mesmo ao longo dos dias úteis construindo um mapa completo e realista.

Estas desvantagens/erros encontram-se mais relacionadas com o planeamento. Mas também ocorriam erros em relação à execução das medições e ao modo como os dados eram transcritos e armazenados. Relativamente à execução, o operador tinha previamente de verificar, no seu local de trabalho, quais os equipamentos que pretendia analisar e qual era a sua localização na fábrica. Cada equipamento é único

e contém um número de série que o distingue de todos os outros. Acontece que, numa fábrica em busca de constante melhoria, estão sempre a ocorrer alterações que fazem com que estes equipamentos nem sempre se encontrem no mesmo local. Ou seja, este método não era o mais eficaz tanto pela sua parte logística como para a identificação do que se ia medir.

Ao longo do tempo, os equipamentos também vão sendo trocados, por avarias ou substituições, e é imprescindível avisar o responsável ESD da APTIV de Braga, não só porque se tinha de realizar a verificação ESD a todos os novos elementos adicionados, como também porque depois deixava de existir o acompanhamento dos equipamentos, uma vez que estes se encontravam num documento Excel, perdendo-se assim o histórico.

Depois de realizadas as medições ESD era preciso passar os dados recolhidos para o formato digital. Se fosse utilizado o aparelho de medição “Metriso 3000”, os dados eram passados por cabo USB para o computador e, de seguida copiados para o ficheiro Excel correspondente. Se forem medições relativas à monitorização das pulseiras, os dados eram passados manualmente para o documento.

Nesta fase de passagem de dados era quando se colocava o dia em que se cumpriu a monitorização dos equipamentos ESD e qual seria a sua próxima data. Uma grande desvantagem que aqui ocorria era o operador responsável não receber qualquer tipo de aviso de que se está a aproximar o dia em que tem de realizar novamente as verificações. Para que isto acontecesse, o trabalhador encarregado por esta tarefa tinha de estar em constante verificação do Excel, o que não era fácil tendo em conta as suas dimensões. Por este motivo havia muitas verificações que acabavam por passar da sua data.

Outro inconveniente que se podia levantar era o facto de o documento ser preenchido manualmente o que não fornece fiabilidade à empresa perante uma auditoria ou verificação do processo. Não havia forma de garantir que os dados que estavam a ser colocados eram verdadeiros ou que não foram alterados posteriormente.

Algo que era vantajoso para a APTIV era arranjar um meio mais fácil de se poder verificar se um equipamento está conforme ou não no seu próprio local. Ou seja, obter uma forma simples de se conseguir ver no local se o equipamento foi verificado, quando é que ocorreu essa verificação e quais foram os resultados obtidos. Tudo isto foi colmatado com a colocação das etiquetas com o código de barras.



Figura 91 - Cadeira ESD devidamente identificada

É crucial terminar o sistema de colocação de etiquetas ESD em todos os equipamentos e a realização de todas as medições ESD. Existem equipamentos, em contacto com os ESDS, que podem estar a carregar os dispositivos em vez de ocorrer a sua descarga. É fundamental analisar o estado em que se encontram e proceder à substituição dos materiais que se encontram fora das especificações.

Existiam equipamentos, como é o caso dos ionizadores e das batas, que se encontravam dentro do plano, mas que a sua verificação não estava a ser feita a não ser que se suspeite de algum erro.

Assim que estes dados estiverem todos colocados no *software* e se começar a utilizar o *HolisTech*, é essencial realizar uma análise para verificar qual é a representação de recursos que os processos de ESD apresentam e analisar a necessidade de integrar mais pessoas à equipa ou, por exemplo, passar a responsabilidade da execução das medições dos equipamentos aos chefes de linha, de forma que todas as medições ESD sejam cumpridas no seu tempo correto.

O conjunto de todos os elementos mencionados contribuíam para a falta de veracidade dos dados e perante uma auditoria este seria um dos pontos negativos. No anterior processo de medições era extremamente difícil demonstrar que todos os processos estão a ser cumpridos corretamente. Para a própria APTIV era imprescindível que este plano de medições ESD fosse melhorado para que no futuro ter uma garantia adicional para os seus Clientes.

Posto isto, também seria possível prever tendências como, por exemplo, com que frequência é que alguns dos materiais costumam ser trocados quando já perderam as suas propriedades ESD.

A ilação retirada foi da necessidade da utilização do *software* de gestão que ajude na monitorização contínua de todos os equipamentos ESD em simultâneo com a implementação de ações visuais que permitam, a todos os colaboradores interessados, pesquisar e averiguar o estado em que se encontram os materiais.

Para além disto, estes dados podem ficar também disponíveis na base de dados que são partilhados globalmente pela APTIV e, assim, permitir a discussão dos mesmos nas reuniões internas semanais, como nas reuniões externas, com colaboradores de outras fábricas da APTIV.

Finalmente, podemos concluir que com a implementação dos fatores aqui mencionados e com a divulgação de boas regras e práticas no local de trabalho, os resultados obtidos através da análise ao estado atual dos processos ESD da APTIV de Braga teriam certamente um resultado superior ao atual.

6. CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentam-se considerações finais e algumas limitações sentidas em relação a todo o trabalho desenvolvido ao longo do estágio na empresa APTIV.

Para além disso, no presente capítulo apresentam-se sugestões para os próximos passos na melhoria contínua dos processos de ESD e *Technical Cleanliness* na APTIV de Braga.

6.1 Considerações Finais

Contrariamente ao que aparentava quando se fez o diagnóstico dos procedimentos de ESD e *Technical Cleanliness*, a equipa MTT já continha todos os procedimentos, requisitos e modos de operação totalmente descritos de acordo com as normas e as diretrizes existentes. A principal falha era no treinamento e formação dos operadores e na adaptação dos requisitos ao layout da APTIV de Braga.

Desta forma, depois da análise e verificação do estado atual, foram revistas as áreas com características especiais da APTIV. Assim, fez-se uma reconfiguração das áreas CG e EPA, tanto no edifício 1, como no edifício 2. Estas áreas são definidas de acordo com os requisitos dos dispositivos a serem montados e manuseados.

De seguida, foi necessário verificar o estado da entrada/saída destes ambientes controlados e os materiais utilizados, tendo em conta o seu grau e as medidas que têm de ser respeitadas. Assim, foram dadas sugestões de melhoria principalmente entre as passagens de CG1 para CG2, incluída a sala limpa CG3 no plano e feita a análise de todos os materiais utilizados, averiguando a sua compatibilidade com os processos ESD.

Foi feito um registo de todos os equipamentos utilizados não conformes e procedeu-se à sua substituição. Também foi definido que, sempre que ocorre a entrada de novos materiais nestas zonas, os mesmos têm de incluir um comprovativo do fornecedor, e, que tem de se realizar a mediação ESD para verificar, incluir o equipamento no *software* e colocar a etiqueta de identificação.

Com o propósito de conseguir a melhoria destes processos na fábrica, e para que estes sejam implementados de forma correta, é imprescindível o treinamento e formação de todos os colaboradores, de forma a garantir que estes se encontram sensibilizados com estas temáticas no seu local de trabalho. Também é fundamental a realização de auditorias periódicas, com o intuito de analisar se as medidas estão a ser seguidas e como é que estas se pode aperfeiçoar de formar a garantir a melhoria contínua. Apesar do *software HolisTech* não ser apropriado para a gestão e controlo das medições das partículas das áreas num ambiente controlado na APTIV, esse fator é colmatado com a plataforma MTT online da

APTIV, onde ocorre a colocação dos dados obtidos, a partilha de informação e discussão de resultados. Assim, é possível a APTIV de Braga comparar os resultados obtidos com outras unidades produtivas que produzem o mesmo tipo de produtos e definir requisitos e objetivos a alcançar.

Relativamente aos processos de ESD, foi essencial a integração deste sistema, que permite a gestão e a manutenção de todos os equipamentos, funcionando como uma ponte de comunicação entre diferentes departamentos dentro da empresa. Através do *HolisTech*, é agora possível o controlo e gestão do trabalho, a identificação dos equipamentos com falhas, a realização de ordens de trabalho, a solicitação de ajuda que envolva outros departamentos na ocorrência de uma anomalia, a manutenção planeada baseada num calendário e a gestão de recursos e inventários.

Este sistema também permitiu o fácil acesso à informação através do computador, ou até mesmo com um telemóvel ou *tablet*. As etiquetas utilizadas são uma boa ferramenta de gestão visual juntamente com a correta sinalização ESD. Em relação às medições das partículas nos processos de *Technical Cleanliness* também foram colocadas etiquetas com a indicação do local da *particle trap* e a anotação “Não mexer”.

Contudo, torna-se necessário incluir todas estas ações no próximo pedido de orçamento para a equipa de ESD e *Technical Cleanliness*. O sistema irá continuar sem ter as condições para a sua correta execução do planeamento e controlo dos processos.

Outro problema decorria do facto de os processos de ESD estarem atribuídos a um colaborador com diversas outras funções e o mesmo com os processos de *Technical Cleanliness*. Neste momento, os dois processos já são responsabilidade de apenas um colaborador, completamente focado nestas duas áreas para, futuramente, reunir uma equipa.

Concluindo, a APTIV de Braga encontra-se num bom caminho para a melhoria contínua dos seus processos de ESD e de *Technical Cleanliness* de forma a garantir a qualidade e a segurança dos seus colaboradores e dos seus clientes.

6.2 Limitações

A situação pandémica vivida ainda nos dias de hoje, acabou por limitar a realização da presente dissertação e o estágio executado para a elaboração da mesma.

No mês de março do ano de 2020, a APTIV viu-se obrigada a fechar as suas portas a todos os colaboradores que se encontravam a realizar um projeto de estágio nas suas instalações. Por motivos de saúde e segurança, apenas reabriu em julho de 2020, mas com um conjunto significativo de

restrições. De forma a evitar ao máximo o ajuntamento de colaboradores, de julho a outubro de 2020, apenas era possível frequentar a empresa três dias por semana.

Para além disto, todo o tipo de compras e novas implementações a serem realizadas na APTIV foram adiadas para o ano seguinte, o que originou o cancelamento de orçamentos, a falta de materiais para a realização das medições das *particle traps* e o adiamento da implementação de propostas de melhoria e de novos projetos que iriam ser realizados na empresa.

6.3 Trabalho Futuro

No que diz respeito às áreas que contêm um ambiente controlado, é necessário que as mesmas vão sendo atualizadas sempre que ocorre uma alteração no *layout*. No plano de controlo e processo de mediação, tanto de ESD, como de *Technical Cleanliness*, é fundamental que estas comecem a ser efetuadas de acordo com as normas e que os dados obtidos sejam devidamente analisados para que se possam obter conclusões corretas e verdadeiras.

O objetivo é implementar as melhorias sugeridas nos capítulos anteriores, de forma a planear o futuro para atingirem as suas metas relacionadas com os processos. Em equipa, a APTIV tem elaborados dois *roadmaps* generalizados (anexo 2 e anexo 3) com os próximos passos e datas com que se pretende que sejam executados.

É essencial que seja realizada uma análise aos requisitos dos clientes e ao seu impacto nos requisitos e recursos de limpeza técnica, juntamente com a padronização dos níveis de limpeza de acordo com os processos de fabricação e requisitos do produto. É fundamental o cumprimento dos procedimentos de auditorias criados, a educação e o treinamento dos colaboradores. E assim, possibilitar a utilização correta de todos os recursos que a empresa já dispõe.

As tendências de sensibilidade do dispositivo ESD continuarão a ter um grande impacto nos rendimentos do processo de fabricação nos próximos anos. A empresa precisa de aumentar os seus esforços para verificar se os processos ESD instalados são capazes de lidar com os dispositivos sensíveis. Existem mudanças necessárias na frequência de verificação de conformidade e outras formas de monitoramento de ESD, incluindo deteção de evento de ESD, para posteriormente ser possível obter a certificação de verificação de controlo ESD.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, S., Alvarez, R., & Domingo, R. (2013). Model of efficient and sustainable improvements in a lean production system through processes of environmental innovation. *Journal of Cleaner Production*, 47, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.048>
- American, A., & Standard, N. (2011). *Symbols – ESD Awareness*.
- American National Standards Institute. (2014). *ANSI/ESD S20.20:2014: For the Development of an Electrostatic Discharge Control Program for – Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)*.
- Consultants, I. T. S., Espino, J. C., & Store, A. (2005). *Technical Specification Iso / Ts. 2005*.
- Creswell, J. W. (2010). Creswell, J.W. projeto de pesquisa- método qualitativo, quantitativo e misto. Tradução de Luciana de oliveira da rocha. 2 Ed. Porto Alegre-artmed, 2007. In *Artmed*. <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>
- Dombrowski, U., Krenkel, P., & Ebentreich, D. (2016). Link Mechanisms within the Lean Enterprise. *Procedia CIRP*, 57, 601–606. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.104>
- Gonçalves Filho, E. V., & Marçola, J. A. (1996). Uma proposta de modelagem da lista de materiais. *Gestão & Produção*, 3(2), 156–172. <https://doi.org/10.1590/s0104-530x1996000200003>
- International, C., & Commission, E. (1999). *Rapport Technique Technical Report Iec*.
- ISO 14644-1: 2015. Cleanrooms and Associated Controlled Environments: Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration
- ISO 14644-2: 2015. Cleanrooms and Associated Controlled Environments: Part 2: Monitoring to Provide Evidence of Cleanroom Performance Related to Air Cleanliness by Particle Concentration
- ISO 16232-1: 2007. Road vehicles – Cleanliness of components of fluid circuits: Part 2: Vocabulary
- Lloréns, F. J., Molina, L. M., & Verdú, A. J. (2005). Flexibility of manufacturing systems, strategic change and performance. *International Journal of Production Economics*, 98(3), 273–289. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.05.011>
- Nonwovens Report International. (1996). Equipment and materials. *Nonwovens Report International*, 305, 51–63. <https://doi.org/10.4324/9780203168448-16>
- O'Brien, R. (1998). An overview of the methodological approach of action Research. *University of Toronto*, 1–15. <http://www.web.ca/~robrien/papers/arfinal.html>
- Ohno, Taiichi (1988). O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997 (edição norte-americana de 1988 e primeira edição japonesa de 1978).

- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). Chapter 4: Understanding research philosophy and approaches to theory development. In *Research Methods for Business Students* (Issue January).
- Schumacher, S., Pokorni, B., Himmelstoß, H., & Bauernhansl, T. (2020). Conceptualization of a Framework for the Design of Production Systems and Industrial Workplaces. *Procedia CIRP*, *91*(May), 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.165>
- VDA 19.1. (2015). *Quality Management In the Automotive Industry, Inspection of Technical Cleanliness*,. 19.
- VDA 19.2. (2010). *Quality Management In the Automotive Industry, Technical Cleanliness in Assembly*,. 19.
- ZVEI. (2014). *Technical Cleanliness in Electrical Engineering*. 1–52.

APÊNDICE 1 – *GENERAL REQUIREMENTS TECHNICAL CLEANLINESS*

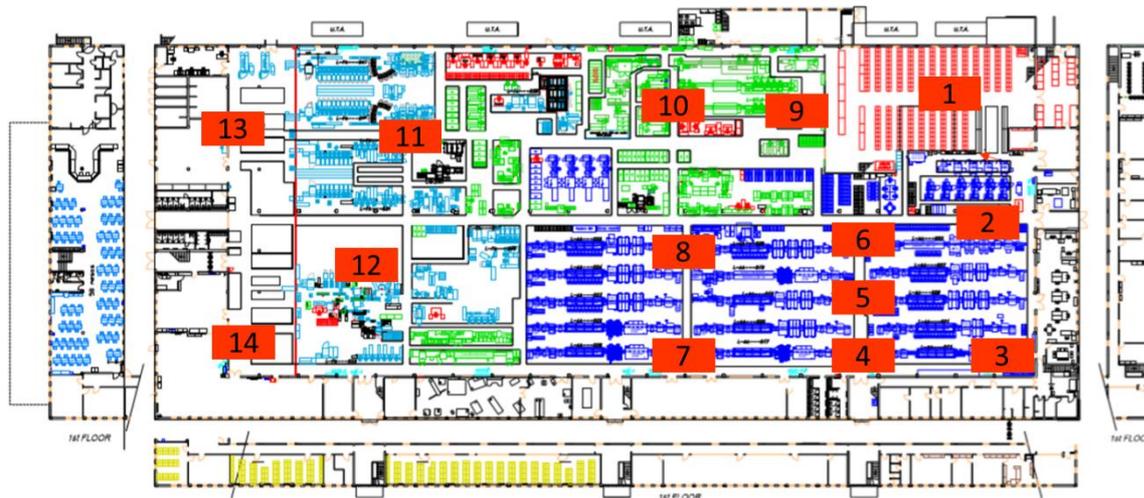
General Requirements	
1	Does the site have a Technical Cleanliness responsible person identified?
2	Is there a Technical Cleanliness training class given to Operations? Are training records kept?
3	Are cleanliness sensitive parts identified and listed in the product's Quality Plan?
4	Does the electronic manufacturing area meet the requirements of VDA 19.2 Cleanliness Grade 2 as described in RP 18.1?
5	Is the electronic manufacturing area isolated from non-clean controlled areas by walls, ceilings and doors?
6	Are electronic manufacturing areas controlled and monitored at the the temperature, humidity and air pressure requirements outlined in RP 18.1?
7	Are personnel and material entry points to the manufacturing area designed with double door airlocks?
8	Equipment that generates particles are located outside of the clean controlled area or have particle collection systems that remove and store particles?
9	Is equipment designed to prevent the creation of particles that fall on products?
10	At workstations, are product fixtures that support the product with minimal contact used instead of the table work surfaces?
11	Is there a procedure to do general facility cleaning (walls, floor, assembly equipment surfaces, cabinets, etc...) per RP 18.1?
12	Is there a documented cleaning procedure (5S) that describes cleaning requirements to the operator?
13	Are materials like unfinished wood and cardboard and tissue paper and sand paper kept out of the clean manufacturing area?
14	Operators are trained to wear smocks correctly? Smocks are at least hip length and completely cover the persons upper clothing including sleeves?
15	A garmenting procedure includes rules on where protective garments can be worn and where they cannot be worn?
16	Gloves that are used should be lint limiting and changed out as required to minimize the transfer of contaminating particles?
17	Rework is carried out at a rework station and particles generated are cleaned with an ESD safe vacuum as the particles are generated?
18	Is finished completed product protected during interplant movement or storage?

APÊNDICE 2 – FICHA DE MEDIÇÕES DE PARTÍCULAS AÉREAS

Ficha de Medição de Partículas

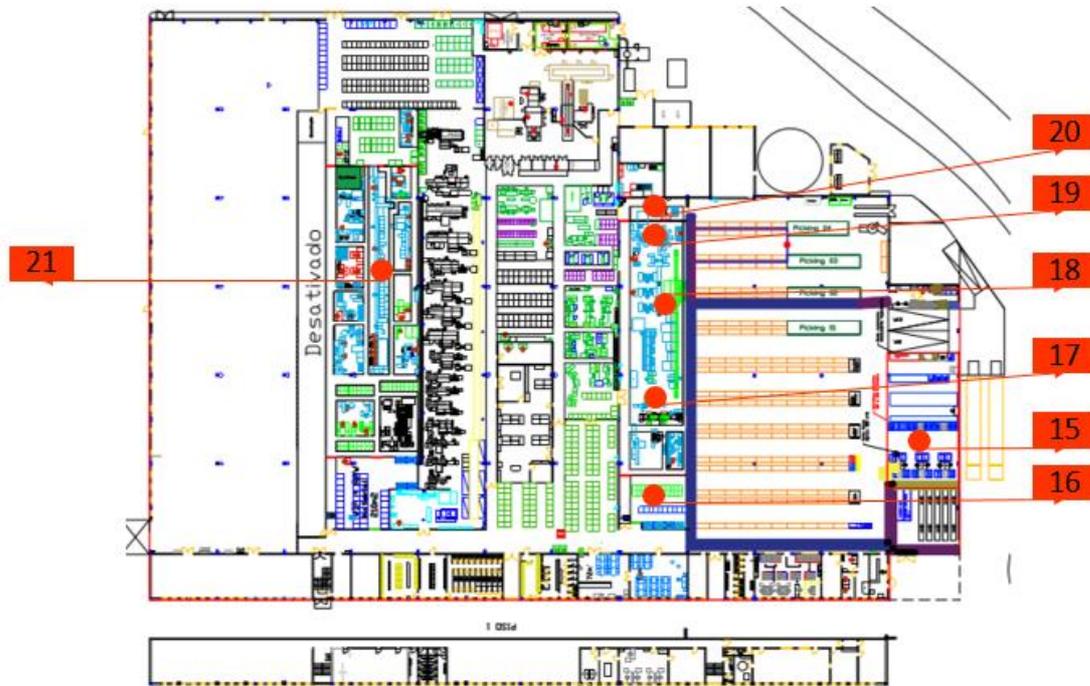
Data: / /

ED1:



Ponto 1 - WH - Corredor 127		Ponto 2 - SMT2 - Portão Sul	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	5,0 µm
Ponto 3 - SMT3 - Linha 15		Ponto 4 - SMT4 - Linha 17	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	5,0 µm
Ponto 5 - SMT5 - Linha 18		Ponto 6 - SMT6 - Linha 5 (fim)	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	5,0 µm
Ponto 7 - SMT7 - Linha 28		Ponto 8 - SMT8 - Linha 25	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	0,5 µm
Ponto 9 - CBA9 - Linha 03 (início)		Ponto 10 - CBA10 - Linha 03 (fim)	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	0,5 µm
Ponto 11 - FA11 - MIB Linha 1		Ponto 12 - Fa12 - MIB3	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	0,5 µm
Ponto 13 - Wall13		Ponto 14 - Wall14	
0,5 µm	5,0 µm	0,5 µm	0,5 µm

ED2:



Ponto 1 - Repack 15		Ponto 16 - BSI 1	
0,5 μm	5,0 μm	0,5 μm	5,0 μm
Ponto 17 - Coating		Ponto 18 - BSI Wave	
0,5 μm	5,0 μm	0,5 μm	5,0 μm
Ponto 19 - BSI Test		Ponto 20 - BSI Pack	
0,5 μm	5,0 μm	0,5 μm	5,0 μm
Ponto 21 - INF 2			
0,5 μm	5,0 μm		

APÊNDICE 3 – GENERAL REQUIREMENTS ESD

General ESD Control Audit	
ESD Control Program	
1	Is there a person (ESD Coordinator) who has responsibility and ownership of the ESD control program at the plant?
2	Is there a documented "ESD Control Plan" or procedure?
3	Is the ESD control plan or procedure based on compliance to ANSI/ESD S20.20 or IEC 613040-5-1?
4	Is there a documented list of ESD part sensitivity levels for parts used at the location?
ESD Audits/Verification	
5	Is there a system for conducting regularly scheduled ESD Control audits in the plant?
6	Is there a system in place for monitoring and correcting violations of ESD controls?
7	Are all ESD control tools or materials (wrist straps, gloves, etc...) used at the site tested and approved? Is an approved ESD Control tools and materials list maintained?
8	Are personnel grounding devices being worn and are they verified to a documented process at regular intervals?
ESD Control Training	
9	Is there a standard ESD awareness module used for training new employees?
10	Are all personnel in the plant trained for ESD awareness and are records kept?
11	Are the ESD Control trainers trained?
Parts Receiving	
12	Are ESD sensitive parts identified by ESD warning symbols on ESD safe packaging or containers?
13	Are all ESD sensitive parts unpacked and handled only at an ESD protected workstation by a grounded operator?
14	Are ESD sensitive parts transported from a Receiving area ESD protected area (EPA) to the production area EPA in ESD protective containers and carts?
Facility	
15	Are EPA identified with ESD boundary and caution signs?
16	Are the EPAs temperature and humidity controlled?
17	Has an ESD common ground been defined for the EPAs? Is the electrical ground the ESD common ground point to ground ESD control items?
18	Are all workstations and ESD equipment grounded to the common point ground?
19	Is ESD flooring used in EPAs where personnel are mobile and handling ESD sensitive parts?
20	Where ESD flooring is used, is the flooring grounded to the plant's common point ESD ground and is the floor resistance to ground verified periodically?
Operations	
21	Are all personnel wearing grounded wrist straps and/or footwear while in the EPA?
22	Are all personnel wearing ESD protective smocks (and gloves if applicable) in the EPAs?

23	Are ESD workstations identified as such and the work surfaces that contact sensitive parts static dissipative and grounded?
24	Are carts conductive or static dissipative and grounded?
25	The EPA is free of non-essential static generating materials?
26	Are ionizers used when necessary to reduce static charges on required process insulators or sensitive product?
27	If solder irons are used are they checked for tip resistance, tip voltage and tip current?
28	Are fixtures, tools and equipment conductive or static dissipative and grounded?
Material Handling	
29	Are ESD sensitive parts stored in ESD shielding packaging when located outside an EPA?
30	Are all EPA internal containers, trays and part bins, static dissipative?
31	Are storage racks and shelves made of conductive materials and grounded?
32	Are mobile wheeled carts grounded with drag chains and conductive wheels through the ESD floor?

ANEXO 1 – REQUISITOS ESD DA APTIV PARA AS MEDIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS (FONTE: IEC 61340-5-1)

Table 1 – Grounding/bonding requirements

Technical requirement	Grounding method	Test method/standard	Required limit(s)
Grounding/bonding system	Protective earth	National electrical system standard	National electrical code limits
	Functional ground	National electrical system standard	National electrical code limits If the national electrical code does not specify a requirement, then the resistance between functional ground and protective earth shall not exceed 25 Ω
	Equipotential bonding	See applicable implementing process from Tables 2 and 3	See limits for each ESD control item from Tables 2 and 3

Table 2 – Personnel grounding requirements

Technical requirement	ESD control item	Product qualification		Compliance verification	
		Test method	Limits ^b	Test method	Limits ^b
Personnel grounding	Wrist straps (bands and ground cords)	IEC 61340-4-6	$R < 5 \times 10^6 \Omega$ or user defined value	See wrist strap system	
	Wrist band resistance	IEC 61340-4-6			
		– interior	$\leq 1 \times 10^5 \Omega$	Not applicable	
		– exterior	$> 1 \times 10^7 \Omega$	Not applicable	
	Wrist strap system ^a	Not applicable		IEC 61340-4-6 Wrist strap continuity test	$R < 3,5 \times 10^7 \Omega$
	Footwear	IEC 61340-4-3 ^c	$R \leq 1 \times 10^8 \Omega$	See person/footwear system	
	Person/footwear/flooring system	IEC 61340-4-5	$R_g < 1,0 \times 10^9 \Omega$ and absolute value of body voltage $< 100 \text{ V}$ (average of 5 highest peaks)	IEC 61340-4-5	$R_g < 1,0 \times 10^9 \Omega$ ^{d,f}
Person/footwear system	Not applicable		See Annex A ^e	$R_{gp} < 1,0 \times 10^8 \Omega$	

^a For situations where an ESD garment is used as part of the wrist strap grounding path, the total system resistance including the person, garment and grounding cord should be less than $3,5 \times 10^7 \Omega$.

^b Symbols used in this table: R_g refers to resistance to ground, R_{gp} refers to resistance to groundable point

^c For the product qualification of footwear, the environmental conditions for testing, using IEC 61340-4-3 should be $(12 \pm 3) \% \text{ RH}$ and $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

^d A periodic body voltage generation test should be done to verify the voltage is less than 100 V

^e The resistance limit applies to measuring each foot one by one, not two in parallel.

^f The required limit of $< 1,0 \times 10^9 \Omega$ is the maximum allowed value. The user should establish an upper limit from the resistance values that were measured for product qualification for the footwear and the floor to comply with the $< 100 \text{ V}$ body voltage generation and use these resistances for compliance verification.

Table 3 – EPA requirements

EPA requirements	ESD control item	Product qualification ^a		Compliance verification ^b	
		Test method	Limits ^c	Based on test method	Limits ^c
	Working surfaces, storage racks and trolley ^d	IEC 61340-2-3	$R_{20} < 1 \times 10^9 \Omega$ $R_{p-g} < 1 \times 10^9 \Omega^f$	IEC 61340-2-3	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
	Wrist strap bonding point				$R_g < 5 \times 10^8 \Omega$
	Flooring	IEC 61340-4-1 ^{e,*}	$R_{20} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-1	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
	Ionization	IEC 61340-4-7	Decay (1 000 V to 100 V and -1 000 V to -100 V) < 20 s Offset voltage < ± 35 V	IEC 61340-4-7	Decay (1 000 V to 100 V and -1 000 V to -100 V) < 20 s or user defined Offset voltage < ± 35 V
	Seating	IEC 61340-2-3 (resistance to groundable point measurements)	$R_{20} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-2-3 (resistance to ground measurements)	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
	Static control garments	IEC 61340-4-9 or user defined method	$R_{p-g} < 1 \times 10^{11} \Omega$ or user defined limit	IEC 61340-4-9 or user defined method	$R_{p-g} < 1 \times 10^{11} \Omega$ or user defined limit
	Groundable static control garments	IEC 61340-4-9	$R_{20} < 1 \times 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-9	$R_{20} < 1 \times 10^9 \Omega$

^a For product qualification, the environmental conditions for testing should be (12 \pm 3) % RH and 23 °C \pm 2 °C. When not specified in the referenced IEC standard, the minimum environmental conditioning time for product qualification should be 48 hours.

^b The test methods in the compliance verification column refer to the basic test procedure only. It is not expected that the test method will be followed in its entirety.

^c Symbols used in this table: R_{p-g} refers to point to point resistance. R_g refers to resistance to ground and R_{20} refers to resistance to groundable point.

^d The maximum test voltage allowed for measuring ESD flooring that should be used for an ESD program complying with this standard is 100 V.

^e If flooring is used for grounding personnel that handle ESDS refer to the system requirements in Table 2.

^f In situations where charged device model (CDM) damage is a concern, a minimum point to point resistance limit of $1 \times 10^4 \Omega$ is recommended.

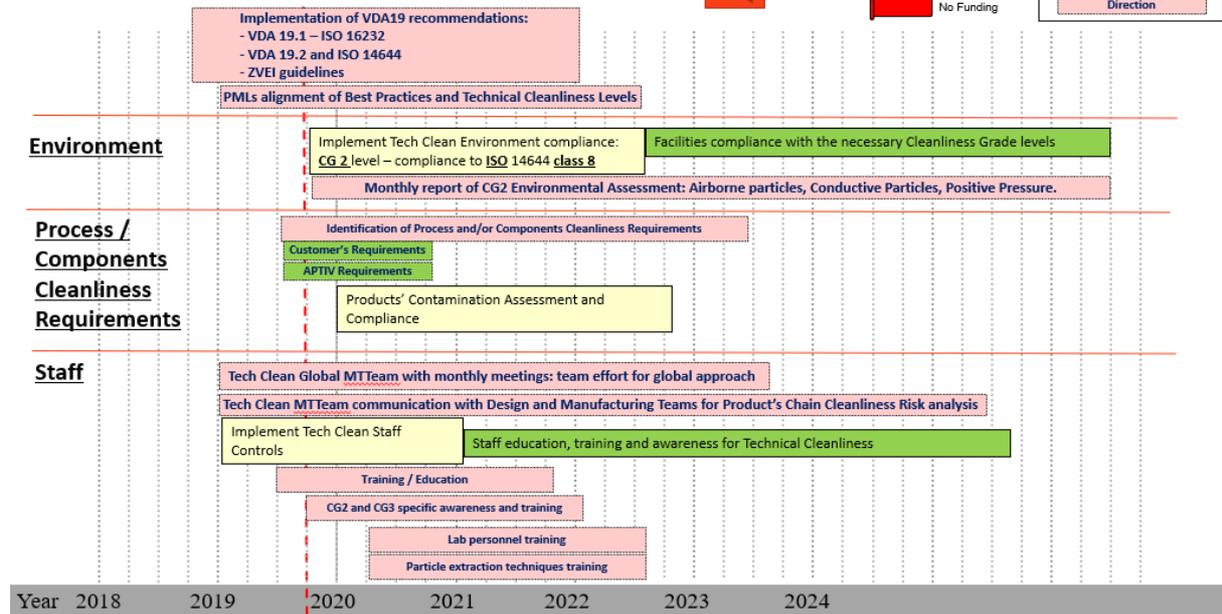
^g Worksurfaces are defined as any surface on which an unprotected ESD sensitive item is placed.

ANEXO 2 – ROADMAP: TECHNICAL CLEANLINESS

MTTeam Roadmap: *Technical Cleanliness*



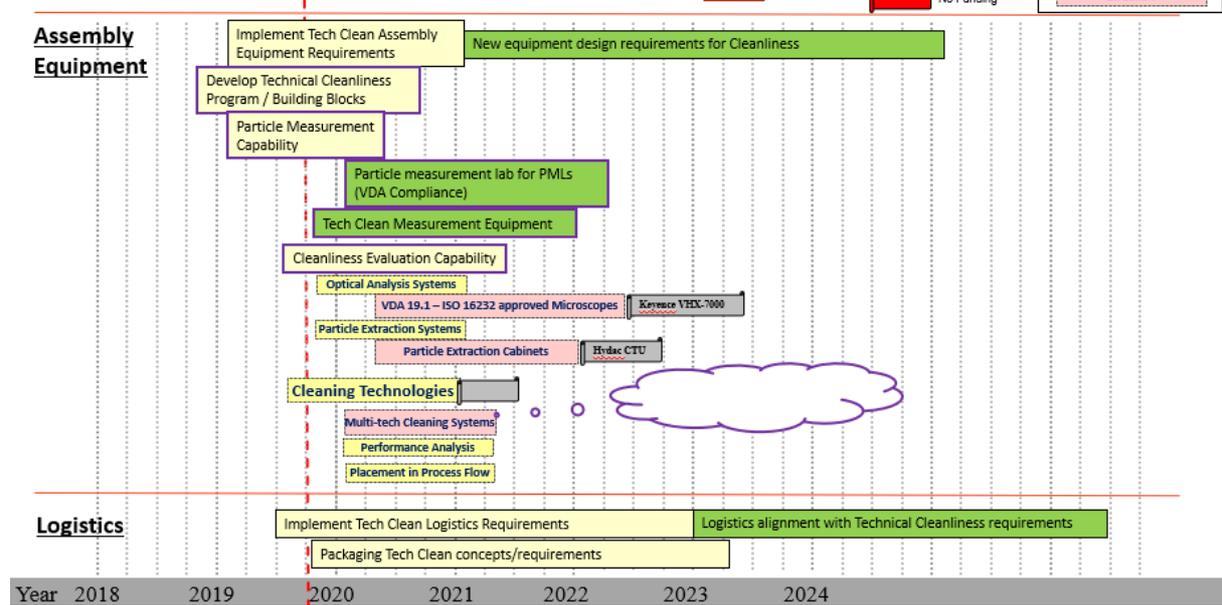
ADP



MTTeam Roadmap: *Technical Cleanliness*

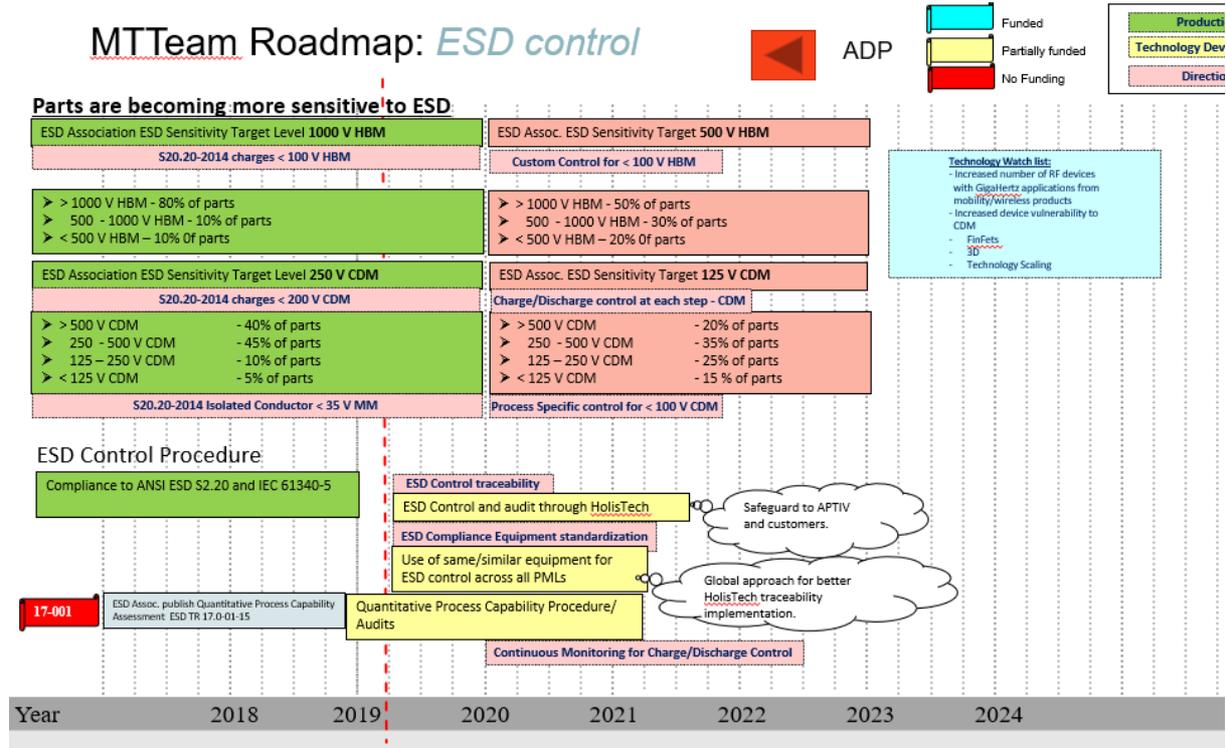


ADP



ANEXO 3 – ROADMAP: ESD

MTTeam Roadmap: ESD control



MTTeam Roadmap: ESD control

