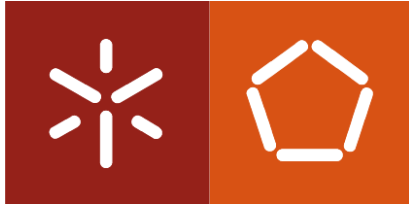




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cátia Daniela Correia Cruz

Projeto e implementação de uma nova linha de
produção de autorrádios



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cátia Daniela Correia Cruz

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Industrial
Ramo de Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do(a)
Professor Doutor José Dinis de Araújo Carvalho
Professora Doutora Susana Raquel Pinto da Costa

outubro de 2020

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

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

AGRADECIMENTOS

“O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece.”

(Benjamin Disraeli)

Marcada por altos e baixos, chega ao fim esta etapa do meu percurso que, mesmo fugindo ao planeado, foi levada a cabo com sucesso. Mas, como em qualquer viagem, sozinha posso ir mais rápido, mas acompanhada vou mais longe, pelo que não podia deixar de agradecer às pessoas que contribuíram para a conclusão desta dissertação.

Aos meus orientadores, Professor Dinis Carvalho e Professora Susana Costa, muito obrigada por toda a disponibilidade, orientação e motivação dada ao longo deste projeto.

Agradeço à Aptiv pela oportunidade fantástica de realizar o estágio e adquirir novos conhecimentos na área, em especial, à minha orientadora de estágio Dora Enes, por todo o suporte, pelos ensinamentos e pela confiança depositada ao longo desta experiência.

A todos os colegas da equipa de Engenharia, obrigada pelo apoio, companheirismo e motivação que deram ao longo do estágio, e ao Engenheiro Jorge Duarte obrigada pelo acompanhamento e integração desde o primeiro dia.

Aos meus pais, obrigada por me darem a possibilidade de realizar o mestrado, por me permitirem alcançar sonhos mais altos e por toda a paciência e carinho ao longo deste caminho. Ao meu irmão, obrigada por seres o meu pilar e distração nos tempos mais difíceis. Aos meus amigos e “ímpares”, obrigada pela paciência, compreensão e incentivo aos longos dos últimos meses.

Às minhas colegas de curso, Carlota e Diana, que entraram comigo nesta viagem, obrigada por todo o apoio quando as coisas não foram fáceis e pela vossa amizade que fica para sempre.

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 foi realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – Gestão Industrial da Universidade do Minho e o projeto apresentado na mesma foi desenvolvido durante o estágio curricular realizado ao abrigo da empresa *AptivPort Services S.A*, localizada em Braga.

O projeto teve como objetivo principal a implementação de uma nova linha de produção para um novo produto inserido no portefólio da organização, tendo como objetivos mais específicos atingir um tempo de ciclo aproximado de 90 segundos na produção em série, estruturar postos de trabalho ergonómicos, conseguir “*one-piece-flow*” e zero defeitos à saída da linha.

A primeira fase do projeto consistiu no enquadramento bibliográfico sobre os temas de *Lean Production*, produção em célula, ergonomia e ferramentas de avaliação ergonómica, antropometria e indicadores de desempenho. Posteriormente apresentou-se o estado inicial do contexto do projeto, definindo qual o objetivo para o estado futuro e estabelecendo-se as ações necessárias para o atingir.

Após a definição das ações, iniciou-se a incorporação do novo produto, sendo explicado todo o procedimento efetuado desde o balanceamento teórico da linha de produção até à implementação da linha no chão de fábrica. Após a implementação da linha efetuou-se uma análise ao desempenho da mesma durante a fase de pré-séries relativamente a indicadores de desempenho, requisitos ergonómicos e outros fatores onde surgiram oportunidades de melhoria.

Como o projeto passou por implementar uma linha de produção nova, os resultados obtidos traduziram-se na linha propriamente dita, ou seja, na sua implementação física com sucesso, tendo-se conseguido “*one-piece-flow*” e sendo adotados mecanismos para conseguir zero defeitos à saída da linha. Adicionalmente, obtiveram-se resultados ao nível da redução de tempos de ciclo e melhorias ao nível da qualidade e ergonomia. Estabeleceu-se, ainda, um padrão relativamente às dimensões dos postos de trabalho para cumprir com os requisitos ergonómicos e, na fase de pré-séries, o tempo de ciclo verificado cumpriu com o *takt time* definido.

PALAVRAS-CHAVE

Antropometria, Configuração de linhas de produção, Ergonomia, Implementação de novos produtos, *Lean Production*

ABSTRACT

This dissertation was carried out within the scope of the Master's in Industrial Engineering – Industrial Management at the University of Minho and the project presented was developed during the curricular internship carried out under the company AptivPort Services S.A., located in Braga.

The project's main objective was to implement a new production line for a new product inserted in the organization's portfolio and had more specific objectives as reaching a cycle time of approximately 90 seconds in series production, structuring ergonomic workstations, achieve one-piece-flow and zero defects at the end of the line.

The first phase of the project consisted in the bibliographic framework of the dissertation about Lean Production, cellular manufacturing, ergonomics and ergonomic assessment tools, anthropometry and performance indicators. Subsequently, the initial state of the project's context was presented, as the future state was defined and the necessary actions to achieve it were established.

After defining the actions, the incorporation of the new product began and the entire procedure carried out was explained, from the theoretical balancing of the production line to the implementation of the line on the factory floor. After the implementation of the line, an analysis was made of its performance during the pre-series phase in relation to performance indicators, ergonomics requirements and other factors where opportunities for improvement arose.

As the purpose of the project was the implementation of a new production line, the results obtained were translated into the line itself, that is, in its successful physical implementation, having achieved one-piece-flow and adopting mechanisms to achieve zero defects at the end of the line. Additionally, it was possible to obtain results in terms of reduced cycle times and improvements in terms of quality and ergonomics. A standard was also established regarding the dimensions of the workstations to comply with the ergonomic requirements and, in the pre-series phase, the cycle time verified complied with the defined takt time.

KEYWORDS

Anthropometry, Configuration of production lines, Ergonomics, Implementation of new products, Lean Production

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xiii
Índice de Equações	xvi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia de investigação	2
1.4 Estrutura da dissertação	5
2. Enquadramento teórico	7
2.1 <i>Lean Production</i>	7
2.1.1 <i>Toyota Production System</i>	8
2.1.2 <i>Princípios Lean Thinking</i>	12
2.1.3 Conceito de desperdício	13
2.2 Ferramentas e metodologias <i>Lean</i>	16
2.2.1 <i>Standard Work</i>	16
2.2.2 Metodologia 5S	18
2.2.3 Gestão Visual	19
2.2.4 Mecanismos <i>Poka Yoke</i>	20
2.3 Produção em célula	21
2.4 Ergonomia	22
2.4.1 Conceito de ergonomia	23
2.4.2 Ferramentas de avaliação ergonómica	23
2.5 Antropometria	25
2.5.1 Princípios antropométricos	26

2.5.2	Dimensões antropométricas mínimas e máximas	27
2.5.3	Dados antropométricos	27
2.6	Dimensionamento do espaço de trabalho	30
2.6.1	Restrições no dimensionamento dos postos de trabalho	32
2.6.2	Posto de trabalho em pé	34
2.7	Indicadores de desempenho.....	35
2.7.1	Capacidade Produtiva	35
2.7.2	Eficiência do sistema	36
2.7.3	Índice de planura	37
3.	Descrição da situação inicial.....	38
3.1	A empresa – APTIV	38
3.2	Projeto a desenvolver na empresa	40
3.3	Caracterização do novo produto	40
3.4	Processo produtivo do novo produto e fluxo de materiais	41
3.4.1	Área produtiva do Edifício 2.....	41
3.4.2	Área produtiva do Edifício 1.....	43
3.5	Definição do estado futuro e necessidades do projeto	47
4.	Implementação de uma nova linha de produção	50
4.1	Fases da integração de um novo produto na empresa	50
4.2	Balanceamento da linha de produção	53
4.2.1	Cálculo do <i>takt time</i>	53
4.2.2	Conteúdo de trabalho dos postos	54
4.2.3	Cálculo do número de operadores e equipamentos.....	60
4.3	Produção em pré-séries.....	61
4.3.1	Protótipo da nova linha de montagem	62
4.3.2	Disposição da linha de montagem.....	63
4.3.3	Postos de trabalho	64
4.3.4	Material e rampas de abastecimento.....	67
4.3.5	Instruções de trabalho normalizadas	72

4.3.6	Soluções de prevenção de erros	72
4.3.7	Implementação da metodologia 5S	76
4.4	Avaliação ergonómica e antropométrica.....	78
4.4.1	Avaliação ergonómica dos postos de trabalho com o método RULA.....	78
4.4.2	Dimensionamento antropométrico dos postos de trabalho	84
4.5	Validação da linha de produção	103
5.	Resultados	105
5.1	Análise do processo produtivo durante as pré-séries	105
5.2	Melhorias implementadas ao longos das pré-séries.....	108
5.3	Resultado físico da implementação da linha no chão de fábrica	110
6.	Conclusões e trabalho futuro	111
	Referências Bibliográficas	113
	Apêndices.....	116
	Apêndice I – Cálculo do <i>takt time</i>	117
	Apêndice II – Conteúdo de trabalho do produto	119
	Apêndice III – <i>Work Combination Table</i> no início e fim do projeto.....	120
	Apêndice IV – Cálculo de capacidade dos sistemas de teste	122
	Apêndice V – Resultados da avaliação com a ferramenta RULA	123
	Apêndice VI – Análise de tempos de ciclo.....	137
	Anexos	138
	Anexo I – Folha de cálculo do método RULA.....	139
	Anexo II – Dados antropométricos da população portuguesa	140
	Anexo III – Apresentação do material e dos tabuleiros de abastecimento	141
	Anexo IV – Tabela da distribuição normal	142
	Anexo V – Apresentação das rampas de abastecimento instaladas	143

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da metodologia Investigação-Ação (Adaptado de Susman & Evered, 1978).....	3
Figura 2 - Etapas da metodologia adaptada ao projeto	5
Figura 3 - Casa TPS (Kehr & Proctor, 2017)	9
Figura 4 - Exemplo de produção puxada na Toyota (Dennis, 2015)	10
Figura 5 - Balanceamento de uma linha de produção (Bell, 2006)	11
Figura 6 - Tipos de atividades numa organização (Adaptado de Pinto, 2008).....	14
Figura 7 - Exemplo de uma SWCT (Dennis, 2015)	17
Figura 8 - Exemplo de uma IT (Dennis, 2015)	18
Figura 9 - Etapas da metodologia 5S (Liker, 2004)	19
Figura 10 - Exemplos de aplicação de gestão visual (Pinto, 2008).....	20
Figura 11 - Dimensões corporais e antropométricas estudadas para a População Portuguesa (Adaptado de Arezes et al., 2005)	28
Figura 13 - Alcances ótimos dependendo da postura (Iida, 2005)	29
Figura 12 - Definição dos planos para registo dos movimentos corporais (Iida, 2005)	29
Figura 14 - Valores médios de rotação voluntária do corpo (Iida, 2005)	30
Figura 15 - Dimensões mínimas recomendadas dos espaços de trabalho para algumas posturas típicas (Iida, 2005)	32
Figura 16 - Alturas da bancada de trabalho dependendo da altura do cotovelo e do tipo de trabalho (Kroemer & Grandjean, 2009).....	34
Figura 17 - Alcances ótimos e máximos numa superfície de trabalho (Iida, 2005)	35
Figura 18 - Localização do grupo Aptiv em Portugal e logótipo da empresa (Aptiv, 2020a).....	38
Figura 19 - Principais clientes da Aptiv e portefólio de produtos da Aptiv Braga (Aptiv, 2020a).....	39
Figura 20 - Complexo industrial da Aptiv em Braga (Aptiv, 2020a)	39
Figura 21 - Exemplo de uma linha de produção existente na empresa.....	40
Figura 22 - Vista explodida do produto P (Aptiv, 2020b).....	41
Figura 23 - Planta do Edifício 2 da Aptiv Braga (Adaptado de Aptiv, 2020b).....	42
Figura 24 - Fluxo produtivo do produto P na área de produção de plásticos.....	42
Figura 25 - Planta do Edifício 1 da Aptiv Braga (Adaptado de Aptiv, 2020b).....	43
Figura 26 - Fluxo produtivo das placas do produto P na área de SMT e de CBA.....	45

Figura 27 - Fluxo produtivo do produto P na área de montagem final	46
Figura 28 - Fluxo de materiais do produto P no Edifício 1 (Adaptado de Aativ, 2020b).....	47
Figura 29 - Layout da área de montagem final na situação inicial.....	48
Figura 30 - Layout da área de montagem final pretendido no estado futuro.....	48
Figura 31 - Tempos manuais e máquina de cada posto de montagem, takt time e tempo de ciclo objetivo	58
Figura 32 - Linha utilizada para a pré-série protótipo.....	62
Figura 33 - Primeira versão da localização da nova linha de montagem	63
Figura 34 - Layout final da linha de montagem	63
Figura 35 - Dispositivo de aparafusamento manual.....	64
Figura 36 - Processo efetuado no posto do GapFiller Offline.....	65
Figura 37 - Postos de trabalho da linha de montagem: a) Posto 1; b) Posto 2; c) Posto 3; d) Posto 4 .	66
Figura 38 - Equipamentos e postos na zona de testes na linha de produção: a) Teste MOL; b) Teste Iluminação; c) Teste EOL; d) Posto Back Cover; e) Teste CMI; f) Embalagem	67
Figura 39 - Exemplo de uma das rampas de abastecimento presentes na linha de montagem	69
Figura 40 - Instrução de trabalho de um dos postos da linha de produção	72
Figura 41 - Mecanismos poka yoke de contacto nos dispositivos: a) Posto 1; b) Posto 2; c) Posto 3; d) Posto 4; e) Posto 5	73
Figura 42 - Mecanismos poka yoke de contacto nos componentes: a) Blenda; b) Display; c) Botões e Knobs; d) Caixilho e tampas; e) Caixilho e blenda.....	74
Figura 43 - Mecanismos poka yoke de contacto no aparafusamento	74
Figura 44 - Mecanismos de conjunto no processo de aparafusamento (Gestão visual).....	75
Figura 45 - Scanners e câmaras colocadas nos postos.....	75
Figura 46 - Gestão visual nos postos	76
Figura 47 - Colocação de etiquetas identificadoras	77
Figura 48 - Robot de aparafusamento utilizado	86
Figura 49 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 1	91
Figura 51 - Dimensões do posto de trabalho comum da empresa (dimensões em mm)	93
Figura 50 - Posto de trabalho com bancada padrão existente na empresa.....	93
Figura 52 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 2.....	97
Figura 53 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 3.....	99
Figura 54 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 4.....	102

Figura 55 - Teste de medição de tensão	103
Figura 57 - Resultados do teste de tensão à placa de serviço	104
Figura 56 - Gráfico dos valores de tensão na placa de serviço	104
Figura 58 - Análise dos tempos de ciclo na linha de montagem manual nas pré-séries.....	105
Figura 59 - Análise dos tempos da zona de testes nas pré-séries	106
Figura 60 - Scanner implementado na melhoria	108
Figura 61 - Cabos com a melhoria e o key pad que passou a ser colocado no posto 1	109
Figura 62 - Linha de produção instalada no chão de fábrica (zona de montagem)	110
Figura 63 - Linha de produção instalada no chão de fábrica (zona de testes)	110
Figura 64 - WCT no final do projeto	120
Figura 65 - WCT no início do projeto.....	121
Figura 66 - Folha de cálculo do método RULA (Middlesworth, 2020).....	139
Figura 67 - Base de dados antropométricos “UMINHO” (dados em mm). População laboral portuguesa adulta (17-65 anos; Arezes et al., 2005)	140
Figura 68 - Tabuleiros e respetivos interiores utilizados na linha de montagem.....	141
Figura 69 - Tabela da distribuição normal. Valores de p e Z da distribuição normal padrão (Arezes et al., 2005).....	142
Figura 70 - Rampas de abastecimento instaladas na linha de montagem	143

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Significado dos resultados da avaliação RULA (Adaptado de Serranheira & Uva, 2010)	25
Tabela 2 - Fases da integração de um novo produto na empresa	52
Tabela 3 - Capacidade disponível e tempo útil	53
Tabela 4 - Volumes de produção e takt time para os vários anos de produção.....	54
Tabela 5 - Conteúdo de trabalho do posto 1	55
Tabela 6 - Conteúdo de trabalho do posto 2	55
Tabela 7 - Conteúdo de trabalho do posto 3	56
Tabela 8 - Conteúdo de trabalho do posto 4	56
Tabela 9 - Conteúdo de trabalho do posto de montagem da back cover	57
Tabela 10 - Capacidade dos sistemas de testes de iluminação dedicados aos produtos C, F e PC	59
Tabela 11 - Capacidade necessária para os testes de iluminação do produto P	59
Tabela 12 - Utilização da linha de montagem do produto P	60
Tabela 13 - Necessidades de operadores na zona de montagem	60
Tabela 14 - Necessidades de equipamentos na zona de testes e embalagem.....	61
Tabela 15 - Características dos tabuleiros utilizados na linha de montagem	68
Tabela 16 - Dimensões definidas para as rampas de abastecimento (perspetiva do abastecedor)	70
Tabela 17 - Medição da altura das rampas de abastecimento da linha de montagem.....	71
Tabela 18 - Significado das cores das fitas sinalizadoras.....	77
Tabela 19 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 1	79
Tabela 20 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 1	79
Tabela 21 - Pontuação final do método RULA do posto 1	80
Tabela 22 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 2	80
Tabela 23 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 2	81
Tabela 24 - Pontuação final do método RULA do posto 2	81
Tabela 25 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 3	81
Tabela 26 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 3	82
Tabela 27 - Pontuação final do método RULA do posto 3	82
Tabela 28 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 4	83
Tabela 29 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 4	83
Tabela 30 - Pontuação final do método RULA do posto 4	83

Tabela 31 - Pontuação final do RULA dos postos da linha de montagem	84
Tabela 32 - Alturas aceitáveis para a bancada de trabalho	87
Tabela 33 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 1.....	87
Tabela 34 - Comparação das dimensões reais do posto 1 com os valores definidos	92
Tabela 35 - Alturas aceitáveis de trabalho.....	94
Tabela 36 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 2.....	94
Tabela 37 - Comparação das dimensões reais do posto 2 com os valores definidos	97
Tabela 38 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 3.....	98
Tabela 39 - Comparação das dimensões reais do posto 3 com os valores definidos	100
Tabela 40 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 4.....	101
Tabela 41 - Comparação das dimensões reais do posto 4 com os valores definidos	102
Tabela 42 - Eficiência e índice de planura da linha de montagem nova	107
Tabela 43 - Eficiências e índices de planura da linha de produção	107
Tabela 44 - Conteúdo de trabalho do produto.....	119
Tabela 45 - Tempos de ciclo e capacidade efetiva do turno.....	122
Tabela 46 - Volumes anuais e diários dos produtos C, F e PC	122
Tabela 47 - Tempo de teste necessário para os produtos C, F e PC e tempo livre no turno.....	122
Tabela 48 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 1	123
Tabela 49 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 1	123
Tabela 50 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 1	124
Tabela 51 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 1	124
Tabela 52 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 1	125
Tabela 53 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 1	125
Tabela 54 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 1.....	126
Tabela 55 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 2.....	126
Tabela 56 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 2	127
Tabela 57 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 2	127
Tabela 58 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 2	128
Tabela 59 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 2	128
Tabela 60 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 2	129
Tabela 61 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 2.....	129
Tabela 62 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 3.....	130

Tabela 63 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 3	130
Tabela 64 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 3	131
Tabela 65 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 3.	131
Tabela 66 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 3	132
Tabela 67 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 3	132
Tabela 68 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 3.....	133
Tabela 69 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 4.....	133
Tabela 70 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 4.....	134
Tabela 71 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 4.....	134
Tabela 72 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 4.	135
Tabela 73 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 4	135
Tabela 74 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 4	136
Tabela 75 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 4.....	136
Tabela 76 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 1.....	137
Tabela 77 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 2.....	137
Tabela 78 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 3.....	137
Tabela 79 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 4.....	137

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

(Equação 1).....	11
(Equação 2).....	36
(Equação 3).....	36
(Equação 4).....	36
(Equação 5).....	36
(Equação 6).....	36
(Equação 7).....	36
(Equação 8).....	37
(Equação 9).....	37

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AOI *Automated Optical Inspection*

AVI *Automated Vision Inspection*

CBA *Circuit Board Assembly*

CMI *Control and Monitoring Interface*

EOL *End of Line*

FOT *First of Tool*

IC *Integrated Circuits*

IT Instruções de Trabalho

JIT *Just-In-Time*

LMERT Lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho

MOL *Middle of Line*

MSD *Manufacturing System Design*

OEE *Overall Equipment Effectiveness*

PC&L Planeamento e Controlo Logístico

PCB *Printed Circuit Boards*

PPIE *Pre Production Industrial Engineering*

QRC *Quick Response Code*

RULA *Rapid Upper Limb Assessment*

SMT *Surface Mount Technology*

SWCT *Standard Work Combination Table*

TC Tempo de Ciclo

TPS *Toyota Production System*

WCT *Work Combination Table*

WIP *Work in Process*

1. INTRODUÇÃO

O presente documento descreve o projeto de dissertação desenvolvido na empresa *AptivPort Services* S.A., no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – ramo de Gestão Industrial. Este capítulo apresenta o enquadramento da dissertação, os objetivos estabelecidos para o projeto, a metodologia de investigação adotada e, por último, a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento

Na atualidade, devido à rápida mudança do ambiente no mundo empresarial, as organizações são forçadas a enfrentar desafios e complexidades cada vez maiores, estando o seu sucesso dependente da sua capacidade de responder de forma sistemática e contínua às mudanças do mercado (Sundar, Balaji & Kumar, 2014).

O projeto de dissertação foi realizado numa empresa que produz autorrádios, *displays*, sistemas de navegação e sistemas de controlo para as principais marcas da indústria automóvel, a *AptivPort Services* S.A. Caracterizada por primar pelo cumprimento dos requisitos dos clientes, a empresa tem de se adaptar aos novos produtos e à alteração dos produtos existentes no mercado global, o que implica muitas vezes uma alteração do sistema produtivo. No caso deste projeto, ocorreu a necessidade de implementar uma nova linha de produção, na secção de Montagem Final, com a introdução de um novo produto no portefólio da empresa, dado que esta não possuía no seu sistema produtivo nenhum produto com o mesmo processo de montagem e que permitisse a utilização de uma linha de montagem final já existente. A integração da filosofia do *Lean Production* é um ponto obrigatório em todo o projeto, uma vez que o seu uso é uma realidade no funcionamento da *Aptiv*, sendo uma ferramenta essencial para a adaptação aos mercados cada vez mais exigentes e competitivos.

A filosofia *Lean Production* é oriunda do *Toyota Production System* (TPS), que surgiu como alternativa ao sistema de produção em massa (Monden, 2012). O TPS assenta em dois pilares principais, nomeadamente, a *autonomation* e a produção *Just-In-Time* (JIT) e tem como objetivo reduzir ou eliminar todos os desperdícios para diminuir os custos e aumentar a produtividade (Monden, 2012; Ohno, 1988). O termo *Lean* ganhou popularidade no livro “*The Machine That Changed The World*” (Womack, Jones & Roos, 1990), e mais tarde, Womack e Jones (2003) aprofundaram o conceito, tendo surgido o *Lean Thinking*, que assenta em cinco princípios: definição de valor, cadeia de valor, fluxo contínuo, produção puxada e busca pela perfeição. Um sistema *Lean* é alcançado através da ligação de todas as etapas que

criam valor numa sequência contínua (Haque & James-moore, 2004) e da eliminação de desperdícios e ações desnecessárias, sendo estes o transporte, *stock*, sobreprocessamento, sobreprodução, esperas, defeitos, movimentos e o não aproveitamento do potencial humano (Liker, 2004; Ohno, 1988). Para tal, existem várias ferramentas que permitem atingir estes objetivos e manter o ideal de melhoria contínua na empresa como os 5S, o *standard work*, o *poka-yoke*, a gestão visual, entre outras.

Uma das partes centrais do TPS recai sobre a força laboral, devendo-se providenciar à mesma todas as condições ótimas para realizar o seu trabalho, assim como para a manter motivada e satisfeita, pelo que a utilização de ferramentas de avaliação ergonómica aquando a implementação de uma linha nova é fundamental, de forma a diminuir o máximo possível o esforço humano e o risco. Para tal, são várias as ferramentas que permitem avaliar e conceber tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas, de forma a torná-los compatíveis com as capacidades, necessidades e limitações das pessoas (International Ergonomics Association, 2019).

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto consiste na implementação de uma nova linha de produção para um novo produto a ser inserido no portefólio da empresa. Assim, tem-se como foco atingir o melhor desempenho possível aquando a implementação da linha, indo sempre ao encontro dos requisitos pré-estabelecidos. Alguns objetivos específicos são:

- Atingir o Tempo de Ciclo (TC) próximo de 90 segundos na produção em série;
- Conseguir “*one-piece-flow*”;
- Conseguir zero defeitos à saída da linha;
- Estruturar postos de trabalho ergonómicos.

1.3 Metodologia de investigação

A metodologia determina a linha de pensamento do projeto, definindo um plano de atuação com vista ao cumprimento dos objetivos propostos para a investigação, pelo que a sua definição é essencial, de forma a cumprir com sucesso o projeto e garantir que este se encontre compreensível e corretamente estruturado (Oliveira, 2011). Neste projeto, a filosofia adotada é a do realismo, que diz que apenas os fenómenos observáveis podem fornecer dados confiáveis para a investigação. Também se adota o método misto, que utiliza técnicas de recolha e procedimentos de análise de dados quantitativos e

qualitativos, em paralelo ou sequencialmente, mas sem os combinar. Este projeto decorreu num horizonte temporal transversal e no decorrer da investigação foram utilizadas técnicas de observação participativa e análise documental (Saunders, Thornhill & Lewis, 2009).

Com o intuito de alcançar todos os objetivos propostos para este projeto, utilizou-se como base a metodologia *Action Research* (Investigação-Ação), que promove a mudança na organização e permite o envolvimento de todos os intervenientes no projeto, sendo adequada a situações que necessitem de flexibilidade (Coughlan & Coghlan, 2002). A escolha recaiu sobre esta metodologia, uma vez que a investigadora assumiu um papel igual ao de um colaborador na empresa, tendo assim uma postura participativa e interativa, não sendo apenas uma mera observadora. Esta metodologia de investigação envolve cinco etapas fundamentais, que se encontram identificadas na Figura 1 (Susman & Evered, 1978).



Figura 1 - Etapas da metodologia Investigação-Ação (Adaptado de Susman & Evered, 1978)

O projeto foi dividido em várias fases no horizonte temporal, tendo-se adaptado as fases da metodologia de Investigação-Ação à realidade do projeto. Assim, o primeiro passo adotado foi o **enquadramento bibliográfico de temas relacionados com o projeto**, de modo a serem constituídos alicerces para fundamentar o projeto. Contudo, apesar de a pesquisa bibliográfica ser estabelecida como a primeira etapa devido à sua intensidade na fase inicial, esta foi efetuada ao longo de todo o projeto. Para efetuar este enquadramento recorreu-se ao uso de fontes primárias (por exemplo, teses e artigos científicos), fontes secundárias (por exemplo, livros e revistas científicas) e fontes terciárias.

A segunda fase consistiu na **descrição da situação inicial** do contexto onde decorreu o projeto, sendo apresentada a empresa onde foi realizado o projeto, o produto para o qual foi implementada a nova linha de produção, assim como o seu processo produtivo e fluxo de materiais. Posteriormente, foi **definido o estado futuro** que se pretendia alcançar com o projeto e foram **identificadas as necessidades** que

advinham do mesmo, sendo **planeadas as ações** a serem tomadas para conseguir atingir o estado pretendido.

A fase seguinte consistiu na **implementação das ações estabelecidas**, sendo apresentado todo o processo para atingir o estado futuro pretendido. Assim, estabeleceu-se o *takt time*, definiu-se o número de postos de trabalho necessários, realizou-se o balanceamento dos mesmos, assim como o seu estudo ergonómico, efetuou-se a análise da melhor forma de abastecimento da linha e a estruturação da incorporação de sistemas à prova de erro. De forma a cumprir estas atividades foram utilizadas várias ferramentas *Lean* como o *poka-yoke*, a gestão visual, o *standard work* e os 5S. Esta fase exigiu, a partir de certo ponto, que a linha se encontrasse em funcionamento para as pré-séries e, conseqüentemente, foi necessário dar formação às operadoras relativamente aos processos de montagem do novo produto e realizar Instruções de Trabalho (IT) normalizadas.

Posteriormente, na fase que objetiva a **análise dos resultados obtidos**, verificou-se se a linha estava a produzir conforme planeado e se eram necessários ajustes, havendo um estudo de eventuais oportunidades de melhoria. Desta forma, efetuou-se um estudo dos tempos de ciclo, analisou-se o balanceamento da linha e da sua eficiência e implementaram-se as melhorias identificadas.

Na etapa da **especificação de aprendizagem** foram retiradas as conclusões do projeto, sendo elaborada uma revisão a todo o projeto, concluindo acerca do cumprimento dos objetivos, das melhorias implementadas, dos obstáculos enfrentados e do trabalho futuro.

A fase da **escrita de dissertação**, embora apresentada como a última, ocorreu simultaneamente ao longo de quase todo o projeto, uma vez que os dados recolhidos e medidas adotadas foram sendo registados à medida que ocorreram.

Na Figura 2 encontram-se representadas sequencialmente todas as etapas da metodologia adotada ao longo do projeto.

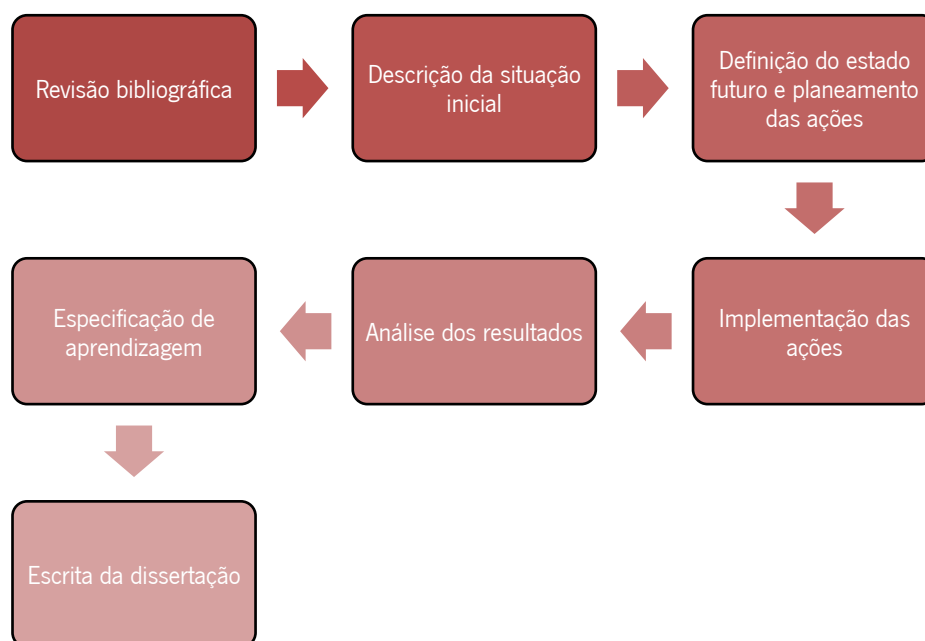


Figura 2 - Etapas da metodologia adaptada ao projeto

1.4 Estrutura da dissertação

O presente projeto de dissertação é constituído por 6 capítulos e duas secções compostas por Apêndices e Anexos. O capítulo inicial consiste na **Introdução**, onde é elaborado o enquadramento do tema da dissertação, são apresentados os objetivos do projeto, a metodologia de investigação utilizada e é feita a descrição da estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, o **Enquadramento teórico**, são expostos os conceitos que fundamentam a investigação, começando por abordar a filosofia do *Lean Production*, incluindo temas como o *Toyota Production System*, os princípios do *Lean Thinking*, os desperdícios *Lean* e as ferramentas e técnicas da filosofia mais relevantes para o projeto. É ainda efetuado um enquadramento sobre produção em célula, ergonomia, ferramentas de avaliação ergonómica e antropometria, uma vez que o projeto consiste em implementar uma linha de produção nova que cumpra com os requisitos ergonómicos. No final do capítulo são descritos os indicadores de desempenho relevantes para o projeto.

O terceiro capítulo consiste no **Descrição da situação inicial**, sendo apresentada a empresa onde se realizou o projeto, mencionando os seus clientes, produtos e organização a nível global e nacional. Posteriormente é caracterizado o produto para o qual foi implementada uma nova linha de produção, sendo ainda descrito o seu processo produtivo nos vários complexos da empresa, dando maior ênfase às secções produtivas do Edifício 1, local onde foi realizado o projeto. Neste capítulo é ainda definido o estado futuro que se pretende alcançar com o projeto e são identificadas as necessidades que advêm do mesmo, sendo planeadas as ações necessárias para atingir o estado futuro pretendido.

O quarto capítulo, **Projeto e implementação de uma nova linha de produção**, traduz-se na descrição da implementação das ações estabelecidas para o projeto. Primeiramente são referidas as fases de um projeto de integração de um novo produto na empresa, apresentando-se depois o estudo do balanceamento teórico da linha de montagem, desde o cálculo do *takt time* ao cálculo do número de operadores e equipamentos necessários. Este capítulo contém ainda uma secção dedicada à fase de pré-séries, onde são descritos os vários pontos realizados ao longo dessa fase, uma secção dedicada à avaliação ergonómica, onde é efetuada a avaliação ergonómica dos postos de trabalho e o dimensionamento antropométrico dos postos de trabalho, e uma secção dedicada à fase de validação da linha de produção.

No quinto capítulo, **Resultados**, é apresentada a análise do processo produtivo na linha de produção durante a fase de pré-séries, assim como a discussão dos resultados obtidos com a implementação da linha e as melhorias implementadas.

Por último, no capítulo **Conclusões** são retiradas as considerações finais relativamente aos objetivos do projeto e ao trabalho futuro que ainda pode ser desenvolvido pela empresa.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

No presente capítulo é elaborado o enquadramento teórico dos temas que fundamentam o projeto descrito na dissertação. Com este objetivo, primeiramente aborda-se brevemente a evolução histórica do *Lean Production* e a sua origem no *Toyota Production System*. Para complementar, são ainda descritos os princípios da filosofia *Lean Thinking* e o conceito de desperdício no contexto industrial. Posteriormente, é apresentada uma secção onde são descritas as ferramentas e técnicas da filosofia que são relevantes para a presente dissertação. Para além dos temas referidos, é ainda abordado o conceito de produção em célula, ergonomia, incluindo as ferramentas de avaliação ergonómicas consideradas pertinentes para o projeto, antropometria e os indicadores de desempenho mais relevantes para o projeto.

2.1 *Lean Production*

Na atualidade, a filosofia *Lean Production* é uma das filosofias mais adotadas nas empresas das várias indústrias do mundo, tendo como objetivo principal maximizar o valor para o cliente através da eliminação dos desperdícios do sistema produtivo, mantendo o foco na melhoria contínua (Lacerda, Xambre & Alvelos, 2016). Esta filosofia teve origem no TPS, no entanto, os conceitos associados passaram por um processo evolutivo. Os conceitos inerentes ao TPS têm como base o conceito do fluxo contínuo e da linha de montagem em movimento criados por Henry Ford (Correia, Silva, Gouveia, Pereira & Ferreira, 2018). O termo *Lean* foi referenciado pela primeira vez em 1988 por John Krafcik em "*Triumph of the Lean Production System*". Krafcik fazia parte da equipa liderada por James Womack que participou num projeto sobre a indústria automóvel e do qual resultou o livro "*The Machine That Changed The World*" (Carvalho, 2010). Foi nesta publicação de Womack, Jones e Ross (1990) que o conceito do *Lean* foi popularizado, sendo apresentada uma comparação entre os diferentes sistemas de produção existentes na indústria automóvel, constatando-se que o TPS, que era o sistema de produção utilizado na *Toyota*, apresentava melhor desempenho comparativamente ao sistema da produção em massa utilizado no Ocidente. Comparativamente com o sistema de produção em massa, o *Lean Production* tem capacidade de "fazer mais com menos", ou seja, é possível gerar produtos com menos material, menos investimento, menos *stock*, menos espaço ocupado e menos esforço humano (Wilson, 2010). O *Lean Production* é caracterizado por ser uma filosofia de crescimento a longo prazo que permite gerar valor para o cliente, a sociedade e a economia, com o objetivo de reduzir custos, melhorar prazos de entrega

e aumentar a qualidade, através da eliminação dos desperdícios, para que todo o tempo gasto no produto seja em atividades de valor acrescentado (Correia *et al.*, 2018).

2.1.1 *Toyota Production System*

No período anterior à Primeira Guerra Mundial, na Europa, o sistema de produção era caracterizado pelos seus operadores altamente competentes e pelo foco nas exigências de cada cliente, sendo produzido um produto de cada vez, o que resultava em custos elevados (Womack *et al.*, 1990). No século XX, com o avanço tecnológico, os artesãos industriais sentiram um impacto negativo, não tendo recursos capazes de dar resposta a este avanço. De forma a solucionar os problemas existentes, Henry Ford implementou com sucesso o sistema de produção em massa, devido à utilização de peças intermutáveis e à simplicidade de montagem. O método de Ford levou ainda à introdução dos conceitos de linhas de produção, sequenciação de processos e divisão de tarefas, sendo que estes levaram ao aumento da quantidade produzida, com maior qualidade, menores custos e tempos de produção (Womack *et al.*, 1990).

O TPS é um sistema de produção desenvolvido pela *Toyota Motor Corporation*, com o objetivo de providenciar o maior nível de qualidade, ao *lead time*¹ mais curto e menor custo, por meio da eliminação dos desperdícios em todas as áreas. Esta abordagem integrada para a produção permite gerir equipamentos, material e pessoas da forma mais eficiente, garantindo ao mesmo tempo um ambiente de trabalho seguro (Kehr & Proctor, 2017). A criação do TPS iniciou-se no contexto do fim da Segunda Guerra Mundial, quando a economia japonesa passava por uma crise significativa, marcando o mercado pela procura decrescente e limitações a nível de investimentos (Drew, Roggenhofer & McCallum, 2004). O Japão estava em desvantagem competitiva comparativamente aos países do Ocidente, sendo necessário que a indústria japonesa apostasse na produção de produtos variados com maior qualidade e menor custo produtivo, de forma superar a diferença competitiva (Sugimori, Kusunoki, Cho & Uchikawa, 1977). De forma a contornar a situação, o novo diretor da produção, Eiji Toyoda, tentou implementar os conceitos da produção em massa utilizados no Ocidente. No entanto, as limitações relativamente ao capital e baixos volumes de vendas presentes na indústria japonesa não justificavam a adoção do sistema. Assim, com o impulso de Taiichi Ohno, estudou-se o modelo de produção em massa utilizado nas empresas americanas, de forma a adaptar o mesmo à realidade japonesa da época. Foram apontadas duas falhas principais ao sistema de Ford. Primeiramente, a produção de grandes

¹ Tempo de percurso do produto desde a entrada como matéria-prima até à saída como produto acabado.

quantidades traduzia-se num aumento da ocorrência de defeitos, na existência de inventários cada vez maiores, em elevados custos e na elevada ocupação de espaço. Em segundo, o sistema não permitia dar resposta à diversidade de produtos exigidos pelos clientes, uma vez que a produção era focada num único tipo de produto. A adaptação do sistema de produção às necessidades da indústria japonesa deu origem ao sistema produtivo que revolucionou a indústria automóvel e que objetiva a redução de custos e aumento da produtividade com recurso à redução dos desperdícios inerentes ao sistema produtivo (Drew *et al.*, 2004; Holweg, 2007; Monden, 2012; Womack *et al.*, 1990). Os benefícios da implementação do TPS foram rapidamente notórios na indústria japonesa, levando as restantes empresas japonesas a adotar o método. Também os americanos não ficaram indiferentes ao aumento da produtividade e da qualidade, tendo igualmente demonstrado interesse em implementar o sistema (Strategos, 2016).

O sistema da *Toyota* tem na sua fundação uma série de princípios necessários para atingir os objetivos referidos anteriormente. Este conjunto de princípios de produção são representados visualmente pelo diagrama denominado “Casa TPS”, representado na Figura 3.

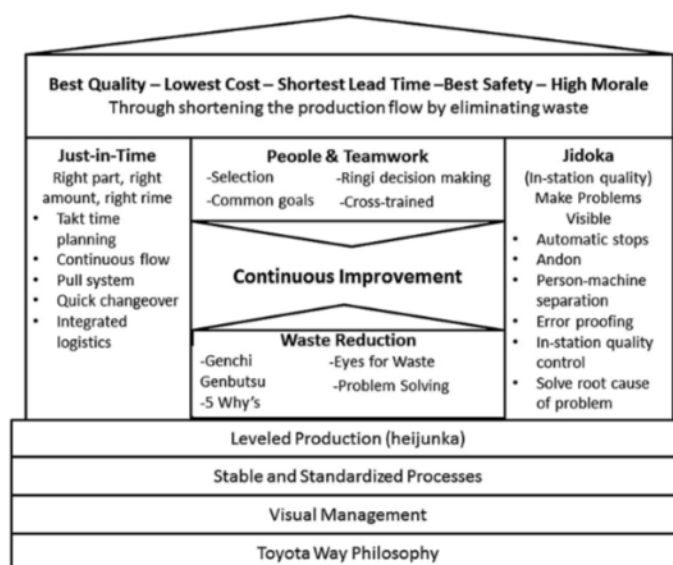


Figura 3 - Casa TPS (Kehr & Proctor, 2017)

A forma de casa é justificada pela associação de força e consistência aos pilares e à base de uma casa, sendo a casa considerada um sistema forte se possuir cada um destes elementos. No entanto, caso os pilares ou a base da casa sejam fracos, a casa torna-se instável, ou seja, o sistema falha. Como tal, cada um dos elementos da casa tem enorme importância assim como a ligação entre eles (Liker, 2004). Fazendo uma análise dos elementos da “Casa TPS”, pode-se constatar o seguinte: no topo situam-se os objetivos do sistema; na parte central encontram-se as pessoas e a cultura da organização; na base assentam os elementos fundamentais do sistema como o nivelamento da produção (*heijunka*), a

estabilidade e a normalização dos processos, a gestão visual e toda a filosofia desenvolvida pela *Toyota*. Quanto aos pilares externos, estes representam os dois conceitos principais em que o TPS assenta: o *Just-In-Time* e o *Jidoka* (Kehr & Proctor, 2017; Liker, 2004).

Just-in-Time

O JIT é um conjunto de princípios e ferramentas que permite produzir apenas a quantidade requerida do produto certo no momento necessário, tendo como benefícios a redução dos níveis de inventários, um menor *lead time* e uma melhor qualidade da produção (Liker, 2004). De forma a implementar com sucesso este método no sistema produtivo existe uma série de requisitos que necessitam de ser cumpridos: fluxo contínuo de materiais e informação, proximidade entre o tempo de ciclo e *takt time*, produção puxada (*pull*), sistema “*one-piece-flow*”, elevada fiabilidade das máquinas e equipamentos, *layout* eficaz e operações normalizadas (Sugimori *et al.*, 1977).

Como referido, implementar a produção JIT requer que o sistema de produção seja puxado ao invés de empurrado (*push*). Isto é, na produção empurrada, o primeiro processo é que dita a produção e controla os materiais que são fornecidos aos processos seguinte, enquanto que na produção puxada acontece o oposto. Ou seja, o fluxo de informação ocorre no sentido contrário ao fluxo de materiais e é o posto a jusante a “puxar” as peças necessárias do posto anterior. A adoção do sistema de produção puxado permite que se produza apenas a quantidade necessária, não se acumulando produtos em inventário (Drew *et al.*, 2004). Na Figura 4 encontra-se um exemplo prático em que é possível verificar o funcionamento da produção puxada.

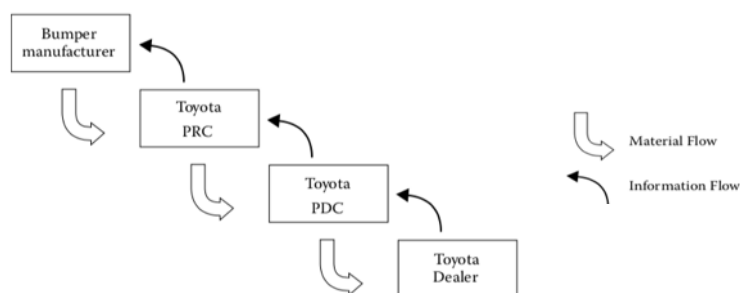


Figura 4 - Exemplo de produção puxada na Toyota (Dennis, 2015)

Outro requisito é a implementação do sistema “*one-piece-flow*”, que consiste em produzir uma peça de cada vez, transportando a mesma diretamente para o posto seguinte. Nesta abordagem, o *stock* intermédio (*Work In Process - WIP*), que é o inventário entre processos, apenas poderá ser de uma peça. Desta forma, não ocorre produção de quantidades excessivas nem existem quantidades abundantes de WIP (Sugimori *et al.*, 1977). Este sistema tem como vantagem a identificação imediata de defeitos e a localização da sua origem (Sundar *et al.*, 2014).

Para além dos referidos, outro requisito a ter em conta é o *takt time* do cliente, de forma a planear a produção segundo este. O mesmo representa o ritmo a que o mercado exige uma unidade do produto, ou seja, de quanto em quanto tempo é necessário produzir uma unidade, de forma a que a produção esteja alinhada com o mercado (Bell, 2006). O *takt time* pode ser calculado através da razão entre o tempo operativo planeado por dia e a procura diária (Equação 1).

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo de produção por dia}}{\text{Procura diária}} \quad (\text{Equação 1})$$

Um conceito que está ligado ao *takt time* é o conceito de tempo de ciclo. Este define o tempo que é necessário para concluir o ciclo de uma operação ou processo, ou seja, o ritmo ao qual a produção consegue fornecer um produto (Dennis, 2015). Numa linha de produção, o tempo da estação mais demorada determina o tempo de ciclo da linha, sendo esse posto o estrangulamento da linha (*bottleneck*). Na Figura 5 está representado um exemplo de um processo de balanceamento de uma linha de produção pelo *takt time*, através da alteração do tempo de ciclo.

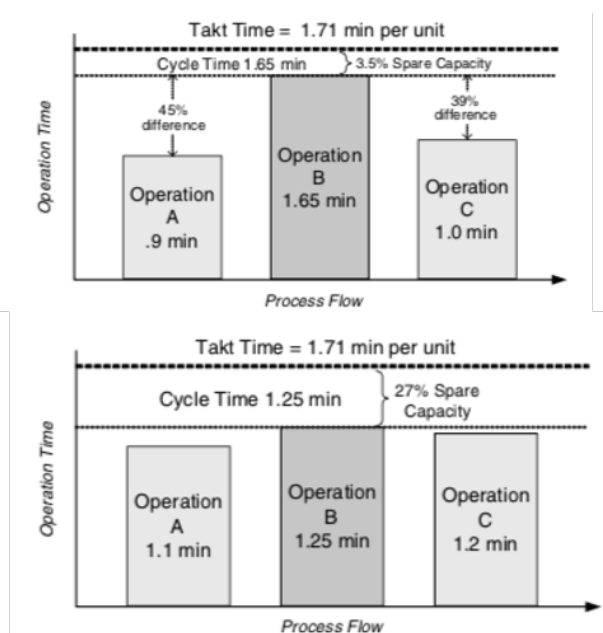


Figura 5 - Balanceamento de uma linha de produção (Bell, 2006)

É essencial que o tempo de ciclo esteja o mais alinhado possível com o *takt time*, de forma a que não haja incumprimentos com a procura do cliente nem desperdícios pela parte da organização (Dennis, 2015). O conteúdo de trabalho deve estar uniformemente distribuído por todos os postos da linha, de forma a que esta se encontre balanceada e se evite tempos de espera entre postos de trabalho.

Jidoka

O segundo pilar do TPS, *Jidoka* ou *Autonomation*, consiste em dotar um equipamento de inteligência humana, de modo que este seja capaz de parar quando encontra uma anomalia (Liker, 2004). Através

da paragem, contem-se o problema detetado, extinguindo-se a possibilidade do seu seguimento no processo, o que poderia resultar num defeito para o cliente (Liker & Morgan, 2006).

Este método tem como vantagem a capacidade de deteção rápida de existência de defeitos no produto, evitando a sua propagação para operações posteriores e permitindo a identificação e eliminação da origem dos defeitos (Sugimori *et al.*, 1977). Adicionalmente, deixa de ser necessário ter um operador com a função de vigiar uma máquina em funcionamento todo o tempo, sendo a sua intervenção apenas necessária aquando a paragem do equipamento. Assim, torna-se possível ter um único operador a vigiar várias máquinas, efetuando-se a mesma produção com um menor número de operadores, aumentando-se consequentemente a eficácia da produção (Monden, 2012).

2.1.2 Princípios *Lean Thinking*

Womack e Jones (2003) aprofundaram o conceito do *Lean*, tendo definido um conjunto de princípios chave que guiam as empresas no caminho da implementação da filosofia. Desta forma, surgiu o *Lean Thinking*, composto pelos conceitos que conduzem à eliminação dos desperdícios e criação de valor nos produtos e processos.

I. Valor

O primeiro princípio consiste na definição de valor do ponto de vista do cliente, ou seja, clarificar o que o cliente está disposto a pagar. Consequentemente, todas as operações que não acrescentem valor ao produto são consideradas desperdício e devem ser eliminadas (Womack & Jones, 2003).

II. Cadeia de valor

Relativamente ao segundo princípio, este consiste na identificação do conjunto de atividades necessárias para a produção de um produto ou serviço, desde o fornecedor até à entrega do produto, tendo sempre em consideração os requisitos do cliente. Num sistema produtivo é possível identificar três tipos de atividades: as que efetivamente acrescentam valor ao produto, as que não acrescentam valor ao produto, mas são necessárias à produção, e as que não acrescentam qualquer valor e, por essa razão, devem ser eliminadas (Womack & Jones, 2003).

III. Fluxo contínuo

Posteriormente à definição de valor e à identificação das atividades que agregam valor, o passo seguinte passa por produzir num fluxo contínuo. Para tal, não devem existir estrangulamentos que impliquem

paragens ou redução de atividades em determinados pontos da cadeia. Ao garantir estas condições é possível reduzir o WIP e, conseqüentemente, reduzir o *lead time*.

IV. Produção *Pull*

O quarto princípio passa por implementar um sistema de produção puxada, ou seja, é o cliente que puxa a produção, sendo os produtos produzidos apenas quando este necessita (Womack & Jones, 2003).

V. Busca pela perfeição

O último princípio passa pela constante procura pela perfeição, ou seja, continuar em constante progresso após a implementação dos princípios anteriores, tendo em mente o propósito de eliminar desperdícios e agregar valor. Perfeição consiste em produzir exatamente o que o cliente pediu, no prazo estabelecido, ao preço acordado e com o mínimo de desperdício possível (Womack & Jones, 2003).

2.1.3 Conceito de desperdício

A eliminação dos desperdícios é um dos elementos centrais da filosofia *Lean*, sendo essencial tornar esta atividade um ponto obrigatório na implementação de um sistema *Lean*. Na literatura, desperdício é definido como toda a atividade que não acrescenta valor para o cliente final, podendo, por vezes, ser uma parte necessária do processo, adicionando valor à empresa e, conseqüentemente, não poder ser eliminada do processo (Melton, 2005). Devido ao facto de os desperdícios ocorrerem ao longo de todo o processo produtivo, deve-se conhecer com rigor todos os processos e estabelecer quais as atividades que acrescentam valor ou não ao produto. Constatou-se num estudo que, num processo típico industrial, 95% do tempo total pode representar desperdício. Na vertente tradicional, as empresas orientam os seus esforços de aumento de produtividade para a componente que acrescenta valor (5%), ignorando a componente das atividades que não acrescentam valor. Esta é uma estratégia errada, pois as empresas estão a ignorar o ganho que poderia ser obtido se os esforços fossem direcionados para as atividades que representam desperdícios (Pinto, 2008). Como referido no subcapítulo 2.1.2, existem três tipos de atividades numa organização: as atividades que acrescentam valor são aquelas tornam o produto mais valioso na perspetiva do cliente (5%); as atividades que apesar de não acrescentarem valor ao produto são necessárias para o processo (35%), exigindo um elevado esforço para a sua remoção; e as atividades que não acrescentam valor ao produto final, na perspetiva do cliente, e como tal devem ser removidas do processo (60%; Hines & Taylor, 2000; Melton, 2005). Na Figura 6 está representada a relação entre os três tipos de atividades descritos.

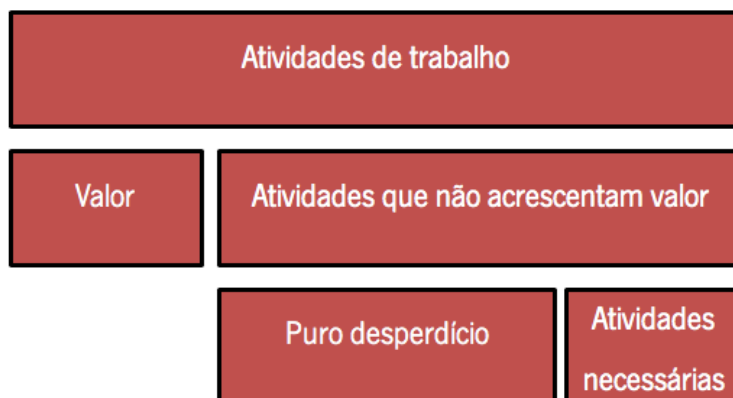


Figura 6 - Tipos de atividades numa organização (Adaptado de Pinto, 2008)

Os desperdícios são considerados os principais inimigos da filosofia *Lean* e são representados pelos 3M's: *Muda*, *Mura* e *Muri*, sendo traduzidos para desperdício, distribuição desigual e sobrecarga (Liker, 2004). *Muda* significa desperdício, consistindo em toda a atividade humana que consome recursos, mas não acrescenta valor, pelo que deve ser reduzida ou eliminada. Por outras palavras, representa todos os componentes do produto e/ou serviço pelos quais o cliente não está disposto a pagar (Pinto, 2014). *Mura* representa a variabilidade, referindo-se às anomalias e às instabilidades na produção do produto e/ou serviço. Para eliminar este tipo de desperdício é necessário a adotar um sistema JIT, produzindo apenas o necessário quando pedido (Pinto, 2014). *Muri* significa sobrecarga, traduzindo-se na utilização de uma pessoa ou máquina a um nível superior dos seus limites. De forma a eliminar este desperdício é necessário uniformizar o trabalho, tornando os processos mais previsíveis, estáveis e controláveis (Liker, 2004; Pinto, 2014).

Ohno (1988) identificou os sete principais tipos de desperdícios (*Muda*) num sistema de produção:

- **Defeitos:** Traduz-se na produção de produtos fora das especificações pelo cliente. Normalmente devem-se à falta de processos normalizados, a falhas nos sistemas de controlo da qualidade ou a erros humanos, o que provocará um efeito negativo na produtividade e nos custos de produção (Lacerda *et al.*, 2016). Os produtos não conformes podem ter dois destinos distintos: serem enviados para refugo, devido ao facto de não existir forma de poderem ser aproveitados, ou serem retrabalhados, passando por um processo que permite a recuperação do produto, não acrescentado valor ao mesmo (Melton, 2005).
- **Esperas:** Diz respeito aos períodos de tempos improdutivos que as pessoas, máquinas, materiais ou informação estão parados à espera de executar a sua função (Dennis, 2015). O motivo da paragem pode ser falta de material, balanceamento inadequado das linhas, elevados lotes de

produção, elevados tempos de *setup*, avaria de equipamentos, entre outros, levando ao aumento do *lead time* e à deficiência do fluxo produtivo (Monden, 2012; Ohno, 1988).

- **Sobreprocessamento ou Processamento incorreto:** Consiste em realizar mais operações do que aquelas exigidas pelo cliente a nível de qualidade do produto e das suas características (El-Namrouty & Abushaaban, 2013). Para além desta situação, em que são realizadas mais atividades do que as planeadas, este defeito também pode ocorrer quando na produção são utilizadas ferramentas inadequadas e procedimentos ou sistemas incorretos (Hines & Taylor, 2000). Estes desperdícios ocorrem muitas vezes devido à falta de formação dos colaboradores e uniformização dos processos, o que resulta no aumento do número de defeitos (Hines & Taylor, 2000; Lacerda *et al.*, 2016).
- **Sobreprodução:** Traduz-se na produção de quantidades superiores às requeridas pelos clientes, à produção antecipada ou produzir a uma cadência superior à necessária (Liker, 2004). Este desperdício é considerado o pior de todos, uma vez que pode levar ao surgimento dos restantes tipos de desperdícios (Ohno, 1988).
- **Movimentações:** Consiste em todas as atividades do operador nas quais este se movimenta desnecessariamente, não adicionando valor ao produto final e, por essa razão, o cliente não está disposto a pagar por elas. As causas normalmente associadas são a má elaboração do *layout* fabril, a desarrumação dos postos de trabalho ou a inexistência de processos normalizados (Melton, 2005).
- **Inventário:** Diz respeito ao excesso de matéria-prima, WIP ou produto acabado. Este excesso causa *lead times* mais longos, obsolescência, danificação de materiais e maiores custos de transporte e de armazenamento (Liker, 2004). Este defeito esconde desequilíbrios nos sistemas produtivos das empresas, contribuindo para a diminuição da competitividade das mesmas e para a redução do fluxo de valor (Hines & Rich, 1997).
- **Transporte:** Trata-se da movimentação ou transferência de matéria-prima, WIP ou produtos acabados no chão de fábrica (Liker, 2004). O transporte é muitas vezes uma atividade necessária à produção, no entanto, não acrescenta valor ao produto, pelo que na impossibilidade de ser eliminada, deve ser minimizada o máximo possível (Hines & Rich, 1997).

Liker (2004) identificou ainda um oitavo desperdício que consiste no **não aproveitamento do potencial humano**. Ou seja, trata-se das ideias, propostas de melhoria, capacidades e aprendizagens que são

perdidas ao não envolver e ouvir os colaboradores. A utilização das propostas dos colaboradores torna-os mais motivados e, conseqüentemente, o ambiente torna-se mais propício para trabalhar.

2.2 Ferramentas e metodologias *Lean*

Tendo como foco maximizar o valor através da redução dos desperdícios e da melhoria contínua, a filosofia *Lean Production* recorre a um conjunto de ferramentas e metodologias que permitem as organizações simplificar e otimizar as suas operações e processos produtivos, assim como eliminar os desperdícios do sistema (Alves & Alves, 2015; Belekoukias, Garza-Reyes & Kumar, 2014).

Desta forma, nesta secção são descritas algumas ferramentas e metodologias da filosofia *Lean Production*, sendo apenas apresentadas as mais pertinentes para a realização desta dissertação.

2.2.1 *Standard Work*

O *standard work*, ou trabalho normalizado, é um dos pilares do TPS e é considerado uma ferramenta básica para a melhoria contínua, consistindo no método mais seguro e eficaz de efetuar uma operação no menor tempo repetitivo possível, através da utilização eficaz de recursos como pessoas, máquinas e materiais (Sundar *et al.*, 2014). É caracterizado por ser uma ferramenta que permite tornar os processos mais estáveis e consistentes através da documentação simples e de fácil consulta das melhores práticas (Ohno, 1988). Assim, de forma a normalizar um processo, deve-se criar uma sequência de operações e de utilização de ferramentas que devem ser seguidas criteriosamente, de modo que, independentemente da pessoa que opera, a tarefa seja realizada do mesmo modo e no mesmo tempo (Pinto, 2008).

A redução da variabilidade dos processos, dos tempos de ciclo, dos *lead times* e dos custos e o aumento da qualidade dos produtos através da consistência nos processamentos são alguns dos benefícios da implementação do trabalho normalizado (Pinto, 2014).

Segundo Monden (2012), a documentação do trabalho normalizado engloba três elementos fundamentais:

- **Tempo de ciclo normalizado:** O tempo normalizado de produção de um produto desde o início do processo até ao final deve corresponder à procura do cliente, ou seja, o tempo de ciclo deve estar alinhado com o *takt time* para que o sistema produtivo consiga satisfazer as necessidades do cliente. É crucial a normalização do TC, de forma a não ocorrerem nem esperas nos processos a jusante nem desperdícios por sobreprodução e excesso de inventário.

- **Sequência de processos normalizada:** Corresponde ao conjunto de operações de um processo que, quando efetuadas numa sequência normalizada, equivalem à melhor maneira, mais rápida e segura de produzir determinado produto, evitando grandes flutuações no tempo de ciclo normalizado provocadas pela aleatoriedade na sequência da execução de tarefas;
- **WIP normalizado:** Consiste na mínima quantidade necessária de inventário intermédio entre os diferentes postos de trabalho que garante o funcionamento da produção sem paragens e com um fluxo contínuo.

Existem vários documentos que podem ser utilizados aquando a implementação desta ferramenta, sendo abaixo descritos aqueles que apresentam maior relevância para o projeto em estudo.

Standard Work Combination Table (SWCT)

Baseada na observação dos tempos, a SWCT é utilizada para descrever as tarefas que combinam o tempo de trabalho manual, o tempo de deslocação do operador e o tempo de processamento da máquina num determinado posto de trabalho, utilizando o *takt time* como referência para a observação do tempo (Mariz, Picchi, Granja & Melo, 2012; Surekha, Gowda & Kulkarni, 2013). Para além de permitir distinguir visualmente o trabalho do operador do trabalho da máquina, a SWCT ainda expõe problemas relacionados com a combinação destes dois elementos, identifica os tempos de espera e de sobrecarga e verifica se os processos estão a ser bem executados (Lean Enterprise Institute, 2012; Lu & Yang, 2015). Na Figura 7 pode-se analisar um exemplo do documento descrito.

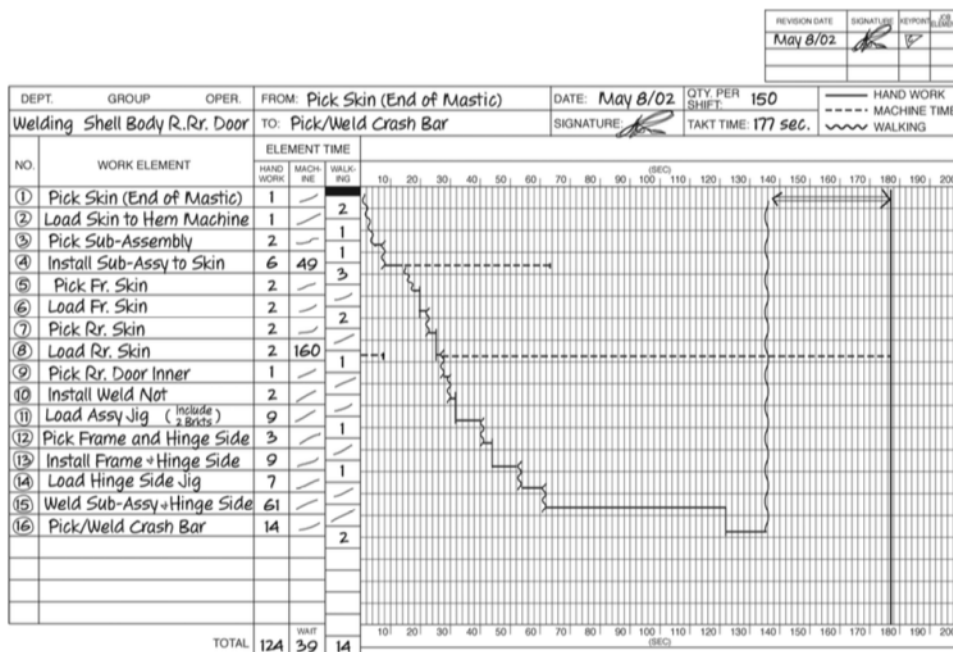


Figura 7 - Exemplo de uma SWCT (Dennis, 2015)

Instruções de Trabalho (IT)

São documentos essenciais para a normalização do trabalho, onde se descrevem todos os passos necessários para a execução de um processo, assim como a ordem pela qual devem ser executados. Estes documentos são caracterizados por incluir imagens de forma a tornar os passos do processo mais perceptíveis, assim como notas de atenção para pontos críticos e registos de revisão (Dennis, 2015). A adoção desta ferramenta tem efeitos positivos tanto para a empresa como para o ambiente de trabalho dos operadores, dado que permite que estes esclareçam as suas dúvidas relativas aos processos, servindo simultaneamente de suporte para a aprendizagem de novos colaboradores (Mariz *et al.*, 2012). Um exemplo de uma instrução de trabalho encontra-se representado na Figura 8.

Model:		Date Created:	
Element:	Horn Install	T Y P E	<input type="checkbox"/> Critical <input type="checkbox"/> Option <input type="checkbox"/> Functional <input type="checkbox"/> Appearance
Procedure (How to Do)	Key Point/Reason Why	Ergo.	Created By:
1 Pick horn and gun. 2 Align bolt through horn bracket (as per diagram ①). 3 Align bolt into rad support (as per diagram ②) and tighten.	<ul style="list-style-type: none"> • Keep 20-25 bolts in tool punch. • First hole from right fender. • Torque target 12 Nm (minimum 10 Nm maximum 15 Nm) • Loose or cross thread condition not allowed (see diagram ③) 		
Revisions		Burden	
Initials		Time	
Safety Key Points			
I wear your PPE - cotton gloves, safety glasses, safety shoes			

Figura 8 - Exemplo de uma IT (Dennis, 2015)

2.2.2 Metodologia 5S

A metodologia dos 5S consiste num conjunto de práticas simples que objetivam a redução dos desperdícios e a otimização do desempenho das pessoas, recursos e processos através da manutenção das condições ótimas nos locais de trabalho, que se devem encontrar ordenados, arrumados, organizados e livres de qualquer fonte de desperdício (Pinto, 2014). A existência de uma área de trabalho limpa e organizada é essencial para a adoção de procedimentos de trabalho normalizados, sendo estes necessários para o controlo do espaço de trabalho. Para além de exigirem mudanças no local de trabalho, os 5S promovem uma mudança a nível cultural – deve-se passar da atitude de “trabalho num local desorganizado e sujo” para “trabalho num local bem organizado, onde toda a gente sabe onde está tudo,

nada está fora do lugar e não falta nenhum material” (Bicheno & Holweg, 2009). Na Figura 9 estão representadas as várias etapas da metodologia.



Figura 9 - Etapas da metodologia 5S (Liker, 2004)

Com origem japonesa, a designação 5S tem por base cinco palavras que constituem as etapas da metodologia que orienta a evolução contínua e a manutenção desta (Liker, 2004; Pinto, 2008):

- **Seiri** (Organização): Consiste em identificar tudo aquilo que não é necessário para a atividade do que é utilizado para agregar valor, e eliminar o que é desnecessário da área de trabalho;
- **Seiton** (Arrumação): “Um lugar para tudo e tudo no seu lugar”, ou seja, cada coisa tem o seu lugar e como tal deve estar colocada e identificada no mesmo, de forma a ser encontrada facilmente e estar acessível quando for necessária;
- **Seiso** (Limpeza): Efetuar uma revisão regular do inventário e uma limpeza geral da área de trabalho, uma vez que o processo de limpeza geralmente atua como uma forma de inspeção que expõe condições anormais que possam prejudicar a qualidade ou causar falhas nas máquinas.
- **Seiketsu** (Normalização): Desenvolver e definir sistemas e procedimentos para a manutenção e monitorização dos primeiros 3S.
- **Shitsuke** (Disciplina): Manter o local de trabalho estabilizado é um processo de melhoria contínua, devendo o sentido de responsabilidade para cumprir as normas pré-estabelecidas estar presente entre todos os colaboradores. Como tal, deve-se efetuar auditorias regulares ao desempenho, aos processos e ao cumprimento dos compromissos de melhoria contínua.

2.2.3 Gestão Visual

A gestão visual trata-se de uma ferramenta *Lean* que é aplicada nos locais de trabalho através de dispositivos visuais ou sinais sonoros com o objetivo de informar, delimitar ou sinalizar, de forma intuitiva,

rápida e de fácil interpretação, vários aspetos do espaço produtivo (Shingo, 2005). Ou seja, com a adoção dos sinais visuais ou sonoros é possível informar as pessoas do que fazer, quando fazer, os problemas que estão a ocorrer ou quem necessita de ajuda (Pinto, 2008). Adicionalmente, a ferramenta também pode ser utilizada para identificar materiais ou limitar o espaço fabril. Através da implementação correta de um sistema de gestão visual é possível notar efeitos positivos na organização como o aumento da qualidade de comunicação e da produtividade, redução do número de defeitos e dos custos, assim como um melhor controlo do sistema produtivo por parte dos operadores (Liker, 2004).

Alguns exemplos dos mecanismos utilizados na gestão visual são as marcações no chão, os sinais luminosos, os sinais sonoros, os quadros de *Key Performance Indicators*, as etiquetas identificadoras, os sistemas *Andon*, entre outros (Pinto, 2008). Na Figura 10 estão representados alguns exemplos de aplicação de gestão visual no chão de fábrica de uma indústria.



Figura 10 - Exemplos de aplicação de gestão visual (Pinto, 2008)

2.2.4 Mecanismos *Poka Yoke*

Poka Yoke é um termo japonês para sistema “à prova de erros” e representa um mecanismo, desenvolvido por Shiego Shingo, que pode ser aplicado a processos de todo o tipo de organizações. A adoção de dispositivos *error-proofing* está intimamente ligada a um dos principais pilares da casa TPS descritos anteriormente, o *Jidoka*. A sua utilização garante que os produtos que não cumpram com os requisitos exigidos não transitem dos postos de trabalho ou equipamentos em que estão a ser produzidos, evitando assim que propaguem defeitos pelo sistema (Pinto, 2014). De acordo com Shingo (2005), os sistemas de deteção de erros podem ser classificados de duas formas quanto à sua função:

- **Controlo:** Quando detetada alguma anomalia, o processo é interrompido até que o problema seja corrigido, com o objetivo de impedir a produção de peças com defeitos e que estas prossigam no fluxo produtivo;

- **Advertência:** Este tipo de sistemas ativa sinais luminosos e sonoros de forma a alertar o operador para alguma anormalidade que ocorreu, no entanto, não interrompe a produção como o tipo de sistemas anterior. Este tipo de sistemas permite, caso o colaborador não se aperceba do sinal, que o produto continue o seu fluxo normal, seguindo peças com defeitos para postos posteriores.

Os dispositivos *poka yoke* podem ser de três tipos de acordo com as técnicas que utilizam (Shingo, 2005):

- **Contacto** (“*Contact Method*”): Identificam os defeitos através do contacto, ou da sua ausência, entre o dispositivo e o produto ou através da forma ou dimensão do produto;
- **Conjunto** (“*Fixed-value Method*”): Inspeccionam se um dado número de movimentos, previamente definido, é realizado em determinada operação;
- **Etapas** (“*Motion-step Method*”): Determina se a sequência das operações é executada corretamente.

2.3 Produção em célula

A produção em célula é uma das abordagens do *Lean Production* que ajuda as empresas a produzir uma vasta variedade de produtos para os seus clientes com o mínimo de desperdício possível. Neste modelo de produção, os recursos, desde equipamentos a postos de trabalhos e ferramentas, estão sequenciados numa forma que suporta o fluxo contínuo dos materiais e componentes ao longo do processo, com o mínimo de transportes e atrasos (The Productivity Development Team, 1999). Assim, a célula de produção consiste no agrupamento dos operadores, equipamentos e postos de trabalhos necessários para o processamento de um produto ou família de produtos, com os equipamentos dispostos na sequência do processamento (Bittencourt, Alves & Arezes, 2011; The Productivity Development Team, 1999). A utilização deste modelo de produção contribui para que as empresas que adotam a filosofia *Lean* alcancem dois objetivos importantes: o “*one-piece-flow*” e a produção de alta variedade (The Productivity Development Team, 1999).

Através da disposição dos recursos segundo a sequência das etapas do processamento e do *layout* geralmente apresentado em forma curva como U ou C, é possível diminuir os movimentos e os transportes desnecessários, promovendo um fluxo contínuo. Adicionalmente, o *layout* em forma de U ou C aproxima o ponto final do processo do ponto inicial, diminuindo o deslocamento do operador para iniciar o próximo ciclo (The Productivity Development Team, 1999).

A adoção de produção em célula permite a visualização por parte de todos os membros que integram a mesma de como a matéria-prima entra na célula e de como é processada. Este modelo de produção altera também o relacionamento entre os operadores e as máquinas, pois organizar os equipamentos segundo o fluxo do processo significa que os operadores podem precisar de aprender a trabalhar com diferentes tipos de equipamentos para dar suporte ao processo (The Productivity Development Team, 1999). Como as células utilizam muitas vezes equipamentos a operar em ciclos automáticos, seria um desperdício utilizar o tempo, a inteligência e a habilidade do operador apenas em observar. Desta forma, os desperdícios podem ser evitados através da formação dos operadores para que estes possam operar várias máquinas diferentes do processo. Através da formação cruzada, os operadores têm maior flexibilidade de desempenharem diferentes funções e de alterarem o método de como trabalham juntos na célula, podendo também as equipas assumir total responsabilidade pelos seus processos. Um dos requisitos para executar vários equipamentos em sequência é que o operador trabalhe em pé, o que tem como benefício a maior rapidez na resposta a eventuais problemas nos equipamentos (The Productivity Development Team, 1999).

No que diz respeito a requisitos necessários das células para que estas sejam eficientes pode-se referir que, normalmente, utilizam-se máquinas menores e mais lentas que os equipamentos utilizados para a produção de grandes lotes, uma vez que máquinas mais pequenas ocupam menos espaço e as máquinas com processamento mais lento são usadas para produzir uma peça de cada vez, à velocidade determinada pelo *takt time*. De referir também, que os equipamentos são colocados juntos, reduzindo assim as distâncias percorridas e não deixando espaço para acumulação de excesso de WIP. As máquinas nas células de produção necessitam de ser flexíveis, ou seja, fáceis de configurar rapidamente, para que possam ser usadas para um maior número de produtos (The Productivity Development Team, 1999).

2.4 Ergonomia

A ergonomia é um dos temas cada vez mais presentes nas diversas empresas do mundo industrial, tendo bastante influência aquando a implementação de linhas de produção. É possível estruturar os postos de trabalho de uma linha de produção de forma a maximizar o desempenho e minimizar os custos, tendo em conta não só a produtividade como a ergonomia (Battini, Faccio, Persona & Sgarbossa, 2011).

2.4.1 Conceito de ergonomia

Ergonomia pode ser definida como a aplicação das ciências biológicas em conjunto com as ciências da engenharia, de forma a conseguir o ajustamento correto entre o ser humano e o seu trabalho e assegurar, simultaneamente, a eficiência e o bem-estar (Organização Internacional do Trabalho, 2002), sendo fundamental identificar os riscos para a saúde do colaborador de forma a controlá-los, eliminá-los e/ou reduzi-los (Castillo & Villena, 2005).

Quanto ao momento de intervenção, podemos classificar a ergonomia como ergonomia de conceção ou de correção. Ou seja, podemos ter uma ergonomia reativa, que ocorre quando a ação é efetuada para corrigir algo que já existe e apresenta problemas, ou uma ergonomia pró-ativa, que ocorre quando a ação é levada a cabo no momento inicial da conceção de um novo produto ou máquina (Silva, 2008).

A adoção de elementos ergonómicos na fase de implementação de linhas de produção tem um impacto bastante positivo, uma vez que quando estas apresentam um nível ergonómico baixo podem levar ao aumento do absentismo devido a problemas músculo-esqueléticos (Battini *et al.*, 2011). As lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT) são frequentes em contexto industrial, particularmente, as lesões a nível dos membros superiores. Isto acontece quando é comum na empresa ocorrerem exigências ou solicitações que exponham os operadores a fatores de risco como posturas extremas, repetitividade, aplicações de força com a mão ou dedos e exposição a vibrações (Serranheira & Uva, 2010). No entanto, a presença de fatores de risco não determina por si só o risco de desenvolvimento destas lesões, pelo que a “dose de exposição” é determinante e envolve variáveis como a intensidade, a duração e/ou a frequência, que estão diretamente relacionadas com o tempo de recuperação (Serranheira, Uva & Lopes, 2008). A relação entre o trabalho e o aparecimento de LMERT tem sido alvo de estudo ao longo dos anos e foram encontrados alguns fatores de risco para o seu desenvolvimento. Estes têm origem multifatorial e podem ser subdivididos em três grupos diferentes: físicos, individuais e organizacionais/psicossociais, podendo quaisquer destes grupos atuar em conjunto ou separadamente (Occupational Safety and Health Administration, 2007).

2.4.2 Ferramentas de avaliação ergonómica

A força laboral desempenha um papel fulcral nas empresas e, por essa razão, deve-se providenciar à mesma todas as condições ótimas para realizar o seu trabalho, assim como para a manter motivada e satisfeita, pelo que a adoção de ferramentas de avaliação ergonómica aquando a implementação de uma nova linha é fundamental, de forma a diminuir o máximo possível o esforço humano e o risco. Uma

análise ergonómica aos postos de trabalho deve ser composta pela descrição e análise dos fatores de risco presentes no local de trabalho, podendo-se utilizar metodologias que têm como objetivo quantificar o risco de lesões associadas à falta de cuidado com aspetos ergonómicos. A indústria automóvel é constituída por inúmeros postos de trabalho, sendo estes de diferentes tipologias, pelo que existe uma série de procedimentos que podem ser adotados pela organização, de forma a avaliar a exposição a fatores de risco, tais como (Serranheira & Uva, 2010):

- Questionários aplicados aos operadores que permitem evidenciar sintomas e a sua relação com a profissão exercida;
- Listas de verificação para a identificação da presença de fatores de risco;
- Métodos observacionais aplicados no local de trabalho ou aplicados em registos de vídeo;
- Sistemas instrumentais com utilização sincronizada de registos de vídeo, eletromiografia, eletrogoniometria, pressurometria, etc.

A ferramenta adotada deve ser selecionada consoante as características da atividade, podendo algumas ferramentas ser mais adequadas do que outras para as diferentes tarefas. Os modelos de análise ergonómica são realizados em contexto ocupacional, normalmente, envolvendo unicamente os profissionais e o seu meio envolvente (Staton, Hedge, Brookhuis, Salas & Hendrick, 2005).

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Este método, desenvolvido por McAtamney e Corlett em 1993, é um método observacional que permite identificar o esforço associado à postura de trabalho adotada na realização de tarefas estáticas ou repetitivas e que podem contribuir para o desenvolvimento de LMERT nos membros superiores, permitindo também definir prioridades de intervenção (Serranheira, 2007; Serranheira & Uva, 2010). Na aplicação deste método, de maneira a garantir a sua eficácia, é fundamental que a avaliação seja efetuada após a observação da atividade durante vários ciclos de trabalho. Isto é importante para que seja possível perceber a postura mantida durante mais tempo ao longo do ciclo, a postura que é adotada quando ocorre a maior força e a postura mais exigente que é assumida (Serranheira & Uva, 2010).

A aplicação do método consiste na avaliação de três grupos distintos: postura dos segmentos corporais, atividade muscular e força ou carga aplicada. Para a avaliação das posturas, o corpo humano é dividido em dois grupos: Grupo A, que inclui o braço, o antebraço e o pulso, e o Grupo B, que inclui a coluna cervical, o tronco e os membros inferiores. O método apenas pode avaliar um lado corporal (unilateral – direito ou esquerdo) em cada aplicação, pelo que quando for necessário avaliar ambos, devem ser

efetuadas várias avaliações. Cada segmento corporal é classificado através de diagramas posturais que contém o segmento a estudar, os critérios de avaliação e as pontuações a atribuir. No Anexo I – Folha de cálculo do método RULA encontra-se um exemplo de uma folha de cálculo utilizada para a classificação das posturas corporais (Middlesworth, 2020). Posteriormente à classificação dos segmentos corporais, atribui-se um valor ao grupo A e B, que é obtido através da relação entre os valores de cada segmento corporal de cada grupo. Estes valores são depois avaliados tendo em conta a atividade muscular e a força ou carga aplicada, obtendo-se assim uma pontuação final para cada grupo. Através de uma tabela, estas pontuações são relacionadas, obtendo-se um dos valores finais da avaliação RULA apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Significado dos resultados da avaliação RULA (Adaptado de Serranheira & Uva, 2010)

Pontuação RULA	Nível de intervenção	Ações a desenvolver
1-2	1	Postura aceitável se não for repetida durante longos períodos (Área verde)
3-4	2	Investigar, possibilidade de requerer mudanças (Área amarela)
5-6	3	Investigar, realizar mudanças rapidamente (Área laranja)
7	4	Mudanças imediatas (Área vermelha)

O valor final varia entre 1 e 7, sendo que os valores mais altos indicam um risco mais elevado de aparecimentos de LMERT. As pontuações finais indicam, também, os níveis de intervenção necessários, sugerindo as ações a adotar. São apresentadas como limitações para este método, a fraca sensibilidade para o cotovelo e punho e a inexistência do registo da posição do polegar e dos dedos (Serranheira & Uva, 2006).

2.5 Antropometria

A antropometria assume um papel importante durante a projeção de novos postos de trabalhos, pois só após a avaliação das dimensões físicas dos operadores é possível projetar um equipamento que se adapte corretamente às características dos seus utilizadores, tendo como benefício a diminuição da probabilidade de lesões ou acidentes (Iida, 2005).

Antropometria pode ser definida como o estudo das características físicas do ser humano, tendo em consideração os aspetos relacionados com as dimensões corporais como estatura, peso, altura, largura,

distâncias, alcances, espessuras e comprimentos (Arezes, Miguel, Gomes da Costa, Barroso & Cordeiro, 2005).

Relativamente ao tipo de movimentos efetuados, pode-se classificar a antropometria como estática ou dinâmica. Assim, a antropometria estática diz respeito às dimensões onde o operador se encontra parado ou efetua poucos movimentos. No caso dos postos de trabalho em que há movimento deve-se recorrer à antropometria dinâmica, dado que esta tem em consideração o alcance dos movimentos (Kroemer & Grandjean, 2009).

2.5.1 Princípios antropométricos

As medidas antropométricas são caracterizadas pela elevada variabilidade que possuem entre humanos, pelo que é essencial compreender os princípios que baseiam a correta utilização dos dados antropométricos. Existem quatro princípios que se devem considerar na aplicação dos dados antropométricos (Iida, 2005):

1. **Projetos para indivíduos médios:** A definição de homem médio comumente utilizada não é adequada à realidade da sociedade, pois são poucas as pessoas que, no âmbito da antropometria humana, podem ser classificadas como padrão em todo e qualquer aspeto. Este princípio indica que um equipamento projetado para o indivíduo médio não é ótimo para todas as pessoas, no entanto, no coletivo causaria menos inconveniências do que um equipamento projetado para os extremos (Iida, 2005).
2. **Projetos para indivíduos extremos:** Ocasionalmente ocorre a necessidade de projetar equipamentos para indivíduos extremos, uma vez que a sua projeção para os indivíduos médios não seria satisfatória. Nestes casos, o ideal seria conhecer as dimensões dos utilizadores para ajustar as medidas dos equipamentos às dimensões dos utilizadores. No caso disto não ser possível, considera-se o percentil 95º, garantindo assim que o equipamento se adequa a quase todos os utilizadores.
3. **Projetos para faixas da população:** No caso destes projetos, os equipamentos são desenvolvidos para abranger a maior quantidade possível de utilizadores entre 5% a 95% da população. Desta forma, grande parte dos utilizadores pode usar os produtos, diferenciando apenas no nível de conforto aquando a utilização.
4. **Projeto para o indivíduo:** Este princípio aplica-se para quando o produto ou equipamento é desenvolvido exclusivamente para determinada pessoa com dimensões específicas (Iida, 2005).

2.5.2 Dimensões antropométricas mínimas e máximas

Aquando o dimensionamento de um posto de trabalho deve-se ter em consideração o espaço de trabalho necessário para que o operador possa realizar os movimentos necessários à sua atividade sem restrições de espaço. Desta forma, utilizam-se as dimensões antropométricas mínimas e máximas (Iida, 2005).

Para estabelecer a dimensão mínima utiliza-se o valor do percentil 95º masculino, devido às medidas antropométricas dos homens serem maiores do que as das mulheres (Iida, 2005). Deve ainda ser considerada uma margem para acomodar vestuário, equipamentos de segurança ou outros objetos (Silva, 2008).

Para a dimensão máxima considera-se o percentil 5º feminino, garantindo assim que os equipamentos ficam acessíveis tanto para as mulheres como para os homens. Desta forma, se o equipamento for acessível para as pessoas mais baixas, é garantido que todas as outras não terão problemas na utilização do mesmo (Silva, 2008).

2.5.3 Dados antropométricos

São várias as tabelas antropométricas disponíveis para utilização, sendo compostas pelas médias, desvio padrão e percentil 5º, 50º e 95º para o sexo masculino e feminino de cada proporção corporal da população em estudo. Para além disso, os dados antropométricos podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos.

Dados estáticos

Os dados antropométricos estáticos são importantes nos casos em que os movimentos corporais exigidos são mínimos ou para efetuar uma primeira abordagem no dimensionamento do local de trabalho (Iida, 2005). Em 2006 foi desenvolvido um estudo intitulado “Estudo Antropométrico da População Portuguesa”, com o intuito de criar uma base de dados que fosse representativa da realidade da população portuguesa (Arezes *et al.*, 2005). Na Figura 11, encontram-se as dimensões corporais consideradas no estudo e as dimensões antropométricas estudadas.

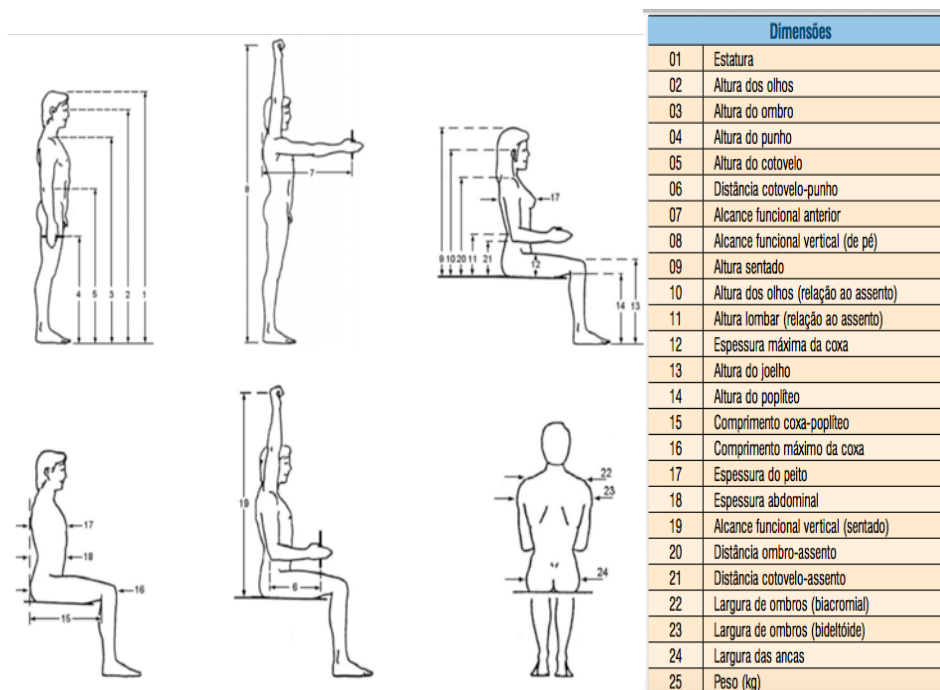


Figura 11 - Dimensões corporais e antropométricas estudadas para a População Portuguesa (Adaptado de Arezes et al., 2005)

No Anexo II – Dados antropométricos da população portuguesa encontram-se os valores das dimensões antropométricas estáticas da população portuguesa feminina e masculina, apresentando a média, o desvio padrão e os principais percentis (5°, 50° e 95°). Os dados representam as dimensões dos vários segmentos corporais do corpo humano quando medidos numa posição normalizada. A projeção dos postos de trabalho efetuada neste projeto teve como base as medidas apresentadas na tabela em anexo, sempre que possível.

Dados dinâmicos

Como referido anteriormente, a antropometria estática é utilizada na primeira abordagem para o dimensionamento de postos de trabalho, tendo em conta pequenos movimentos. Contudo, é necessário, por vezes, considerar a antropometria dinâmica para que se efetue um dimensionamento correto, pois na maioria das vezes as pessoas nunca estão completamente paradas nos seus postos de trabalho, estando a manipular, operar ou transportar algum objeto. Quando um posto de trabalho é projetado tendo em consideração apenas os dados da antropometria estática, posteriormente será necessário efetuar ajustes para acomodar os principais movimentos corporais (Iida, 2005). De forma a registar esses movimentos utiliza-se um sistema de planos triortogonais, apresentado na Figura 12.

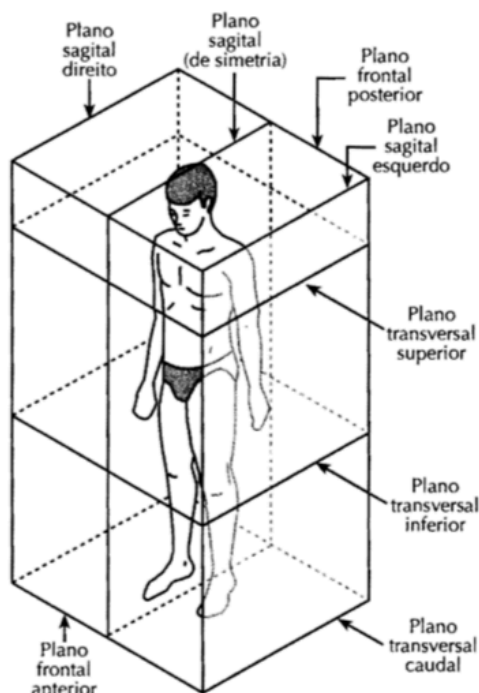


Figura 13 - Definição dos planos para registo dos movimentos corporais (Iida, 2005)

A utilização do registo dos movimentos é útil, pois permite delimitar o espaço onde deverão ser colocados os objetos ou peças de montagem (Silva, 2008). Na Figura 13 é possível verificar os alcances preferenciais e máximos da mão, sendo que estes dependem da distância e da postura adotada pelo indivíduo quando se encontra de pé.

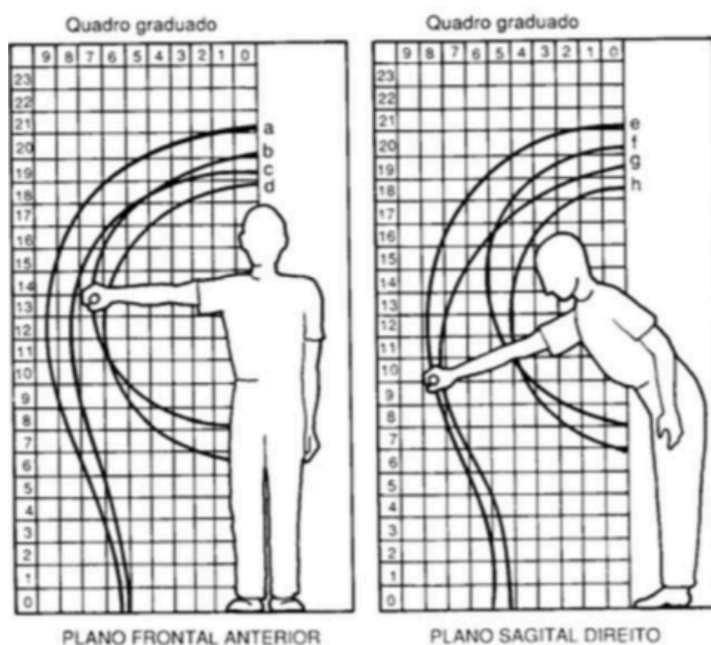


Figura 12 - Alcances ótimos dependendo da postura (Iida, 2005)

Na antropometria dinâmica é ainda necessário ter em conta os movimentos de rotação que o corpo humano é capaz de produzir voluntariamente. Estes movimentos são caracterizados consoante a sua forma. Assim, os movimentos em que os membros tendem a afastar-se do corpo ou das suas posições

normais, são denominados de movimentos de abdução, sendo o contrário denominado adução. Quando um braço é elevado acima da horizontal, o movimento é denominado de elevação. O movimento do braço para a frente designa-se de flexão e o inverso, onde se traz o braço de volta para perto do tronco designa-se de extensão. No movimento de rotação da mão, quando o polegar gira para dentro do corpo chama-se pronação e quando gira para fora chama-se supinação (Iida, 2005). Na Figura 14 podem-se verificar os valores médios de rotações voluntárias que podem ser executadas pela cabeça, braços, antebraço, pernas e mão.

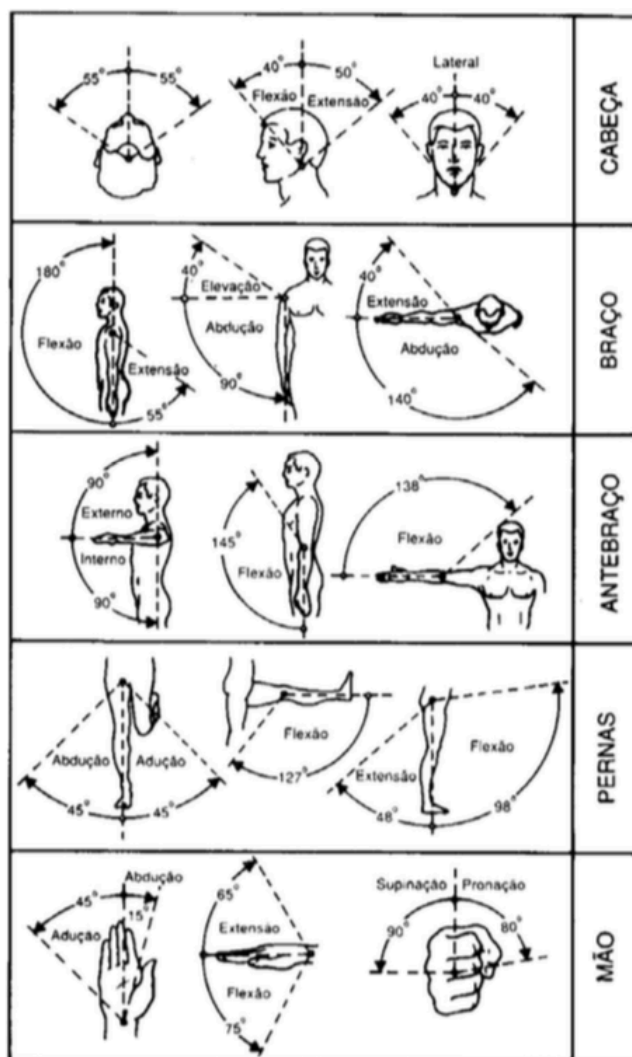


Figura 14 - Valores médios de rotação voluntária do corpo (Iida, 2005)

2.6 Dimensionamento do espaço de trabalho

O posto de trabalho é o local onde ocorre a ligação entre os vários meios de produção, sendo por isso importante que este seja o mais cómodo possível para o operador, permitindo ao operador ter o melhor rendimento possível nas suas operações (Kroemer & Grandjean, 2009). Assim, aquando a projeção de

um posto de trabalho, é necessário ter em consideração as regras estabelecidas por Kroemer e Grandjean (2009) para a configuração de um espaço de trabalho.

É de notar que o trabalho estático é o que exige mais esforço por parte dos músculos para manter uma determinada posição e isso deve-se ter em conta quando se dimensiona um posto de trabalho (Iida, 2005).

As regras a ter em consideração no processo de dimensionamento de um posto de trabalho são:

1. A primeira regra indica que se deve evitar qualquer postura curvada ou não natural do corpo (Kroemer & Grandjean, 2009).
2. Na segunda regra é indicado que a imobilidade dos braços estendidos para a frente ou para o lado deve ser evitada, uma vez que este tipo de postura conduz rapidamente à fadiga e à diminuição da precisão e destreza dos movimentos, sendo tanto pior quanto mais elevado for o tempo de ciclo da tarefa a ser realizada (Silva, 2008).
3. A terceira regra indica que se deve procurar, sempre que possível, trabalhar sentado. Quando tal não for possível, a melhor solução passa por alternar o trabalho de pé com o trabalho sentado (Silva, 2008).
4. A quarta regra indica que o movimento dos braços deve ser efetuado no sentido oposto a cada um dos braços ou em direção simétrica, sendo possível evitar os movimentos estáticos de um dos lados do corpo e estimular o comando nervoso da atividade (Silva, 2008).
5. Na quinta regra é indicado que a superfície de trabalho se deve encontrar a uma altura que permita uma observação visual ótima e uma postura do corpo o mais natural possível. Desta forma, quanto menor for a distância visual ótima, mais alta se deve encontrar a superfície de trabalho (Silva, 2008).
6. É estabelecido na sexta regra que os manípulos, alavancas, ferramentas e materiais de trabalho devem-se encontrar organizados nas máquinas e locais de trabalho, de forma a que os movimentos mais frequentes sejam efetuados com os cotovelos dobrados e próximos do corpo (Kroemer & Grandjean, 2009). Esta posição corporal permite que os braços encontrem um apoio para descanso, enquanto que se estiverem afastados do tronco é criada uma tensão nos músculos que provoca fadiga (Silva, 2008).

7. A sétima regra indica que o trabalho manual pode ser elevado através do uso de apoios para as mãos, antebraços e cotovelos. Os apoios devem ser forrados com material macio para não magoarem o operador e devem ser reguláveis (Silva, 2008). Para além disso, os postos de trabalho podem ter um apoio para os pés, o que permite o descanso dos membros inferiores.

2.6.1 Restrições no dimensionamento dos postos de trabalho

Ao longo dos anos, o dimensionamento dos espaços de trabalho tem vindo a ser adaptado às necessidades da vida moderna. Como tal, foi necessário a criação de restrições e limitações aos espaços, com o intuito de estes se adequarem da melhor forma às atividades modernas (Iida, 2005). As quatro características que podem influenciar os espaços e equipamentos são o espaço livre, o alcance, a força e a postura (Rebelo, 2004).

Espaço livre

O espaço livre é a variável que define qual deve ser a dimensão mínima de um espaço ou objeto, permitindo que o operador tenha liberdade de movimentos, um acesso adequado, bons espaços de circulação e aberturas adequadas para os dedos ou a mão. De forma a que estas características abranjam o máximo de população possível, deve-se utilizar como referência o percentil 95º da população em estudo (Rebelo, 2004). Na Figura 15 encontram-se as dimensões mínimas que se devem adotar consoante a postura de trabalho do operador.

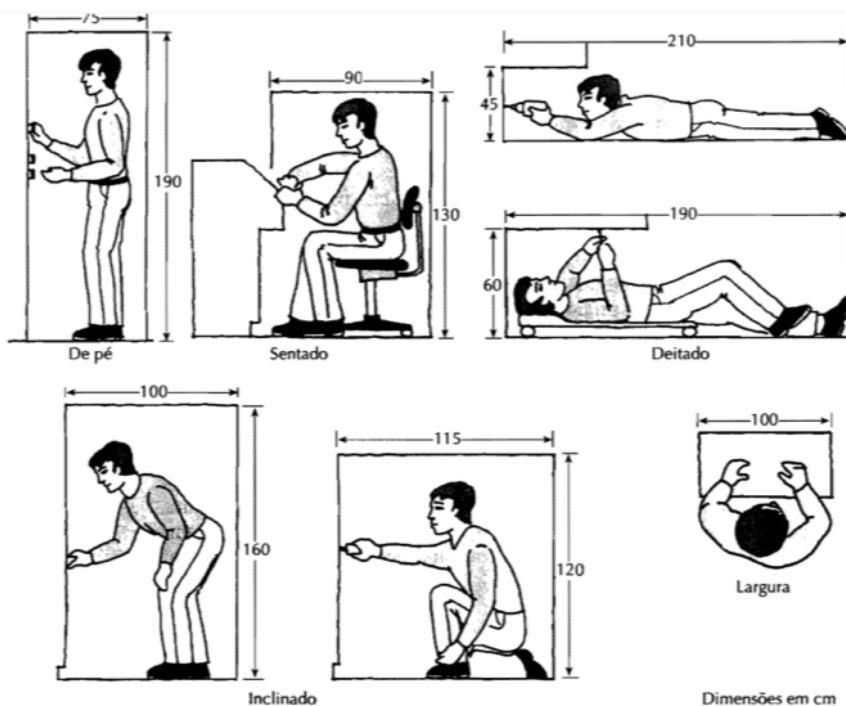


Figura 15 - Dimensões mínimas recomendadas dos espaços de trabalho para algumas posturas típicas (Iida, 2005)

Alcance

Esta variável está relacionada com os movimentos que se fazem para executar determinada tarefa e, normalmente, está associada a tarefas de agarrar e/ou operar controlos manuais ou pedais (Silva, 2008). Os limites de alcance são determinados através do percentil 5º da população em estudo, tendo como referência a distância do eixo de articulação do ombro à mão.

Força

Esta variável é definida como uma ação sobre um objeto, com uma direção e uma intensidade, e que varia em função dos grupos musculares envolvidos, da posição dos segmentos corporais no espaço e das características do indivíduo (Rebelo, 2004). Desta forma, existem limites máximos para o manuseamento de cargas e acionamentos de dispositivos, pelo que quando se efetuar a projeção destes dispositivos deve-se ter como referência os indivíduos com menos força, pois se estes não tiverem problemas, os restantes também não terão (Silva, 2008).

Postura

É definida como a posição e orientação dos segmentos corporais no espaço, ou seja, consiste no posicionamento relativo do corpo, nomeadamente da cabeça, tronco e membros, no espaço de trabalho.

Existem três posturas básicas para o corpo humano: a posição deitada, sentada ou de pé. A posição deitada é considerada a mais confortável, relaxante e recuperadora da fadiga porque não existem tensões em nenhuma parte do corpo. No entanto, a mobilidade de movimentos nesta posição é reduzida, pelo que é desaconselhada para trabalhar (Iida, 2005). A posição de pé é uma das mais comuns nos postos de trabalho devido à elevada mobilidade de movimentos que permite. Contudo, a posição parada, em pé, exige muito trabalho estático dos músculos para manter essa posição, o que leva a elevados níveis de fadiga. Para além disso, nesta posição é complicado manter o corpo totalmente estático, sendo necessários reposicionamentos contantes, o que dificulta a realização de movimentos precisos (Silva, 2008). Quanto à posição sentada, esta é caracterizada por ser bastante exigente devido à elevada atividade muscular do ventre e dorso. Neste tipo de atividade, a cadeira utilizada deve permitir diferentes posições para reduzir a fadiga (Iida, 2005).

Uma boa postura é essencial para o conforto do operador e uma boa realização do trabalho, pelo que se as dimensões do espaço ou dos equipamentos forem mal definidas podem conduzir a uma má postura (Rebelo, 2004). Na vertente desta variável, é possível definir a altura de uma bancada de trabalho, sendo necessário ter em consideração que a mesma não pode ser demasiado alta para não dificultar o seu uso

a pessoas de estatura baixa, nem demasiado baixa para dificultar o seu uso a pessoas de estatura alta. Concluindo, não existe uma altura exata para a bancada de trabalho, mas deve-se ter sempre em conta a altura máxima e mínima dos operadores.

2.6.2 Posto de trabalho em pé

Aquando o dimensionamento de um posto de trabalho é necessário ter em consideração diversos fatores como a postura adequada do corpo, os movimentos corporais necessários, o alcance dos movimentos, a antropometria dos operadores, as dimensões das máquinas, os equipamentos e as ferramentas (lida, 2005).

Uma das dimensões a definir no dimensionamento do posto de trabalho é a altura da bancada. Para tal, é necessário realizar um levantamento das características dos indivíduos a quem o posto de destina, com o intuito de adequar a altura do posto de trabalho à altura dos trabalhadores. Quando as operações a realizar na bancada são essencialmente de pé, a mesma deve ficar, normalmente, 5 a 10 cm abaixo da altura dos cotovelos do indivíduo (lida, 2005). Para além disso, deve-se ainda considerar o tipo de trabalho a executar no posto. Na Figura 16 encontram-se representadas as várias alturas da bancada de trabalho a considerar consoante o tipo de trabalho: trabalho leve, trabalho de precisão e trabalho pesado.

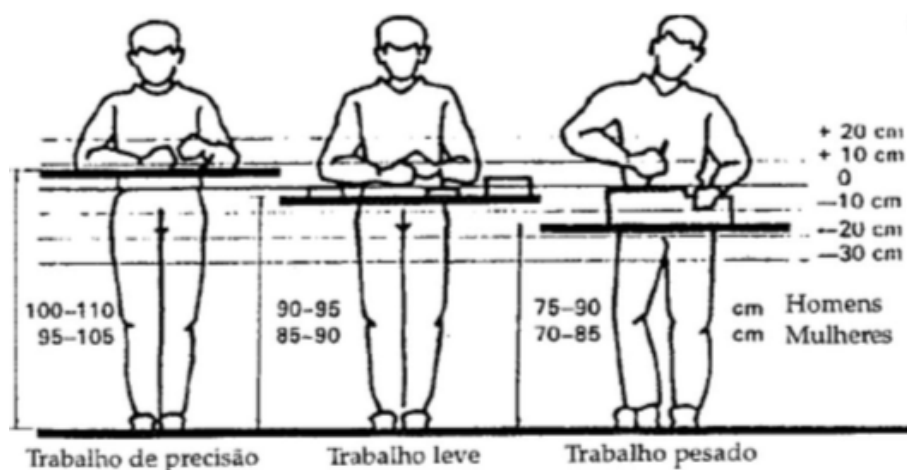


Figura 16 - Alturas da bancada de trabalho dependendo da altura do cotovelo e do tipo de trabalho (Kroemer & Grandjean, 2009)

Outra das dimensões a definir é o alcance na superfície de trabalho. A superfície de trabalho deve ser o mais prática, organizada e de fácil manuseio possível (lida, 2005). A área de alcance de uma superfície de trabalho pode ser definida facilmente. Segundo lida (2005), a área adequada para colocar o material a montar pode ser definida girando o antebraço num raio de 35 a 45 cm e com os braços estendidos traçar um raio de 55 a 65 cm. Quanto à área de trabalho, esta considera-se a área em frente ao corpo, permitindo assim o manuseamento com as duas mãos. Para o cálculo das medidas de alcance deve-se ter como referência o percentil 5º da população em estudo, para que todas as pessoas consigam

trabalhar (Iida, 2005). Na Figura 17 estão representados os alcances ótimos e máximos num posto de trabalho.

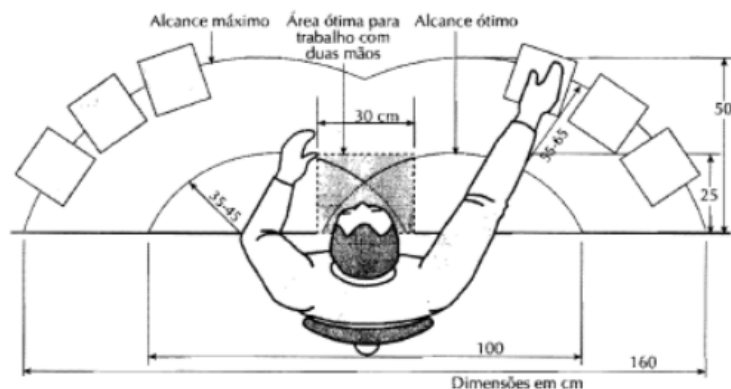


Figura 17 - Alcances ótimos e máximos numa superfície de trabalho (Iida, 2005)

2.7 Indicadores de desempenho

Na presente secção são detalhados os indicadores de desempenho, também denominados como *Key Performance Indicators*, mais relevantes para a dissertação. Estes são utilizados para medir o desempenho dos processos, permitindo perceber se uma dada ação está a desempenhar o papel pretendido. A escolha destes deve basear-se nos objetivos que a empresa pretende cumprir, permitindo, assim, a identificação do sitio exato onde é necessário atuar. Segundo Kaganski, Majak, Karjust e Toompalu (2017), a utilização das métricas corretas e a sua monitorização em tempo real permite detetar e entender os estrangulamentos presentes no sistema produtivo, avaliar a eficiência tanto dos trabalhadores como dos equipamentos e alcançar os objetivos estabelecidos para a empresa.

2.7.1 Capacidade Produtiva

Capacidade é definida como o nível máximo de atividade de valor acrescentado que um processo pode alcançar, sob condições normais, num determinado horizonte temporal (Slack, Chambers & Johnston, 2002). Esta medida assume um papel fundamental para a gestão das organizações, dado que influencia a posição das mesmas a nível de aceitação de novos projetos e possíveis investimentos (Peinado & Graeml, 2007; Staudt, Coelho & Gonçalves, 2011). O conceito de capacidade pode ser dividido em tipos mais específicos (Peinado & Graeml, 2007):

- **Capacidade instalada:** Corresponde à capacidade máxima de produção de um sistema produtivo trabalhando vinte e quatro horas por dia sem interrupções. No entanto, esta é uma medida apenas teórica, não sendo utilizada a nível prático, devido à impossibilidade deste grau de produção (Staudt *et al.*, 2011).

- **Capacidade disponível:** Refere-se à quantidade máxima que um sistema produtivo é capaz de produzir durante o período de trabalho diário estabelecido, sem interrupções (Equação 2).

$$\text{Capacidade Disponível (s)} = \text{Tempo do turno (h)} \times \text{Número de turnos (dia)} \times 3600 \quad (\text{Equação 2})$$

- **Capacidade efetiva:** Diz respeito à capacidade disponível, tendo em consideração as paragens planeadas. Estas dizem respeito a tempos resultantes de intervalos, mudanças de turnos, *setups*, manutenções preventivas, realização de ginástica laboral, limpezas, entre outras (Equação 3).

$$\text{Capacidade Efetiva (s)} = \text{Capacidade disponível} - \text{Paragens Planeadas (s/turno)} \quad (\text{Equação 3})$$

- **Capacidade realizada:** Corresponde ao que efetivamente é produzido, tendo em consideração tanto as paragens planeadas como as não planeadas. São exemplo de paragens não planeadas a falta ou atraso no abastecimento do material, manutenções corretivas, avarias nos equipamentos, entre outras (Equação 4).

$$\text{Capacidade realizada (s)} = \text{Capacidade efetiva} - \text{Paragens não planeadas (s/turno)} \quad (\text{Equação 4})$$

Esta capacidade também pode ser calculada com recurso ao *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), como se pode verificar na Equação 5.

$$\text{Capacidade realizada (s)} = \text{Capacidade efetiva} \times \text{OEE} \quad (\text{Equação 5})$$

- **Capacidade esperada:** Trata-se do tempo que teoricamente é necessário para produzir um determinado volume de um produto, tendo em conta o seu tempo de ciclo (Equação 6).

$$\text{Capacidade esperada (s)} = \text{Tempo de ciclo do produto (s)} \times \text{Produção diária(uni)} \quad (\text{Equação 6})$$

Outro indicador relevante para a análise da capacidade é o grau de **utilização da capacidade de um sistema (U)**, que relaciona a capacidade esperada com a realizada (Equação 7).

$$U(\%) = \frac{\text{Capacidade esperada}}{\text{Capacidade realizada}} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

2.7.2 Eficiência do sistema

A eficiência é utilizada para estimar a utilização de uma linha de produção, em termos percentuais, relacionando os tempos de ciclo com o número de postos. É calculada através da razão entre o conteúdo

de trabalho de um determinado produto e o número de postos de trabalho existentes na linha de montagem (Equação 8).

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{\sum TC \text{ de cada posto (s)}}{TC \text{ do sistema (s)} \times N^{\circ} \text{ de postos de trabalho}} \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

2.7.3 Índice de planura

Este indicador é utilizado na empresa para refletir a distribuição do conteúdo de trabalho pelos vários postos de trabalho de uma linha de produção. Num cenário ideal, o índice de planura deve ter um valor de zero, o que significa que o balanceamento do conteúdo de trabalho da linha de produção é ótimo, tendo todos os postos de trabalho o mesmo tempo de ciclo (Aptiv, 2020b). Para obter este índice pode-se utilizar a Equação 9.

$$\text{Índice de Planura} = \sqrt{\sum (TC \text{ do sistema (s)} - TC \text{ dos postos de trabalho (s)})^2} \quad (\text{Equação 9})$$

3. DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO INICIAL

No presente capítulo, numa primeira fase, é elaborada uma breve descrição do grupo *Aptiv*, fazendo um enquadramento da empresa a nível global, abordando posteriormente o complexo de Braga e referindo os principais clientes e produtos. Posteriormente são descritos quais os motivos que levaram à condução do presente projeto e o propósito do mesmo. É, ainda, apresentado o produto que é objeto de estudo e o seu processo produtivo ao longo das diferentes áreas que constituem a fábrica de Braga. Por fim, pode-se encontrar a definição do estado futuro pretendido com o projeto e a identificação das necessidades relacionados com o mesmo.

3.1 A empresa – APTIV

Contando com mais de 160 000 colaboradores em 44 países, o grupo *Aptiv* representa um dos maiores fornecedores de componentes eletrónicos da indústria automóvel, sendo sediado em Dublin, na Irlanda. Tendo por todo o globo 126 fábricas dedicadas à manufatura e 15 centros tecnológicos, a empresa de tecnologia é caracterizada por desenvolver soluções mais seguras, ecológicas e conectadas, que possibilitam o futuro da mobilidade.

Em Portugal, a *Aptiv* possui três instalações, nomeadamente, duas unidades produtivas localizadas em Braga e em Castelo Branco, e um centro técnico de excelência localizado no Lumiar. Recentemente foi inaugurado um centro tecnológico nas instalações de Braga. As instalações de Braga lidam com a área da eletrónica e segurança, enquanto que as de Castelo Branco trabalham com sistemas elétricos e eletrónicos para a indústria automóvel (Aptiv, 2020a). Na Figura 18 pode-se encontrar as várias instalações do grupo em território nacional.



Figura 18 - Localização do grupo Aptiv em Portugal e logótipo da empresa (Aptiv, 2020a)

A presente dissertação foi realizada nas instalações da *Aptivport Services, S.A.*, localizada em Braga, que conta com cerca de 1000 colaboradores. O foco da unidade fabril de Braga é a produção de autorrádios, sistemas de navegação, *displays* e sistema de controlo, tendo um diverso portefólio de produtos de acordo com as especificidades de cada cliente. Como referido, a empresa é fornecedora para os maiores fabricantes da indústria automóvel, tais como o grupo PSA – *Peugeot e Citroen*, *Porsche*, *Fiat*, *Renault*, *Audi*, *BMW*, *Ferrari*, *Volvo*, *Volkswagen*, entre outros, sendo que exporta a totalidade dos seus produtos para os mesmos. Na Figura 19 encontram-se alguns dos clientes e produtos da empresa.



Figura 19 - Principais clientes da Aptiv e portefólio de produtos da Aptiv Braga (Aptiv, 2020a)

As infraestruturas da empresa dividem-se em quatro edifícios, representando no total uma área de aproximadamente 33000 m². O Edifício 1 é composto pela área administrativa, pela área produtiva dedicada à produção de componentes eletrónicos e por uma secção dedicada ao armazenamento de matéria-prima. O Edifício 2 divide-se na área produtiva dedicada à produção de componentes plásticos, que serão utilizados na secção de Montagem Final do Edifício 1, na área de montagem de sistemas de controlo e de algumas gamas de autorrádios e no armazém de produtos acabados. No Edifício 3 encontra-se armazenado todo o material de embalagem e o Edifício 4 aloca o Centro Técnico de Investigação e Desenvolvimento, dedicado ao desenvolvimento de novos produtos de excelência. As instalações da *Aptiv* de Braga estão representadas na Figura 20.



Figura 20 - Complexo industrial da Aptiv em Braga (Aptiv, 2020a)

3.2 Projeto a desenvolver na empresa

Com a evolução tecnológica e o crescimento do mercado automóvel é cada vez maior a necessidade das organizações se adaptarem às novas realidades, tendo de adquirir técnicas e produtos inovadores num curto período de tempo, de forma a estabelecerem a sua posição no mercado e o seu sucesso (Andersson & Bellgran, 2015). Assim, a introdução de novos produtos e a adaptação do sistema produtivo à sua entrada é uma constante em empresas em crescimento, como é o caso da *Aptiv*.

No contexto desta dissertação, surgiu um novo projeto de um produto adquirido pela empresa que requer um processo produtivo diferente daqueles que se encontram nas linhas de montagem final presentes no Edifício 1. Na Figura 21 encontra-se uma das linhas de montagem final existentes no chão de fábrica.



Figura 21 - Exemplo de uma linha de produção existente na empresa

O objetivo deste projeto de dissertação passa pela implementação de uma nova linha de produção, na secção de Montagem Final de componentes eletrónicos, como resultado da introdução de um novo produto no portefólio da empresa. Pretende-se que o processo produtivo implementado seja capaz de dar resposta às necessidades de produção do novo produto da forma mais eficiente possível, indo ao encontro dos requisitos de qualidade do cliente e de custos da empresa.

Devido a questões de confidencialidade da empresa, o nome do produto que é objeto de estudo e a respetiva marca não serão especificados, pelo que serão referenciados por letras ao longo da dissertação, nomeadamente por produto P e marca F.

3.3 Caracterização do novo produto

O produto em estudo trata-se de um autorrádio para um automóvel da marca F, constituído por 19 componentes em quantidades específicas e encontra-se representado na Figura 22.

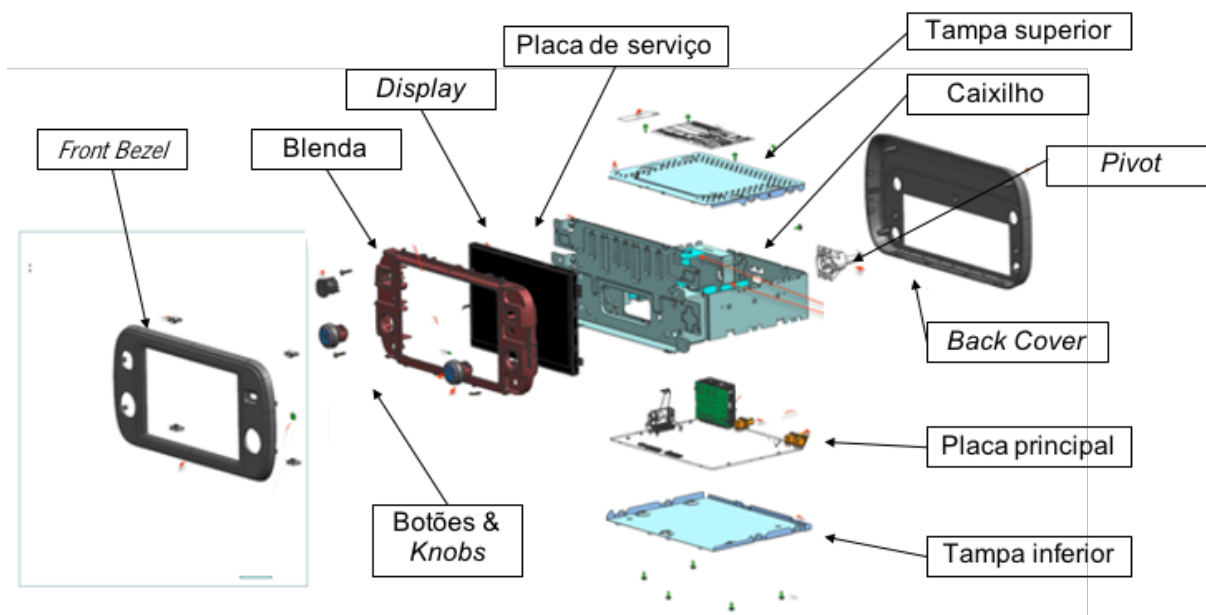


Figura 22 - Vista explodida do produto P (Aptiv, 2020b)

Como podemos analisar na Figura 22, o produto possui duas placas, a placa principal (*mainboard*) e a placa de serviço (*keyboard*), sendo estas conectadas entre si e ao *display* através de cabos de ligação. A placa de serviço é colocada no autorrádio através do *display* e da blenda, enquanto que a placa principal é colocada diretamente no caixilho. O caixilho é selado com duas tampas, posteriormente à colocação de um componente designado *pivot*. Os botões são colocados na blenda.

3.4 Processo produtivo do novo produto e fluxo de materiais

De forma a conhecer por completo o produto P, torna-se essencial o conhecimento de todo o processo produtivo do mesmo, sendo este o foco deste subcapítulo. Em cada subsecção será descrita detalhadamente a passagem dos componentes do produto nas diferentes áreas produtivas da empresa. Como referido anteriormente, o complexo industrial de Braga possui dois edifícios dedicados à produção de diferentes componentes, os componentes eletrónicos e os componentes plásticos. Neste subcapítulo é dado ênfase apenas aos processos pelos quais os componentes do produto P são submetidos.

3.4.1 Área produtiva do Edifício 2

O Edifício 2 dedica-se, maioritariamente, à produção de componentes plásticos, que serão utilizados posteriormente na secção de Montagem Final do Edifício 1. Este complexo encontra-se dividido num armazém de produto acabado e em três áreas produtivas: uma dedicada à produção de componentes plásticos, outra dedicada à montagem final de autorrádios e uma última dedicada à produção de módulos controladores. Dado que o produto em estudo apenas tem produção na área de plásticos, somente o

processo desta área será descrito. Assim, a área de produção de componentes plásticos está dividida em três secções: Injeção, Pintura e Montagem final. Na Figura 23 pode-se encontrar representada a planta do Edifício 2.

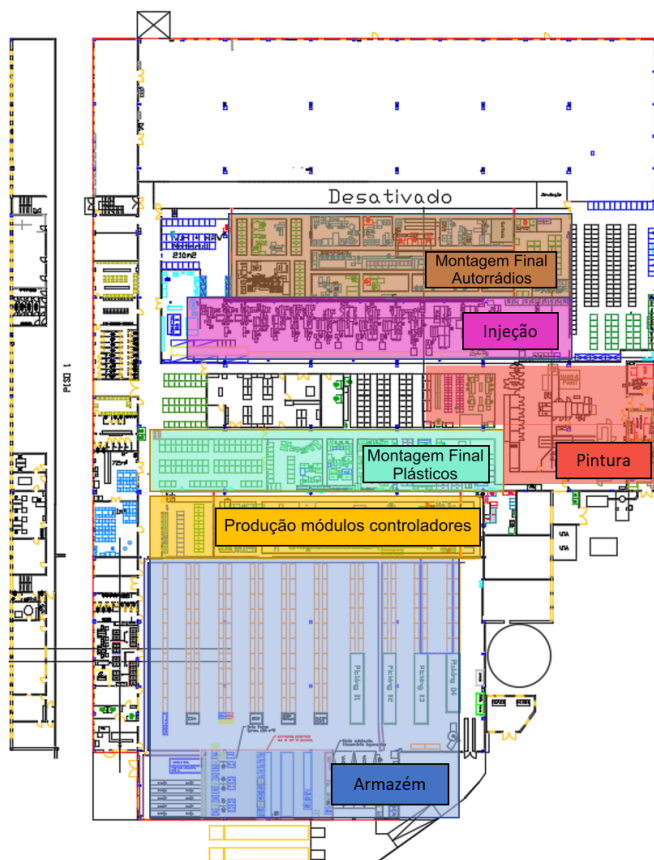


Figura 23 - Planta do Edifício 2 da Aptiv Braga (Adaptado de Aptiv, 2020b)

Os componentes plásticos que constituem o produto em estudo e que são produzidos internamente são a blenda, a *back cover*, a *front bezel*, os botões, os *knobs* e o *pivot*. Todos os componentes passam pela secção de Injeção, diferenciando no seu processo produtivo após esta área. O fluxo produtivo na área de produção de plásticos encontra-se representado na Figura 24.

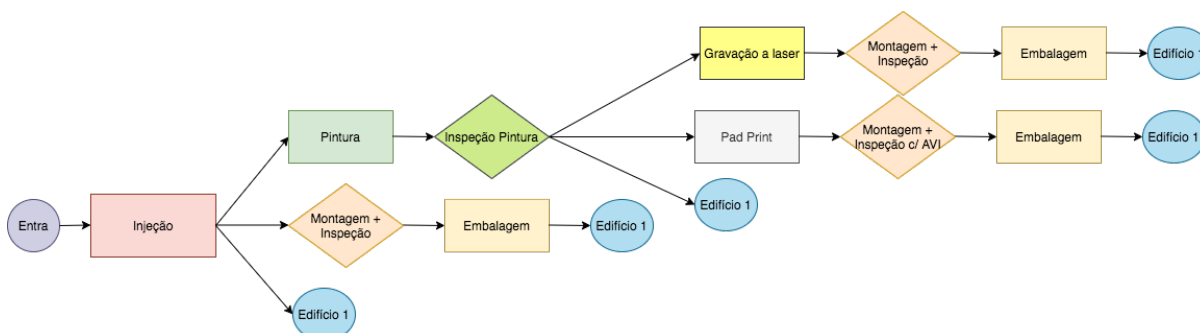


Figura 24 - Fluxo produtivo do produto P na área de produção de plásticos

3.4.2 Área produtiva do Edifício 1

O Edifício 1 dedica-se à produção de componentes eletrónicos, estando a área produtiva dividida em três secções distintas: *Surface Mount Technology* (SMT), que diz respeito à inserção automática de componentes eletrónicos, *Circuit Board Assembly* (CBA), que diz respeito à inserção manual de componentes eletrónicos e *Final Assembly* (FA), onde se realiza a montagem final dos vários componentes necessários para obter o produto final. Para além destas, conta ainda com um armazém de matéria-prima e produtos intermédios. Na Figura 25 está representada a planta do Edifício 1, com todas as secções identificadas.

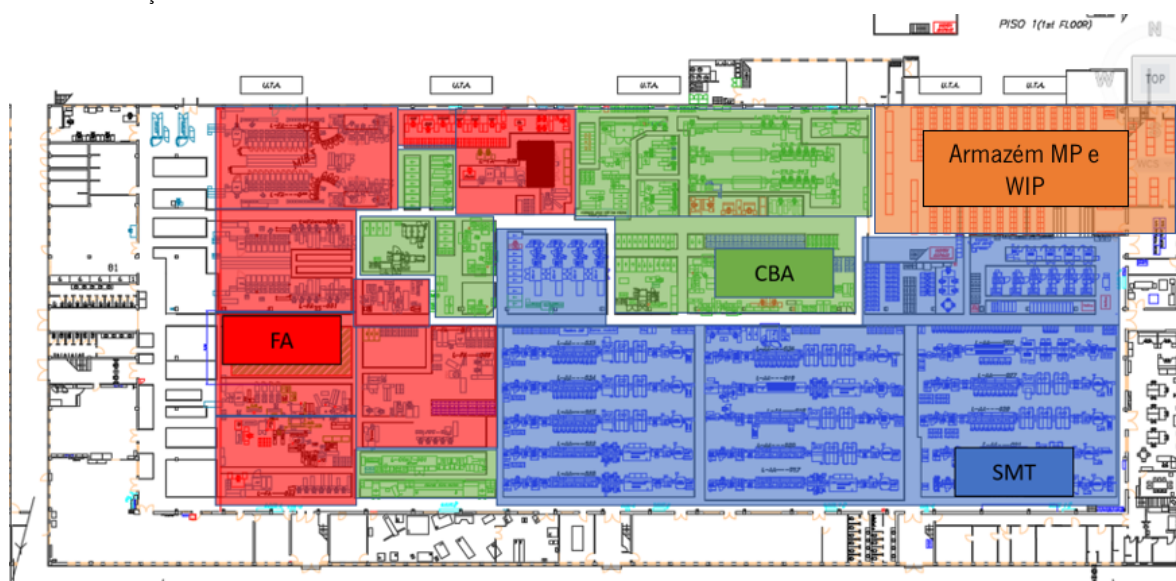


Figura 25 - Planta do Edifício 1 da Aptiv Braga (Adaptado de Aptiv, 2020b)

Surface Mount Technology (SMT)

Na área produtiva do Edifício 1, o processo começa com a produção das duas placas que constituem o produto: a *mainboard* e a *keyboard*, na secção de SMT, onde as duas primeiras etapas são realizadas fora das linhas de montagem automática de componentes eletrónicos. O percurso de uma placa inicia-se com a gravação de um *Quick Response Code* (QRC) nas placas eletrónicas através do processo de *Laser Marking*, o que permitirá rastrear cada placa individualmente e saber o seu histórico de montagem ao longo de todo o processo, facilitando a identificação de defeitos e as respetivas causas. Efetua-se ainda a programação dos *Integrated Circuits* (IC), componentes que posteriormente serão colocados nas placas eletrónicas, também denominadas de *Printed Circuit Boards* (PCB). Este processo intitula-se de *Offline Programming* e consiste em programar a memória dos componentes de acordo com as especificações do produto. Posteriormente a estes processos, as placas são então encaminhadas para as linhas de inserção automática de componentes eletrónicos.

Após a entrada na linha, é colocada uma pasta de solda nas placas, denominada *reflow*, que permite a fixação dos componentes eletrônicos na placa. Efetua-se ainda uma limpeza à placa com o objetivo de retirar o excesso de pasta da mesma. De seguida, através do *Solder Paste Inspection* (SPI), verifica-se a qualidade e a correta posição da pasta de solda. As PCB onde são detetados erros de qualidade são enviadas para refugo, visto que não é recomendável fazer reparações deste nível. Tendo a inspeção acabado, efetua-se a inserção automática dos componentes na placa recorrendo a máquinas *Pick and Place*, seguida do processo de soldadura que seca o *reflow* de forma a fixar os componentes eletrônicos à PCB. Terminado este passo, a PCB é sujeita a outra inspeção visual, denominada *Automated Optical Inspection* (AOI), de forma a detetar a existência de eventuais defeitos decorrentes dos processos anteriores. Ao verificar a qualidade das placas e dos respetivos componentes, se forem detetados defeitos as peças são diretamente enviadas para refugo. No final da inspeção, as placas são colocadas em *arrays* (conjunto de duas placas) dentro de *containers* e são encaminhadas para a área de CBA.

Circuit Board Assembly (CBA)

Após a secção de SMT, as placas são encaminhadas para a área de CBA (ou *sticklead*). O produto passa nesta secção para efetuar a montagem manual dos componentes eletrônicos de maiores dimensões nas placas que não podem ser inseridos nas máquinas de inserção automática. O objetivo da empresa é reduzir cada vez mais os processos manuais, uma vez que o manuseamento de material com as mãos é a principal fonte de problemas relacionados com o *stress* das PCB.

Numa primeira etapa, as placas passam pela zona dos *In Circuit Test* (ICT), onde é efetuado um teste elétrico, de forma a verificar se os componentes estão corretamente inseridos, a funcionar corretamente e se não existem curto-circuitos. Nesta secção, o processo consiste na colocação das placas nas máquinas onde são efetuados os testes. Se a placa passar no teste é encaminhada para seguir no processo. Caso contrário é transportada para a secção de análise. De seguida, as placas são transportadas em *containers* para a área das linhas de *sticklead*, existindo a possibilidade de poderem ficar armazenadas temporariamente no supermercado localizado à entrada desta área. Nas linhas de montagem de *sticklead* são realizadas quatro operações distintas: colocação manual dos componentes, fixação mecânica dos componentes (processo denominado *Clinch*), soldadura por onda para fixar os componentes à placa e inspeção visual às placas com recurso a um dispositivo AVI, de forma a verificar-se a conformidade da montagem e da soldadura. A *mainboard* passa pelas quatro operações, enquanto que a *keyboard* não é sujeita ao processo de *Clinch*. Ambas as placas passam pela AVI, onde é realizada

a inspeção às placas através de câmaras. Na inspeção visual à placa de serviço deve-se verificar a presença dos *endcodes* e do USB.

Posteriormente, as placas são transportadas em tabuleiros para a AOI, onde se efetua um teste para verificar se existem defeitos nas placas. O processo consiste na leitura do código das placas e na realização do teste. Se passar no teste a placa segue para a fase seguinte, caso apresente alguma anormalidade deve ser segregada. Aqui, as placas são colocadas em *containers* e são transportadas para a fresa (tanto a *keyboard* como a *mainboard*). O processo na fresa denomina-se de *Miling* e consiste na individualização das placas através da fresagem, ou seja, as placas são separadas individualmente, eliminando o excesso de placa que servia de suporte. No final do processo da fresa, as placas são lidas e colocadas em tabuleiros, tendo estes de ser identificados com etiquetas. Este processo é o último relativo à área de CBA, sendo as placas posteriormente transportadas para o supermercado onde ficam em *stock* ou são diretamente transportadas para a linha de montagem final, onde serão montados todos os componentes do aparelho. Na Figura 26 está representado o fluxo produtivo das PCB descrito.

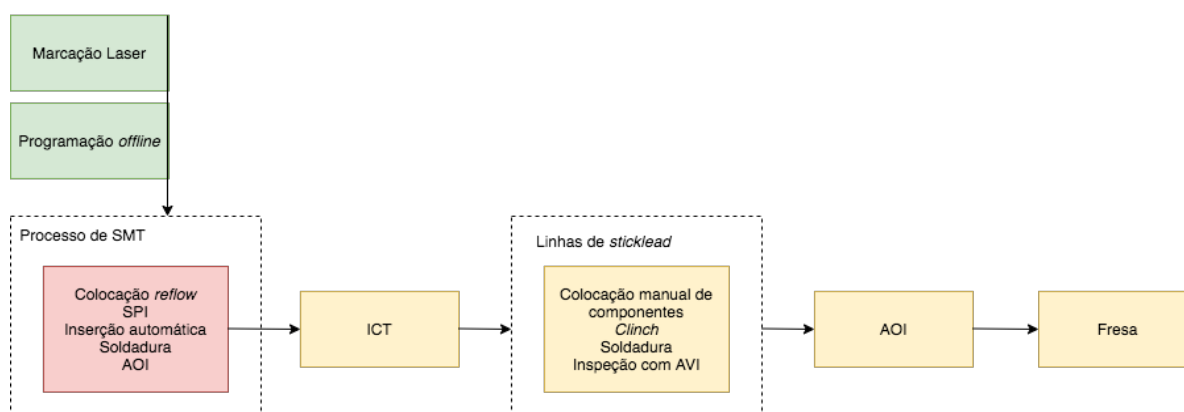


Figura 26 - Fluxo produtivo das placas do produto P na área de SMT e de CBA

Final Assembly (FA)

A montagem final é a última área para onde as placas são encaminhadas e é o local onde o projeto desta dissertação foi realizado. Comparativamente às outras áreas produtivas, a montagem final destaca-se devido aos seus processos e postos de trabalho poderem variar bastante. A justificação para tal deve-se ao facto de estes serem criados de acordo com as especificidades de cada produto, de modo a obter a melhor eficiência produtiva possível. Relativamente ao processo na área da montagem final, este consiste na montagem dos diferentes componentes produzidos nas outras secções e de algumas matérias-primas.

Nesta secção, primeiramente, um componente do produto (caixilho) passa pelas zonas de *sub-assemblies*, nomeadamente pelo *Gap Filler Offline*. O processo consiste na colocação de pasta dissipativa de calor nos caixilhos em sítios estrategicamente definidos. Findo este processo, os caixilhos são encaminhados para a linha de montagem final. No que diz respeito aos processos na linha de montagem final, baseiam-se maioritariamente em aparafusamentos, conexão de cabos, montagem de peças, colocação de esponjas protetoras, colocação de etiquetas, entre outras operações. Na área de montagem final, para além dos postos de montagem, que serão detalhados no capítulo seguinte, existem os postos de testes ao produto e a zona de embalagem. Desta forma, após a montagem dos componentes, o aparelho é encaminhado para a zona de testes, onde é sujeito a vários testes mecânicos e elétricos, de forma a efetuar o controlo de qualidade e a verificação do funcionamento do aparelho. Os testes a que o produto P é sujeito são os testes de *Middle of Line* (MOL), os testes de iluminação, os testes *End of Line* (EOL) e os testes *Control and Monitoring Interface* (CMI). O processo em todos os testes consiste em colocar o aparelho na máquina, sendo o teste efetuado automaticamente por esta. Se o aparelho passar no teste prossegue para o teste seguinte ou para a zona de embalagem. Caso contrário, o aparelho é enviado para análise. O último processo consiste na embalagem, onde o aparelho é etiquetado e embalado, sendo transportado para a zona de expedição. Na Figura 27 encontra-se representado o fluxo produtivo dos componentes nesta área.

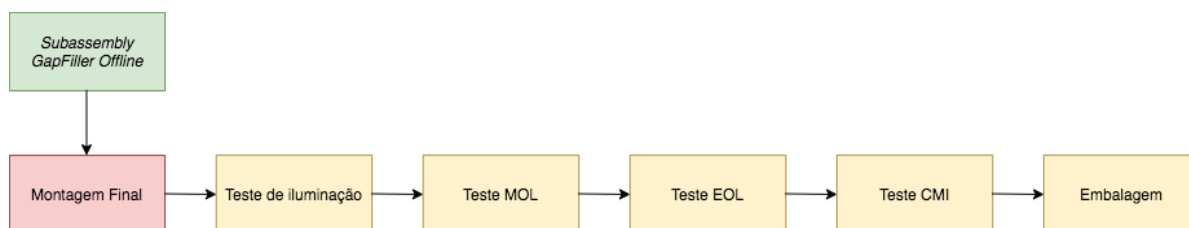


Figura 27 - Fluxo produtivo do produto P na área de montagem final

Podemos encontrar representado na Figura 28, o fluxo de materiais dentro do Edifício 1 relativo ao produto P.

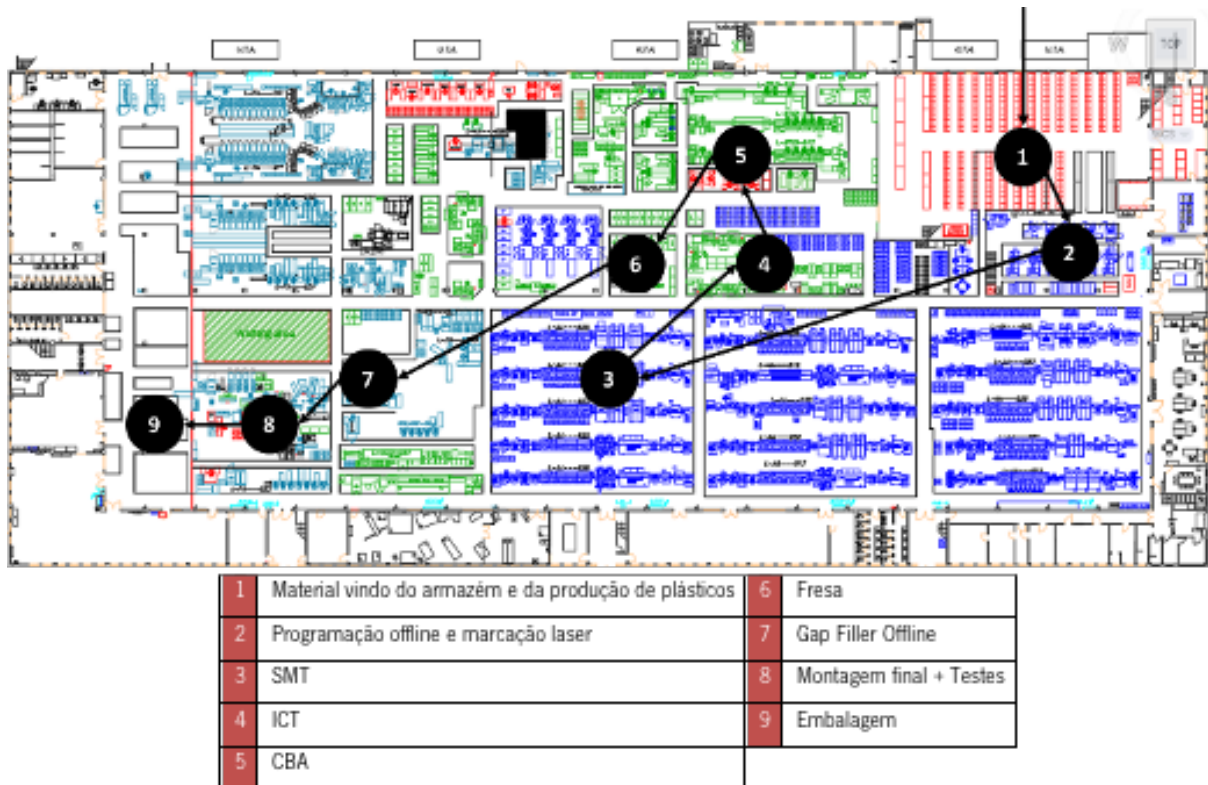


Figura 28 - Fluxo de materiais do produto P no Edifício 1 (Adaptado de Aptiv, 2020b)

3.5 Definição do estado futuro e necessidades do projeto

O projeto foi realizado em parceria com a equipa *Pre Production Industrial Engineering* (PPIE), pertencente ao departamento de Engenharia Industrial da *Aptiv*. Esta equipa é responsável por desenvolver, implementar e reorganizar os sistemas de produção orientados aos novos produtos, dando também suporte no processo de *design* dos mesmos.

Após a participação em várias reuniões e *workshops* e análise da área onde será implementada a linha de produção foi possível definir o estado futuro que se pretende atingir com o projeto e quais as necessidades que advêm do mesmo. A área da secção da montagem final onde será implementada a nova linha de produção está a representada na Figura 29, sendo este o estado inicial da área.

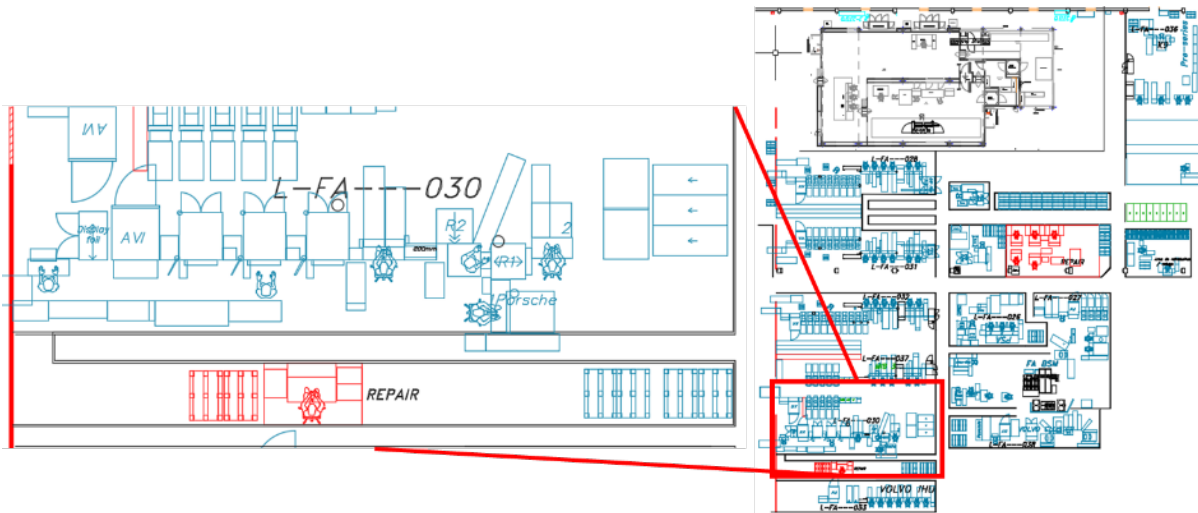


Figura 29 - Layout da área de montagem final na situação inicial

O objetivo do projeto passa pelo desenvolvimento e implementação de uma nova linha de produção referente a um produto novo na empresa, sendo o cerne da implementação tornar o processo o mais eficiente possível e ir ao encontro das expectativas do cliente. Desta forma, pretende-se que, no final do projeto, a área da secção de montagem final onde será implementada a nova linha de montagem se encontre com a disposição representada na Figura 30.

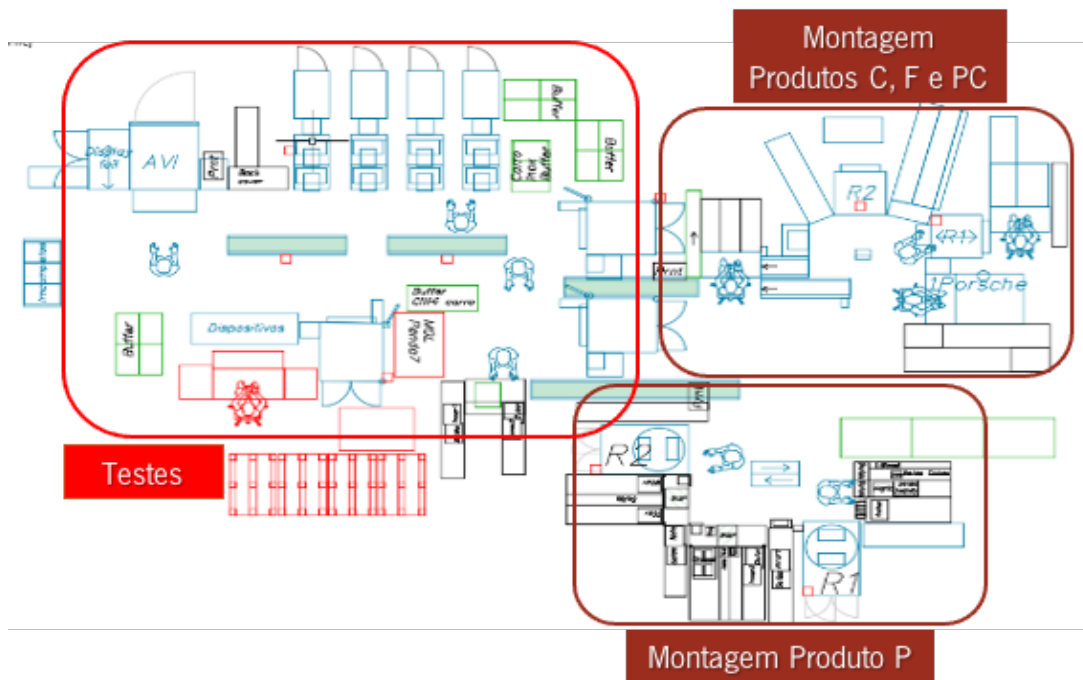


Figura 30 - Layout da área de montagem final pretendido no estado futuro

Para além dos requisitos do cliente, considerou-se as linhas de produção já implementadas no chão de fábrica e a experiência da equipa PPIE em projetos anteriores para definir as necessidades do projeto de implementação da nova linha de produção, sendo elas:

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

- Estabelecimento do ritmo de produção necessário para ir ao encontro do volume de produção definido pelo cliente;
- Definição e dimensionamento dos postos de trabalho necessários e rampas de abastecimento, com vista o balanceamento da linha, a redução de desperdícios e o cumprimento de condições ergonómicas;
- Estudo do *layout* da área de implementação da linha de produção;
- Estudo de sistemas à prova de erros;
- Implementação da linha de montagem final no chão de fábrica;
- Criação de documentos de instruções de trabalho normalizadas;
- Apoio na formação de operadores relativamente aos processos de montagem do produto P;
- Avaliação ergonómica dos postos de trabalho e rampas de abastecimento;
- Análise do ritmo de produção da linha implementada;
- Estudo de oportunidade de melhoria.

4. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA NOVA LINHA DE PRODUÇÃO

O projeto desta dissertação foi desenvolvido na área de montagem final eletrónica do Edifício 1, que se destina à montagem de componentes eletrónicos. Deste modo, no presente capítulo são apresentadas as fases da integração de novos produtos na empresa e é detalhado o processo de implementação da nova linha de produção na área da montagem final na *Aptiv*, sendo descritas todas medidas adotadas.

4.1 Fases da integração de um novo produto na empresa

Com a introdução de novos modelos no mercado automóvel, as várias marcas, que representam os clientes da *Aptiv*, necessitam de fornecedores para os diferentes componentes dos veículos, como é o caso do autorrádio. Assim, para um projeto novo, o cliente abre um concurso para as empresas que pretendam adquirir o projeto. A marca apresenta às mesmas todas as características e necessidades do produto e, posteriormente, as empresas apresentam a sua proposta de cotação do projeto. O cliente irá avaliar as propostas e selecionar a que considera ser a melhor a nível de custos e padrões de qualidade pretendidos para o seu produto.

No caso da *Aptiv* apresentar a melhor proposta e adquirir o projeto, são realizados *workshops* que contam com a participação dos representantes da marca do produto, os responsáveis pelo departamento de desenvolvimento da sede da *Aptiv* na Europa e os da *Aptiv* de Braga, e com os elementos do departamento de engenharia da *Aptiv* de Braga e da Alemanha. Estes *workshops* têm como objetivo apresentar as características do produto às equipas e promover a discussão relativamente à melhor forma de implementar o produto que permita beneficiar ambas as partes, do ponto de vista de redução de desperdícios, aumento de qualidade e redução de custos. Para tal, nesta reunião, discutem-se e estabelecem-se alguns tópicos como as fases do projeto e respetivos os prazos, as especificações do cliente, a lista de materiais, os métodos de controlo de qualidade, a forma de expedição de produto e as necessidades de implementação nas várias áreas da fábrica.

O projeto da integração de um novo produto é dividido em diferentes fases ao longo do tempo, sendo efetuadas melhorias ao longo das várias fases até atingir a versão final da linha de produção implementada. A empresa segue as seguintes fases: Planificação do projeto, Pré-séries, *First of Tool* (FOT) e *Start of Production* (SOP).

Na fase da **planificação do projeto** obtém-se a ideia inicial do processo produtivo, sendo identificadas as necessidades de material, equipamentos, embalagem, entre outras, de forma a estimar os custos associados ao projeto e precaver eventuais problemas de qualidade. Esta fase começa com o estudo da implementação do produto no processo produtivo da empresa, que é responsabilidade dos engenheiros da *Aptiv* de Braga e Alemanha que estão responsáveis pelo projeto. Assim, após definir todos os pormenores, é criado um documento *excel* denominado “*Manufacturing System Design*” (MSD), onde são detalhados todos os tópicos importantes para a implementação do novo produto no sistema produtivo. Desta forma, regista-se no MSD os responsáveis do projeto e as suas responsabilidades a nível de tarefas, os volumes de produção estimados para cada ano do tempo de vida do produto, o *takt time* relativo a cada ano de produção consoante a procura do cliente, a lista de materiais do produto, as capacidades da empresa para a incorporação do novo produto, a análise do *layout* do sistema produtivo, os investimentos monetários exigidos pelo projeto e as operações necessárias para todos os processos e respetiva sequência, de forma a calcular o número de postos de trabalho e operadores necessários para cumprir com o *takt time*. A informação registada neste documento serve para estruturar e instalar o processo produtivo na empresa, no entanto, o documento é suscetível de alterações à medida que o projeto avança. Após a planificação do projeto procede-se à fase de pré-séries onde decorrerá a implementação da linha de montagem final orientada ao novo produto ou à reconfiguração de uma linha já existente no chão de fábrica.

Na fase de **pré-séries** efetua-se o teste ao processo produtivo e ao conceito mecânico dos componentes, sendo realizados ciclos de melhoria, de forma a aperfeiçoar o modelo inicialmente proposto e obter uma validação inicial. Assim, após a definição de todos os detalhes na fase de planificação do projeto, realizam-se produções teste do produto, sendo produzida uma quantidade do produto segundo indicação do cliente, com o objetivo de serem identificadas melhorias, eventuais causas de defeitos e para enviar amostras para o cliente. É esperado o *feedback* em relação às amostras enviadas ao cliente, de forma a ser analisado pela equipa de desenvolvimento e de engenharia da *Aptiv* de Braga, com o intuito de efetuar melhorias no processo e na qualidade do produto, seguindo a filosofia do ciclo PDCA. Nesta fase efetua-se uma pré-série inicial numa linha definida exclusivamente para o efeito pela equipa de engenharia e algumas operadoras, onde são analisadas as necessidades e métodos para a montagem do produto, sendo posteriormente desenvolvido em equipa o modelo da linha de montagem definitivo com base no estudo efetuado na linha protótipo. As restantes pré-séries serão realizadas por operadoras neste novo modelo da linha, que é posteriormente implementado. Ao longo da produção em pré-série é realizado o

levantamento dos problemas detetados, sendo efetuadas reuniões com os membros envolvidos no projeto para os discutir e resolver.

Na *First of Tool* pretende-se validar o produto e confirmar a resolução de todos os problemas e oportunidades de melhorias identificados na fase de pré-séries. Espera-se que todos os processos e equipamentos sejam validados, atingindo todos os requisitos identificados. A validação deve ser feita pela *Aptiv* e pelo cliente.

Quando a linha inicia a produção contínua do produto em grandes quantidades estamos na fase *Start of Production*. Nesta fase, todo o processo já se encontra preparado e de acordo com as expetativas do cliente, podendo a produção manter-se durante vários anos. No entanto, segundo os princípios da filosofia *Kaizen*, que defende que algo pode ser sempre melhorado, a empresa pode sempre alterar a linha de produção, caso identifique novas oportunidades de melhoria nos processos.

A presente dissertação apenas aborda temas relacionados com as primeiras três fases, dado que durante o período que a autora esteve integrada na empresa o projeto não atingiu a fase de produção contínua. Na Tabela 2 encontram-se as várias fases e as ações referentes a cada uma delas.

Tabela 2 - Fases da integração de um novo produto na empresa

Fases do projeto	Ações
Planificação do projeto	Realização do MSD
	Apresentação do desenho técnico do produto
	Apresentação da <i>Bill of Process</i>
	Cálculo das necessidades de máquinas e materiais
	Apresentação da proposta de <i>layout</i> inicial da linha de produção
Pré-séries	Realização da pré-série protótipo
	Elaboração da <i>Standard Work Combination Table</i>
	Aquisição de equipamentos
	Implementação da linha de montagem
	Criação de instruções de trabalho
	Avaliação ergonómica
	Estudo de oportunidades de melhoria
<i>First of Tool</i>	Implementação dos sistemas de manutenção
	Validações de processo e equipamentos
	Auditoria de Cliente
<i>Start of Production</i>	

4.2 Balanceamento da linha de produção

Durante a fase de planificação do projeto é necessário efetuar balanceamento dos postos de trabalho, sendo preciso definir o *takt time* previsto pela procura do cliente, de forma a perceber as necessidades oriundas do produto. Após a análise do *takt time*, é crucial a avaliação do conteúdo de trabalho necessário para a montagem do produto, para ser possível quantificar os postos de trabalho e as operadoras necessárias para cumprir com a procura do cliente de forma balanceada.

4.2.1 Cálculo do *takt time*

Um dos primeiros passos a realizar na fase da planificação do projeto é o cálculo do *takt time* através do consumo previsto pelo cliente. Para este cálculo é necessário analisar o tempo útil para produção, que se obteve multiplicando o valor da eficiência operacional média da secção de montagem final (considerada em novos projetos) pela capacidade efetiva. Quanto aos dias disponíveis para produção, consideram-se cinco dias por semana, havendo paragem no fim-de-semana, durante 50 semanas por ano. Na tabela seguinte, encontra-se os tempos verificados para três diferentes cenários de produção: trabalhar a 1 turno, a 2 turnos ou a 3 turnos, sendo que cada turno funciona durante 8 horas com paragens planeadas de 30 minutos. Com estes dados, é possível efetuar o estudo do *takt time* para cada cenário. Os cálculos efetuados para obter os valores da Tabela 3 e 4 encontram-se descritos no Apêndice I – Cálculo do *takt time*.

Tabela 3 - Capacidade disponível e tempo útil

Capacidades Diárias (min)						
Turnos	Capacidade disponível (min)	Tempo de intervalo (min)	Eficiência Operacional (%)	Tempo Útil (min)	Dias disponíveis/semana	Tempo útil semanal (min)
1	480	30	95	428	5	2138
2	960	60		855	5	4275
3	1440	90		1283	5	6413

A empresa tem o início da produção agendada para 2021 e foi possível obter os volumes previstos para os primeiros 4 anos de produção. Para o cálculo do *takt time* considera-se o ano com maior volume de produção, pois se a linha for projetada para o *takt time* referente ao ano com maior produção conseguirá cumprir com todos os volumes previstos para os restantes anos. Assim, como podemos constatar na Tabela 4, o pico de produção será no ano de 2022 com um volume de 46377 unidades do modelo, o que se traduz numa procura diária de 186 peças.

Tabela 4 - Volumes de produção e takt time para os vários anos de produção

Ano	Valores do cliente			Takt Time (s/peç)		
	Volumes	Semanas calendarizadas	Procura diária	1 turno	2 turnos	3 turnos
2021	44927	50	180	143	285	428
2022	46377	50	186	138	277	415
2023	44627	50	179	144	287	431
2024	41584	50	166	154	308	463

Analisando então os diferentes cenários, a trabalhar com um turno teria de se produzir uma unidade a cada 138 segundos, a trabalhar a dois turnos já seria a cada 277 segundos, enquanto que a trabalhar a três turnos seria a cada 415 segundos. De ressaltar que este *takt time* foi calculado considerando para a produção durante o turno completo, sendo apenas aplicado no caso de o tempo alocado para a produção ser o turno total. Tendo em conta estes valores, o conteúdo de trabalho dos postos será avaliado para averiguar se trabalhar a um turno é suficiente para cumprir com a procura do cliente ou se é necessária a produção com dois ou três turnos.

4.2.2 Conteúdo de trabalho dos postos

De forma a serem eficientes, os postos de trabalho necessitam de ser estipulados de acordo com a melhor sequência de montagem do produto e de maneira a que os tempos de produção sejam exequíveis de cumprir, ou seja, de acordo com as necessidades do cliente e com a capacidade disponível para a produção. Neste subcapítulo é descrito o estudo teórico dos postos de trabalho assim como do conteúdo de trabalho atribuído a cada um.

Como referido anteriormente, na fase da planificação do projeto é definido teoricamente o conceito da linha de produção. Para tal, são registadas todas as tarefas que constituem a montagem final do produto, sendo estas posteriormente divididas pelos postos de trabalho propostos. A determinação da sequência de produção e do número de posto de trabalho é elaborada em *workshops* com a equipa de engenharia, onde a primeira fase consiste na definição exata de todas as operações necessárias para o processo, respeitando as precedências de montagem. Após a criação da lista de operações, que se encontra no Apêndice II – Conteúdo de trabalho do produto, efetua-se a divisão das mesmas por postos de trabalho. Posteriormente, a cada operação do posto é atribuído o número de movimentos efetuados na mesma, sendo depois utilizados para o cálculo do tempo de ciclo teórico de cada posto de trabalho e, conseqüentemente, da linha de montagem final. Nas tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 encontram-se as operações distribuídas pelos vários postos assim como o número de movimentos, o tempo manual e tempo máquina em cada posto.

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 5 - Conteúdo de trabalho do posto 1

Posto de trabalho 1			
Operação	Movimentos	Tempo manual (s)	Tempo máquina (s)
Pegar na blenda, ler o código e colocar no dispositivo	6	3,6	
Colocar <i>key pad</i> na blenda	4	2,4	
Pressionar botões para teste de visão às esponjas	2	1,2	
Pegar no <i>display</i> e retirar a película	6	3,6	
Colocar <i>display</i> na blenda e retirar película pequena	5	3	
Pegar na placa de serviço e colocar no <i>display</i>	5	3	
Fechar máscara de aparafusamento	3	1,8	
Aparafusamento automático			47
Abrir máscara de aparafusamento	3	1,8	
Montar cabo da <i>mainboard</i> e do <i>display</i> e pressionar botões para teste de visão aos cabos	14	8,4	
Dobrar cabo da placa de serviço	3	1,8	
Colocar nova película no ecrã do <i>display</i> e deixar conjunto para o posto seguinte	8	4,8	
	59	35,4	47

Tabela 6 - Conteúdo de trabalho do posto 2

Posto de trabalho 2		
Operação	Movimentos	Tempo manual (s)
Colocar <i>pivot</i> no dispositivo	4	2,4
Colocar caixilho no dispositivo	5	3
Montar blenda no caixilho	8	4,8
Colocar botões na blenda	18	10,8
Pressiona botão para teste de visão aos botões	2	1,2
Empurrar gaveta para dentro	3	1,8
Prensa automática		4
Puxar gaveta e colocar aparelho para o posto seguinte	6	3,6
	46	31,6

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 7 - Conteúdo de trabalho do posto 3

Posto de trabalho 3		
Operação	Movimentos	Tempo manual (s)
Colocar conjunto no dispositivo	5	3
Colocar base rotativa 1 na posição correta	3	1,8
Colocar placa principal na base rotativa	4	2,4
Montar os cabos na placa principal	11	6,6
Pressionar botão para teste de visão aos cabos e <i>gap filler</i>	2	1,2
Fechar base rotativa 2	4	2,4
Carregar no botão e abrir base rotativa 2	4	2,4
Colocar placa principal na posição final	5	3
Colocar tampa inferior no aparelho	10	6
Retirar base rotativa 1	3	1,8
Rodar aparelho 180 graus	5	3
Fechar o <i>snap</i>	3	1,8
Colocar tampa superior no aparelho	10	6
Retirar aparelho para o posto seguinte	4	2,4
	73	43,8

Tabela 8 - Conteúdo de trabalho do posto 4

Posto de trabalho 4			
Operação	Movimentos	Tempo manual (s)	Tempo máquina (s)
Colocar aparelho no dispositivo	5	3	
Aparafusamento automático			70
Colocar etiqueta no aparelho	6	3,6	
Retirar aparelho para posto seguinte	4	2,4	
	15	9	70

Tabela 9 - Conteúdo de trabalho do posto de montagem da back cover

Posto de trabalho Back Cover		
Operação	Movimentos	Tempo manual (s)
Colocar <i>back cover</i> no dispositivo	4	2,4
Colocar aparelho do dispositivo	5	3
Fechar máscara de aparafusamento	3	1,8
Aparafusamento manual (4 parafusos)	20	12
Abrir máscara de aparafusamento	3	1,8
Ler etiqueta no passaporte	5	3
Colar etiqueta no aparelho	4	2,4
Retirar aparelho para o posto seguinte	4	2,4
	48	28,8

Para auxiliar nesta tarefa, recorre-se a um documento *excel*/denominado *Work Combination Table* (WCT), onde se colocam as operações de cada posto de trabalho e o respetivo número de movimentos, sendo este último multiplicado por 0,6 segundos² para se obter o tempo de ciclo manual do operador. Esta ferramenta permite verificar se os postos de trabalho apresentam tempos de ciclos equivalentes ou se é necessário proceder ao balanceamento dos mesmos, de forma a nivelar os tempos de ciclo. Para além disso, permite verificar, através de gráficos, que posto será o estrangulamento, ou seja, que posto limitará o desempenho do sistema produtivo e que necessita de alterações. No decorrer da implementação da linha de produção são elaboradas várias versões deste documento até se chegar à versão final, uma vez que ao longo do projeto surgem oportunidades de melhoria e têm de ser efetuadas alterações aos postos de trabalho ou devido a modificações que possam ser feitas no próprio produto até este entrar em produção em série. No Apêndice III – *Work Combination Table* no início e fim do projeto encontram-se as versões deste documento no início e no fim do projeto.

É de realçar que o posto de trabalho 1, 2, 3 e 4 fazem parte da zona de montagem do produto P, e o posto de trabalho de montagem da *back cover* será alocado à zona de testes da linha de produção, sendo os motivos descritos posteriormente.

Após a análise do conteúdo de trabalho e da respetiva distribuição pelos diferentes postos, conclui-se que em teoria apenas será necessário produzir na zona de montagem do produto P durante um turno. Como referido anteriormente, o *takt time* calculado para o cenário de produção com apenas um turno completo de produção é de 138 segundos por unidade, e como é possível constatar pela Figura 31,

² Este valor pode não ser o mais indicado para retratar a duração real de cada movimento nas condições de produção. No entanto, foi usado por ser considerado o valor padrão na empresa onde decorreu o projeto.

prevê-se que o tempo de ciclo de montagem do produto seja inferior ao *takt time* calculado, permitindo cumprir com as necessidades do cliente. Nesta fase, a equipa também define um *target* de tempo de ciclo a atingir para a produção em série, sendo o definido de 92 segundos.

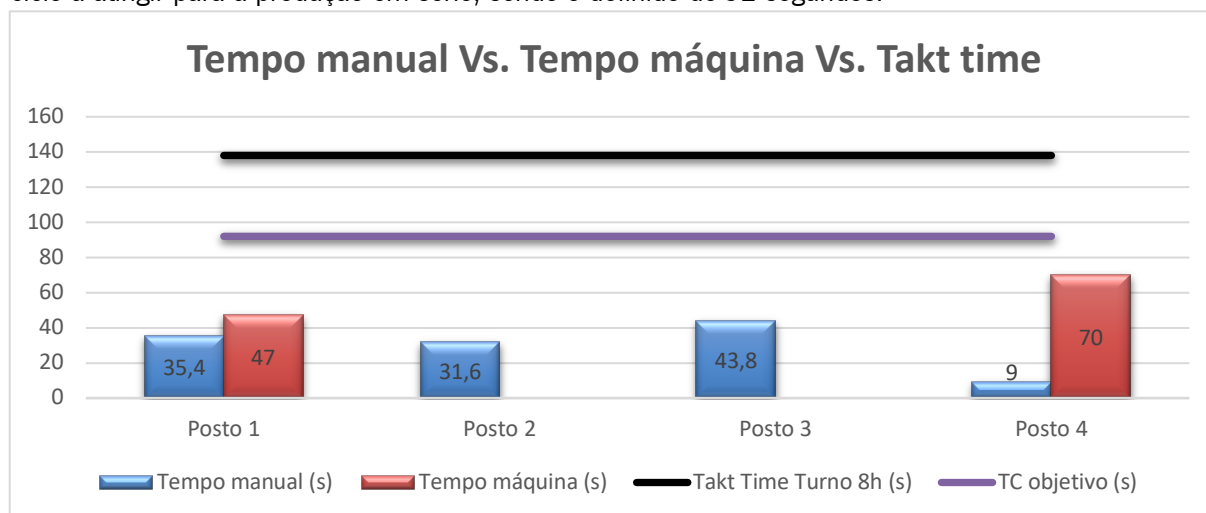


Figura 31 - Tempos manuais e máquina de cada posto de montagem, takt time e tempo de ciclo objetivo

Como o previsto é então produzir em apenas um turno, o ideal seria estudar a capacidade das linhas de montagem já existentes na secção da montagem final e analisar se era possível integrar o novo produto em alguma delas. Inicialmente, foi proposto no decorrer do *workshop* com os engenheiros da APTIV de Braga e Alemanha e o cliente que o produto fosse produzido numa linha já existente da empresa, dedicada aos produtos C, F e PC. No entanto, após a análise do conceito mecânico do produto e as necessidades que este exigia a nível de equipamentos constatou-se que os equipamentos de aparafusamento presentes na linha dedicada aos produtos C, F e PC eram antigos e não era exequível a adaptação dos mesmos para as operações necessárias à montagem do produto P. Adicionalmente, a linha dedicada à produção dos produtos C, F e PC já apresenta elevados tempos de *changeover* entre os vários produtos, não existindo capacidade suficiente para a produção de um produto que exige um *changeover* mais complexo. Desta forma, como o cenário de integrar o produto P numa linha de montagem já existente não é viável, a solução passa pela implementação de uma nova linha de montagem.

Apesar de ter que ser implementada uma nova linha de montagem, no que diz respeito à zona de testes, o produto P irá partilhar a zona já existente na empresa para os produtos C, F e PC, partilhando mais concretamente os equipamentos de sistemas de testes de iluminação. Para tal, efetuou-se um estudo de capacidade para comprovar que é possível partilhar os sistemas de testes já existentes com o produto P. A análise da capacidade encontra-se na Tabela 10. Os cálculos efetuados para o estudo de capacidade encontram-se no Apêndice IV – Cálculo de capacidade dos sistemas de teste.

Tabela 10 - Capacidade dos sistemas de testes de iluminação dedicados aos produtos C, F e PC

Volume diário	Tempo de teste diário estimado (s)	Capacidade dos sistemas de teste
151	14474	
Capacidade diária (s)	Taxa de utilização	Produtos C, F, PC
25650	56,4%	

Como se pode constatar, os sistemas de teste apresentam uma utilização de 56,4%, o que se traduz numa utilização durante 4,02 horas. Como tal, estão ainda disponíveis 3,1 horas das 7,125 horas úteis de um turno. Na Tabela 11 encontra-se o estudo da capacidade necessária para efetuar os testes ao produto P.

Tabela 11 - Capacidade necessária para os testes de iluminação do produto P

Capacidade dos sistemas de teste – Produto P	
Tempo necessário para teste de iluminação	3,74 h
Tempo de teste no 1º turno	3,1 h
Tempo de teste no 2º turno	0,64 h

Analisando os valores da Tabela 11, constata-se que um turno não é suficiente para efetuar o teste de iluminação à quantidade diária do produto P que é necessário produzir. Como tal, a zona de testes terá que trabalhar 3,1 horas do primeiro turno e 0,64 horas do turno seguinte, sendo necessário uma operadora no turno seguinte nesta zona para terminar de testar a produção diária do produto P.

Devido aos baixos volumes de produção planeados e como se tem que implementar uma linha de produção nova para o mesmo, a empresa pretende que no futuro a nova linha seja partilhada com outros produtos. Por essa razão é que foi definido um tempo de ciclo objetivo de 92 segundos. A justificação para este valor deve-se à produção diária ter de ser 186 unidades e de se ter definido que o tempo de produção alocado ao produto P seria 5 horas (sem ter em conta a eficiência operacional). Ou seja, este tempo de ciclo objetivo acaba por ser o novo *takt time*, dado que o tempo disponível para produção passou a ser apenas 5 horas.

É também interessante efetuar-se o estudo de qual será a taxa de utilização da nova linha na zona de montagem. Desta forma se o tempo de ciclo da montagem estimado for os 92 segundos definidos como objetivo e a procura diária estimada são 186 rádios, então a linha estará em funcionamento aproximadamente 4,75 horas diariamente (tempo de alocado de 5 horas tendo em conta a eficiência operacional de 95%). Isto ajuda a comprovar a decisão de utilização de apenas um turno para a montagem final do produto P. Os valores deste estudo encontram-se apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Utilização da linha de montagem do produto P

Volume diário	Tempo de produção diário estimado (s)
186	17067
Capacidade diária (s)	Taxa de utilização
25650	66,54%

Se a linha atingir a tempo de produção estimado estará a ser utilizada apenas em 66,5% da sua capacidade. Isto vai ao encontro do objetivo da empresa, que pretende, no futuro, tornar a nova linha de produção numa linha partilhada com outros produtos, existindo assim capacidade para tal.

4.2.3 Cálculo do número de operadores e equipamentos

Para além do estudo efetuado anteriormente, é necessário definir o número de equipamentos e operadores necessários para todos os postos, de forma a cumprir com o tempo de ciclo estipulado para a produção em série e as necessidades do cliente. Assim, constatou-se que o *takt time* do produto é 138 segundos e, para os postos da linha de montagem, os tempos de ciclo manual do operador são 35,4 segundos, 31,6 segundos, 43,8 segundos e 9 segundos. Desta forma, no total, o tempo de ciclo manual do operador nos quatro postos da linha de montagem é aproximadamente 120 segundos.

Apesar do estudo do *takt time* ser efetuado para um cenário de trabalho durante um turno completo (7,125 horas), pretende-se que o número de operadores seja definido tendo em conta que a linha será partilhada, ou seja, num futuro serão introduzidos novos produtos para serem produzidos na mesma linha. Como tal, definiu-se que o tempo alocado no turno para a produção do produto P seria 5 horas (e depois ter em conta a eficiência operacional). Os valores considerados para o cálculo da necessidade de operadores encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Necessidades de operadores na zona de montagem

Necessidade de operadores	
Volume diário	186
Tempo disponível (s)	17100
TC objetivo (s)	92
Conteúdo de trabalho (s)	120
Tempo de trabalho estimado (s)	22224
Nº operadores necessários	1,3

Como é possível verificar, para cumprir com o tempo de ciclo estipulado são necessários 2 operadoras. Este número foi obtido através da divisão do conteúdo de trabalho pelo tempo de ciclo objetivo estipulado.

Na *Aptiv*, uma linha de montagem final não é constituída apenas pelos postos de montagem, incluindo ainda os postos de testes ao produto, como já referido. Quanto aos equipamentos de testes, estes são

constituídos por várias *fixtures*, sendo necessário calcular o número de equipamentos (e respetivas *fixtures*) necessárias para testar o produto dentro do *takt time*. Os equipamentos de testes podem apresentar tempos de ciclo diferentes de produto para produto e de teste para teste. Dado que normalmente os tempos de testes são superiores ao tempo de ciclo da montagem, é necessário utilizar vários equipamentos de teste em simultâneo, de forma a nivelar os tempos de teste com os tempos de ciclo da montagem e evitar tempos de espera e acumulação de WIP.

Quanto ao MOL, este consiste numa máquina única constituída por colunas com um número definido de 3 *fixtures*. Como o tempo deste teste é aproximadamente 660 segundos, são necessárias 7 *fixtures* para cumprir com o tempo de ciclo estipulado. Como cada coluna tem 3 *fixtures*, serão instaladas 9 *fixtures* para os testes MOL. O equipamento que efetua o teste de iluminação trata-se de uma máquina com uma única *fixture*, onde a duração do teste é ronda os 145 segundos. Assim, são necessárias 2 máquinas de iluminação para ir ao encontro ao ritmo estabelecido para a montagem. Já os equipamentos de EOL possuem cada um duas *fixtures*, onde a duração do teste é cerca de 230 segundos. Assim é necessário calcular o número de *fixtures* necessárias, chegando-se à conclusão que são necessárias 3 *fixtures*, o que consiste em 2 equipamentos. Como cada equipamento tem obrigatoriamente 2 *fixtures*, serão instaladas 4 *fixtures* para os testes EOL. Os valores considerados para o cálculo da necessidade de equipamentos estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Necessidades de equipamentos na zona de testes e embalagem

	MOL	Iluminação	EOL	CMI
TC objetivo (s)	92			
Tempo de ciclo (s)	660	145	230	15
Número de máquinas necessárias	7	2	3	0,2
TC do equipamento (s)	73,3	72,5	57,5	15

4.3 Produção em pré-séries

Com o conhecimento do *takt time*, os volumes de produção do produto P, das operações necessárias referentes à montagem final do autorrádio e das necessidades de equipamentos e operadores, estão reunidas as condições necessárias para a implementação da nova linha de produção orientada ao produto.

A segunda fase do processo de integração de um novo produto na empresa consiste na produção de pequenas quantidades do produto P com o intuito de testar o mesmo e os processos que compõem o processo produtivo, sendo efetuadas melhorias entre as várias pré-séries até se atingir o objetivo pretendido. O intuito da fase das pré-séries é projetar o modo como o sistema produtivo irá funcionar

aquando a produção em série, analisando e melhorando o mesmo para que eventuais desperdícios possam ser antecipadamente reduzidos.

4.3.1 Protótipo da nova linha de montagem

A primeira etapa na fase de produção em pré-séries consiste na realização de um protótipo da linha de montagem, ou seja, na produção de um reduzido número de aparelhos pela equipa de engenharia com recurso a uma linha de montagem destinada apenas para pré-séries iniciais na empresa. Neste protótipo é efetuada a montagem manual do produto, com o objetivo de identificar as necessidades mecânicas de montagem do aparelho e oportunidades de melhoria para o processo de montagem. A linha onde é realizada a simulação é composta por elementos mínimos, mas essenciais, para a montagem do produto como bancadas de trabalho, máquinas de aparafusamento e rampas de abastecimento de material.

Nesta pré-série inicial, a montagem dos aparelhos é efetuada pela equipa de engenharia em conjunto com 1 ou 2 operadoras, sendo este o primeiro contacto das mesmas com o processo e o produto, o que tem como consequência várias paragens na produção para o esclarecimento de dúvidas. Por este motivo não é efetuado um estudo de tempos no decorrer desta pré-série, uma vez que não iria retratar a realidade. O *feedback* das operadoras acerca do processo e do produto é fundamental para perceber que fatores têm que se ter em conta e que alterações terão que ser efetuadas aquando a implementação da linha de produção que será destinada ao produto P.

A nível ergonómico tanto as bancadas de trabalho como as rampas de abastecimento podem não ser as mais adequadas para o processo, uma vez que a linha de montagem é apenas usada para os protótipos de novos produtos e não é a versão final da linha onde decorrerá a produção do produto. Esta pré-série também tem como objetivo verificar as características necessárias a nível ergonómico, sendo posteriormente os postos de trabalho alterados e o material disposto de maneira diferente, e contruídas rampas de abastecimento mais adequadas. Na Figura 32 encontra-se a linha utilizada para a realização deste protótipo.

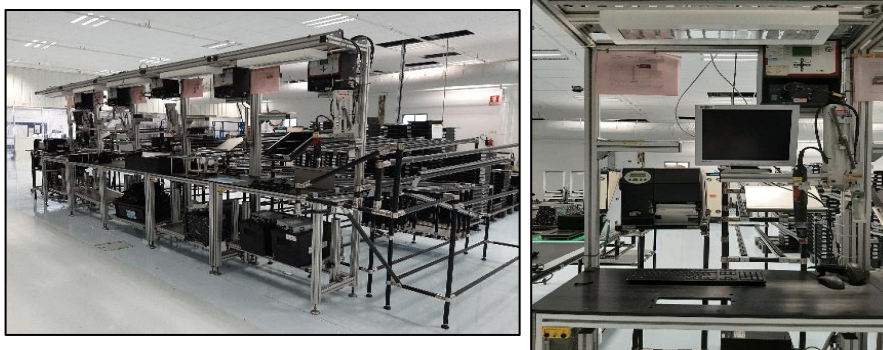


Figura 32 - Linha utilizada para a pré-série protótipo

4.3.2 Disposição da linha de montagem

Na fase de planificação do projeto, onde ainda não eram conhecidas as necessidades mecânicas do produto, foi apresentada a primeira proposta relativamente à localização da linha de montagem. Como referido anteriormente, após a constatação que não seria possível integrar o produto numa linha já existente, mas que a nível de testes era possível a utilização de equipamentos já existentes no chão de fábrica, a proposta sugeria a colocação da nova linha de montagem paralelamente à linha de produção dos produtos C, F e PC. Esta proposta encontra-se representada na Figura 33. Nesta fase ainda não era conhecido o número de postos necessários nem a sua respetiva estrutura e disposição.

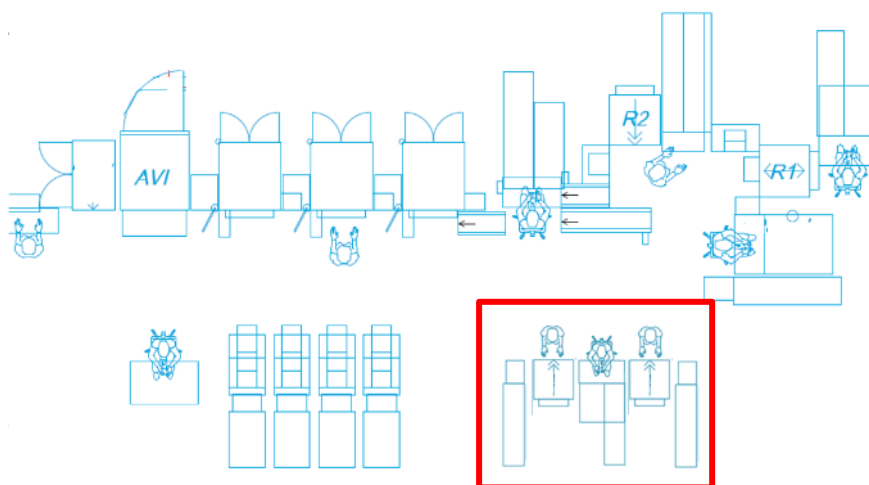


Figura 33 - Primeira versão da localização da nova linha de montagem

Após a pré-série na linha protótipo foram realizadas reuniões com o objetivo de definir o *layout* final da linha de montagem, tendo como propósito a criação de um fluxo contínuo do processo, dado que um dos objetivos é evitar a criação de *buffers*. Na Figura 34 pode-se encontrar a versão final do *layout* da linha de montagem detalhada.

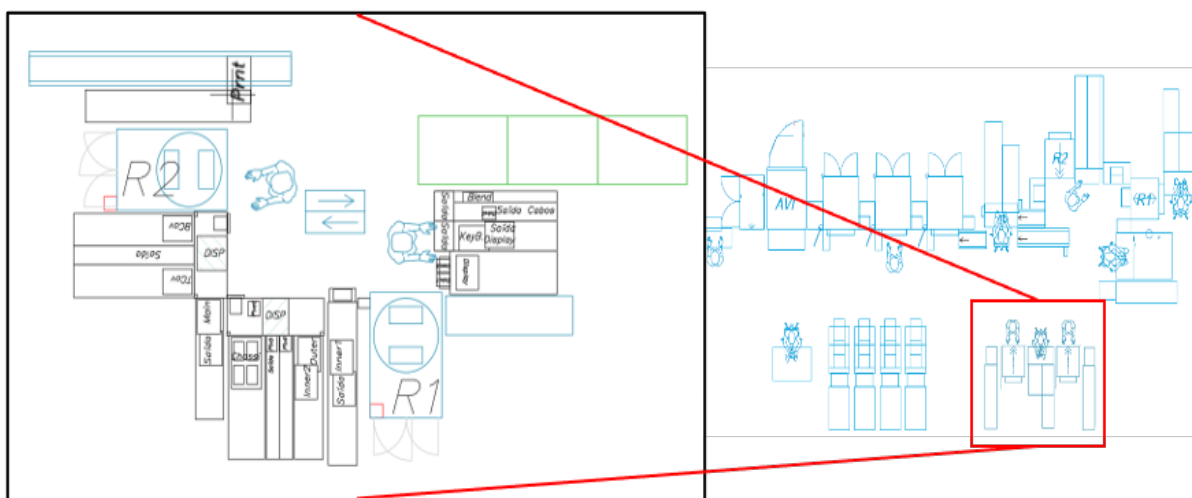


Figura 34 - Layout final da linha de montagem

Analisando a pormenor o *layout* da linha de montagem, podemos constatar a existência dos quatro postos de trabalho, cujo conteúdo de trabalho foi apresentado no subcapítulo 4.2.2. No entanto, quando analisado o conteúdo de trabalho, efetuou-se a divisão do mesmo por cinco postos de trabalho. O quinto posto de trabalho, denominado por posto de montagem da *back cover*, foi posicionado após os testes funcionais e antes de enviar o produto para o cliente devido a condições e requisitos estabelecidos no *workshop* com o cliente. Esta exigência deve-se ao facto da *back cover* ser um componente cosmético que constitui o produto e para evitar a ocorrência de riscos e danificações na mesma, a sua montagem deve ser realizada o mais próximo do envio para o cliente.

4.3.3 Postos de trabalho

Quando analisada a área da montagem final constatou-se que a maioria das linhas de montagem possuíam o processo de aparafusamento, sendo este efetuado manualmente pelas operadoras com recurso a um dispositivo de aparafusamento, como o representado na Figura 35.

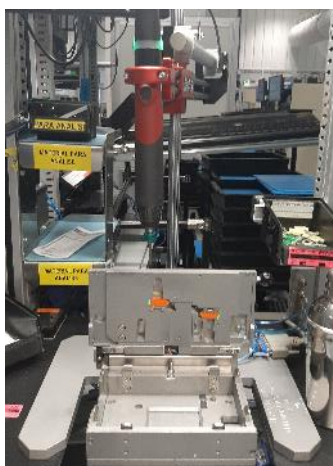


Figura 35 - Dispositivo de aparafusamento manual

No entanto, na fase de planificação do projeto ficou definido que a linha de montagem não iria possuir aparafusamento manual, sendo constituída apenas por *robots* que permitam o aparafusamento automático. Isto deve-se à regra existente na empresa, que dita que quando uma operação exigir o aparafusamento de mais de 4 parafusos seguidos, deve-se recorrer ao aparafusamento automático, de forma a diminuir o tempo de operação e a prevenir lesões musculoesqueléticas nos operadores, que podem ser causadas pelo movimento repetitivo que o aparafusamento manual exige.

O processo de aparafusamento em materiais de plásticos e metais é efetuado de forma distinta, pelo que os *robots* de aparafusamento automático devem ser programados previamente consoante o material, de forma a evitar a produção de peças não conformes.

Sub-assembly Gap Filler Offline

Externamente à linha de montagem existe o posto do *GapFiller Offline*, que já foi descrito anteriormente. Este é um posto que já existia previamente na empresa, sendo também utilizado para outros produtos. O tempo de ciclo deste equipamento é cerca de 30 segundos por unidade. Na Figura 36 pode-se visualizar o processo que decorre neste posto.

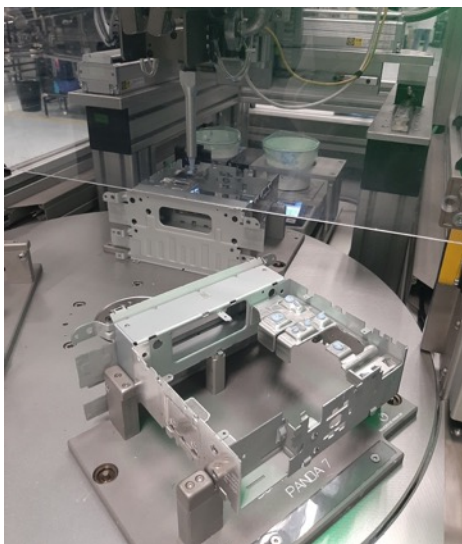


Figura 36 - Processo efetuado no posto do GapFiller Offline

Zona de montagem

A zona de montagem é composta por quatro postos, mais precisamente dois *robots* de aparafusamento automático e duas bancadas constituídas por dispositivos de apoio à montagem.

No posto 1 efetua-se o primeiro aparafusamento do processo entre a blenda, a placa de serviço e *display*. Como tal, o posto é constituído por um *robot* de aparafusamento automático e pelas rampas de abastecimento do material referido. De referir que neste posto são aparafusados 12 dos 26 parafusos do produto. No segundo posto de trabalho procede-se à junção da blenda com o caixilho e à montagem dos botões na blenda através da utilização de uma prensa. O posto é ainda composto pelas rampas de abastecimento do material necessário às operações. No posto 3 ocorre a montagem da placa principal com o conjunto montando nos postos anteriores, finalizando com a colocação das tampas no caixilho. Para tal, recorre-se à utilização de um dispositivo que facilita a montagem. No posto estão ainda presentes as rampas de abastecimento do material necessário. No último posto efetua-se o aparafusamento dos componentes que foram montados no posto anterior, sendo aparafusados 10 dos 26 parafusos do produto.

Na Figura 37 pode-se visualizar os quatro postos acima descritos no chão de fábrica da empresa.

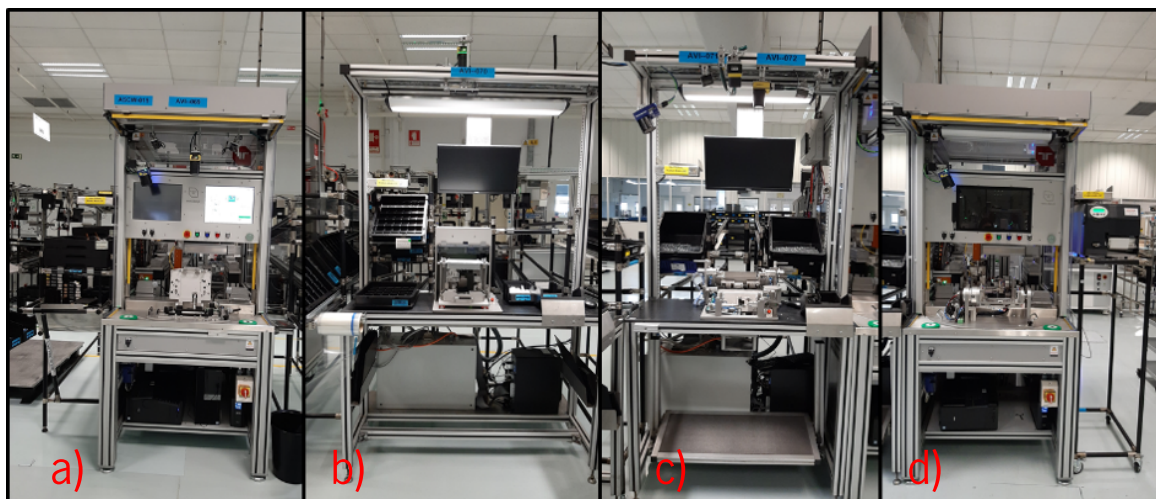


Figura 37 - Postos de trabalho da linha de montagem: a) Posto 1; b) Posto 2; c) Posto 3; d) Posto 4

Zona de testes

No que diz respeito aos testes de qualidade, podemos classificá-los em dois tipos: os testes subjetivos, que exigem a interação do operador (por exemplo, clicar nos botões para verificar o seu funcionamento) e os testes objetivos, que são realizados de forma automática, tendo a operadora apenas que colocar o produto no equipamento de teste.

O teste MOL consiste no primeiro teste a que o produto é sujeito. No equipamento ocorre a programação a 100% às placas. O equipamento é constituído por nove *fixtures*, sendo possível efetuar o teste a nove aparelhos simultaneamente. Este é considerado um teste objetivo, uma vez que a operadora apenas tem que colocar o aparelho no equipamento e o teste é feito automaticamente.

Relativamente aos equipamentos de teste de iluminação é possível encontrar dois equipamentos na zona de testes, onde cada um tem capacidade de testar um aparelho de cada vez. Assim, pode-se efetuar o teste a dois aparelhos simultaneamente. Este é considerado um teste subjetivo, uma vez que após o equipamento terminar o teste automático, a operadora necessita de testar o *touch* do *display* e o funcionamento dos botões.

O teste EOL consiste num teste funcional às saídas do aparelho como o áudio, *display* e USB. É também utilizado para verificar se o aparelho foi corretamente programado. Na linha podem-se encontrar dois equipamentos dedicados a este teste, onde cada um é constituído por duas *fixtures*, sendo possível efetuar o teste a quatro aparelhos simultaneamente. Este teste é classificado como um teste objetivo.

Como referido anteriormente, na zona de testes foi colocado o posto de montagem da *back cover*. Neste posto efetua-se a montagem da *back cover* no aparelho, sendo adicionada uma etiqueta passaporte ao

aparelho no final. De referir que neste posto são aparafusados manualmente 4 dos 26 parafusos do produto.

A CMI é utilizada para verificar as características externas do rádio, ou seja, confirma se o aparelho possui todos os componentes externos que o devem constituir. O equipamento permite testar apenas um rádio de cada vez e o teste efetuado é considerado objetivo.

Por último, na zona de embalagem, existe uma bancada onde o aparelho é etiquetado e embalado, sendo transportado para a zona de expedição.

Na Figura 38 pode-se visualizar os vários equipamentos e postos acima descritos no chão de fábrica da empresa.



Figura 38 - Equipamentos e postos na zona de testes na linha de produção: a) Teste MOL; b) Teste Iluminação; c) Teste EOL; d) Posto Back Cover; e) Teste CMI; f) Embalagem

4.3.4 Material e rampas de abastecimento

Para além de definir os postos de trabalho é necessário construir rampas apropriadas aos materiais que são abastecidos em cada um dos postos. Neste subcapítulo serão apresentados os materiais utilizados na linha de montagem e os respetivos tabuleiros selecionados para o seu transporte, assim como as rampas para abastecer a linha de montagem. É efetuada ainda uma avaliação ergonómica às rampas de abastecimento, com o objetivo de avaliar se estas cumprem com os princípios ergonómicos.

A responsabilidade do abastecimento das linhas de produção com os vários materiais necessários está a cargo do Departamento de Planeamento e Controlo Logístico (PC&L). O abastecimento de material e a recolha das caixas vazias é, então, responsabilidade dos vários colaboradores do PC&L, sendo efetuado segundo uma rota normalizada em termos de percurso e tempo, utilizando como ordem de encomenda os manifestos. Assim, vamos de encontro à filosofia *Pull*, e produz-se apenas o que é necessário, quando é necessário e na quantidade necessária. A disposição dos materiais na linha de montagem é denominada de "*parts presentation*" e deve ser realizada tendo por base alguns critérios como os requisitos ergonómicos relativamente ao peso dos tabuleiros, distância entre a operadora e o material, altura das rampas de abastecimento, comprimento das rampas necessário para estar de acordo com as

rotas do PC&L e espaço requerido para a linha. Devem também ser analisados quais os melhores tabuleiros para cada material e os respetivos interiores, de forma a facilitar o acesso à operadora e evitar risco de danificação de componentes.

Tabuleiros e materiais utilizados

Na tabela 15 estão representadas as características dos tabuleiros onde são colocados os vários materiais utilizados na linha e o respetivo posto em que são colocados.

Tabela 15 - Características dos tabuleiros utilizados na linha de montagem

Material	Tabuleiro	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)	Posto
Placa de serviço & Blenda		400	300	60	1,12	1
Cabos & Pivot		190	150	105	0,095	1;2
Keypad		170	100	75	0,076	1
Display		450	290	25	0,07	1
Caixilho		400	300	90	1,2	2
Knobs, Botões & Placa principal		400	300	70	1,12	2;3
Tampas		400	300	165	1,5	3

O tabuleiro e o respetivo interior para cada material são definidos segundo o peso do material, o espaço disponível na bancada para a entrada dos materiais e a melhor forma de disposição do material no posto para a operadora. Como na empresa os lotes de produção são de 12 unidades, o interior dos tabuleiros é definido para esse valor ou para múltiplos do mesmo. No Anexo III – Apresentação do material e dos

tabuleiros de abastecimento encontram-se todos os tabuleiros escolhidos e respetivos materiais apresentados.

Rampas de abastecimento

Como referido cada um dos tabuleiros é abastecido no posto de trabalho através das rampas de abastecimento associadas ao mesmo, que são colocadas por detrás do posto de trabalho ou ao lado deste, de modo a não perturbar o funcionamento normal do posto de trabalho. Estas rampas são constituídas por roletes com inclinação, permitindo assim o deslizamento dos tabuleiros com o material. Convém referir que, na linha em estudo, o comprimento das rampas de abastecimento não reflete o ciclo de abastecimento, visto que este varia de linha em linha e ainda não foi possível determinar o ciclo de abastecimento da linha em análise. Na Figura 39 está apresentada uma das rampas presentes nos postos.



Figura 39 - Exemplo de uma das rampas de abastecimento presentes na linha de montagem

Após o diálogo com os colaboradores da equipa do PC&L, as operadoras que trabalham na linha e os chefes de equipa, surgiram várias queixas relativamente às características das rampas de abastecimento. Não sendo possível analisar todos os problemas e sendo o maior foco das queixas relacionado com o esforço que é necessário efetuar para abastecer as rampas de abastecimento, optou-se por efetuar um estudo antropométrico à altura das rampas na perspetiva de quem abastece as rampas, avaliando assim se as rampas cumprem com os requisitos ergonómicos.

O estudo foi realizado para a população portuguesa do sexo feminino e masculino, dado que tanto homens como mulheres constituem as equipas do PC&L. Normalmente, a entrada do material é efetuada

pela parte superior da rampa e a saída pela parte inferior, como é possível constatar na Figura 39, podendo haver exceções em algumas rampas.

Uma vez que estamos a lidar com alturas máximas de alcance, e que os colaboradores do PC&L podem ser do sexo feminino como do masculino, estabeleceu-se como referência, a altura da população feminina portuguesa para a entrada do material e a altura da população masculina portuguesa para a saída do material. A dimensão de referência selecionada para a altura relativa ao abastecimento do material da rampa foi a altura dos ombros do percentil 5º da população feminina, evitando assim riscos de lesão provocados por levantamentos excessivos e assegurando que há uma visibilidade para a parte superior das rampas. No entanto, nos casos em que as rampas possuem duas entradas para abastecer material, teve-se como referência a altura dos ombros referida para uma das entradas e a altura dos cotovelos do percentil 5º da população feminina para outra. Quanto à altura da saída do material, escolheu-se como referência a altura dos joelhos do percentil 95º da população masculina, permitindo assim evitar grandes achamentos e havendo folga para a existência da inclinação necessária. Na Tabela 16 encontram-se as alturas definidas para a entrada e saída das rampas de abastecimento, de acordo com as premissas descritas anteriormente. Note-se que os valores tiveram em consideração a correção de 25 mm para o calçado.

Tabela 16 - Dimensões definidas para as rampas de abastecimento (perspetiva do abastecedor)

	Rampa com 2 entradas superiores	Rampa com 1 entrada superior	Rampa com 1 entrada inferior	Rampa com 2 entradas superiores e 1 saída superior e inferior
Altura de entrada de material (mm)	1207	1207	911	1207
	911			911
Altura de saída de material (mm)	616	616	1207	1207
				616

Analisando a Tabela 16, verifica-se que a altura máxima do abastecimento pode ser 1207 mm e a altura mínima pode ser 616 mm. Nos casos das rampas com mais de uma entrada, considera-se que o material com maior rotatividade deve ser abastecido à altura dos cotovelos, ou seja, nos 911 mm. O mesmo acontece quando a entrada do material é efetuada pela parte inferior da rampa. Estas dimensões também podem ser utilizadas para uma eventual análise das rampas na perspetiva do operador que se encontra a trabalhar no posto de trabalho. Ou seja, estando a entrada do material por parte do abastecedor a ser efetuada à altura da máxima definida, a inclinação no sentido do posto do trabalho

deve ser a descer, dado que a altura não pode ultrapassar a dimensão estabelecida. Quando à saída, se esta ocorrer a altura mínima estabelecida, a inclinação ocorre no sentido oposto, ou seja, o tabuleiro tem que descer no sentido do posto de trabalho para o lado do abastecedor da linha. Tendo por base estes critérios, pode-se no futuro avaliar as rampas de abastecimento na perspetiva do operador da linha.

Estando os critérios definidos, efetuou-se a medição da altura das rampas instaladas na linha de montagem nova e comparou-se com os valores definidos na Tabela 16. As percentagens de insatisfeitos podem ser consultadas na Tabela 17. A tabela de dados antropométricos da população portuguesa e da distribuição normal utilizadas para o estudo podem ser consultadas no Anexo II – Dados antropométricos da população portuguesa e no Anexo IV – Tabela da distribuição normal, e as rampas instaladas na linha de montagem encontram-se no Anexo V – Apresentação das rampas de abastecimento instaladas.

Tabela 17 - Medição da altura das rampas de abastecimento da linha de montagem

	Posto 1				Posto 2				Posto 3			
Altura de entrada de material (mm)	1015	1300	1015	1175	1010	1380	1150	970	1190	1220	1160	
De acordo com os valores definidos	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	
Percentagem de insatisfeitos (%)	70	41	70	-	66,3	83,8	99,93	33,7	-	7,6	-	
Altura de saída de material (mm)	475	1300	1300	500	1340	800	1270	800	1000			
De acordo com os valores definidos	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim			
Percentagem de insatisfeitos (%)	97	41	41	89,4	64,7	-	24,8	-	-			

Analisando a Tabela 17, pode-se concluir que as percentagens de insatisfeitos são significativas na maioria das rampas analisadas, sendo necessário efetuar alterações nas dimensões das rampas de abastecimento instaladas, de forma a diminuir a probabilidade de lesões por parte dos operadores que abastecem as rampas.

4.3.5 Instruções de trabalho normalizadas

Uma das necessidades para o projeto era a criação das instruções de trabalho dos vários postos que constituem a linha de produção. Estas têm como objetivo descrever todas as operações inerentes à produção do produto num determinado posto de trabalho, de forma a que o processo seja o mais eficiente possível. Para tornar estes documentos mais perceptíveis e auxiliar as operadoras associam-se fotografias a cada operação do processo. São ainda colocadas fotografias dos postos de trabalho e os códigos dos dispositivos e equipamentos utilizados em cada posto de trabalho.

Para o preenchimento do documento utiliza-se o mesmo princípio da WCT, em que a cada operação se associa o número de movimentos, através dos quais é possível chegar ao tempo de ciclo teórico de todo o processo. Na Figura 40 encontra-se um exemplo de uma instrução de trabalho do produto em estudo.

APTIV ELECTRONICS & SAFETY

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho

Effective Date / Data Efectiva: _____ Content Reviewed Date / Data de Revisão: _____ Page 1 de 3

Processo / Modelo: _____
 Lugar: **WP1 (Robot 1)**
 Ref. Doc.: _____

Sinalética de Segurança: -Quando aplicável-

Notas importantes:
 SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TÊM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE
 NO FINAL DO TURNO, DEIXAR O LUGAR ORGANIZADO E LIMPAR COM AS TOALHITAS COM ÁLCOOL

No. da Op.	Seq. da Op.	Elemento	Element Time			
			min	sec	mil	seg
		Mão Esquerda				
		Mão Direita				
1		Pege na blanda, lê o código e coloca no dispositivo (Foto 1)	4	2,4		
2		Coloca gap pad na blanda (Foto 2)	4	2,4		
3		Pressiona botões para teste de vídeo às esponjas	2	1,2		
4		Pege no display e retira a película (Foto 3)	6	3,6		
5		Coloca display na blanda e retira película pequena (Foto 4)	5	3,0		
6		Monta cabo de mão (Foto 5)	6	3,6		
7		Pege na placa de serviço e coloca em cima do display (Foto 6)	5	3,0		
8		Fecha máscara de aperfeiçoamento (Foto 7)	3	1,8		
9		Aperfeiçoamento automático				
10		Abre máscara de aperfeiçoamento (Foto 8)	3	1,8		
11		Monta cabo do display e pressiona botões para fazer teste de vídeo aos cabos (Foto 9)	8	4,8		
12		Retira cabo de placa de serviço (Foto 9)	3	1,8		
13		Coloca nova película no ecrã do display e deixa conjunto para o posto seguinte (Foto 10)	8	4,8		
Total			57	34,2		

Realizado por: _____ Verificado por: _____ Aprobado por: _____

Nome: _____

Figura 40 - Instrução de trabalho de um dos postos da linha de produção

Foram elaboradas instruções de trabalho para todos os postos pertencentes à linha de montagem do produto P, como para os postos da zona de testes, tendo todos os documentos sido elaborados pela autora da dissertação. Por questões de confidencialidade, apenas é apresentado o exemplo da Figura 40.

4.3.6 Soluções de prevenção de erros

Durante a pré-série na linha protótipo verificou-se a necessidade de criar vários mecanismos, de forma a evitar erros de processamento como colocar componentes no local errado, efetuar as operações na sequência errada, deixar peças não conformes prosseguir no processo, entre outros. Assim, neste

subcapítulo serão apresentados os mecanismos *poka-yoke* implementados nos diferentes postos da linha de produção como resposta às seguintes necessidades:

- Encaixe dos componentes da forma correta no dispositivo como encaixe correto entre componentes;
- Inserção correta dos parafusos;
- Cumprimento da sequência correta de aparafusamento;
- Impedimento de peças não conformes avançar no processo;
- Cumprimento da sequência correta de montagem dos componentes.

Para dar resposta à necessidade de encaixe dos componentes de forma correta no dispositivo utiliza-se mecanismos de contacto nos vários postos. Ou seja, pode-se verificar que nos dispositivos que se encontram nos postos existem mecanismos, denominados *jigs*, que permitem que o operador coloque a peça com precisão no lugar correto, proporcionando desta forma a montagem correta do aparelho. No posto 1 é utilizado o *jig* para garantir que a blenda é colocada na posição correta. No posto 2, utilizam-se pinos guia, de forma a garantir que tanto o caixilho como a blenda são colocados corretamente, e o dispositivo apresenta na sua base o formato correspondente ao *pivot* na posição de montagem correta, o que garante a sua colocação sem enganos. Relativamente ao posto 3, este apresenta no dispositivo a base específica para colocar o caixilho e a placa principal na posição correta. O posto 4 possui um *jig* que só permite a colocação do aparelho na posição correta e garante que a etiqueta identificadora do aparelho seja colocada na localização correta. Por último, no posto 5, a base possui pinos que garantem a colocação acertada da *back cover* e apresenta um formato que garante que o rádio é encaixado corretamente também. Os mecanismos descritos encontram-se representados na Figura 41.

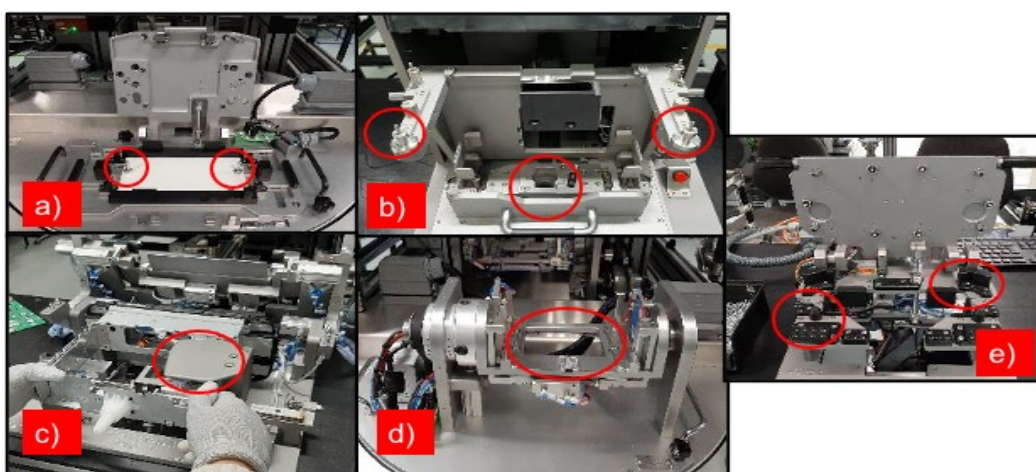


Figura 41 - Mecanismos poka yoke de contacto nos dispositivos: a) Posto 1; b) Posto 2; c) Posto 3; d) Posto 4; e) Posto 5

É também preciso garantir o correto encaixe entre certos componentes. Assim, alguns componentes apresentam pinos guia, que auxiliam o operador a encontrar a posição correta de encaixe entre os componentes. A blenda possui pinos guia que garantem que a operadora encaixa o *key pad*, o *display* e a placa de serviço na posição correta. Para além disso, o orifício onde é suposto encaixar os botões e os *knobs* tem um formato correspondente ao botão que é suposto montar. Já o *display* apresenta encaixes para os cabos com características específicas que tem como objetivo evitar que se encaixe o cabo de ligação no sítio que não lhe corresponde. O caixilho tem um formato que permite colocar a blenda na posição correta e as tampas bem encaixadas. Estes mecanismos podem ser visualizados na Figura 42.

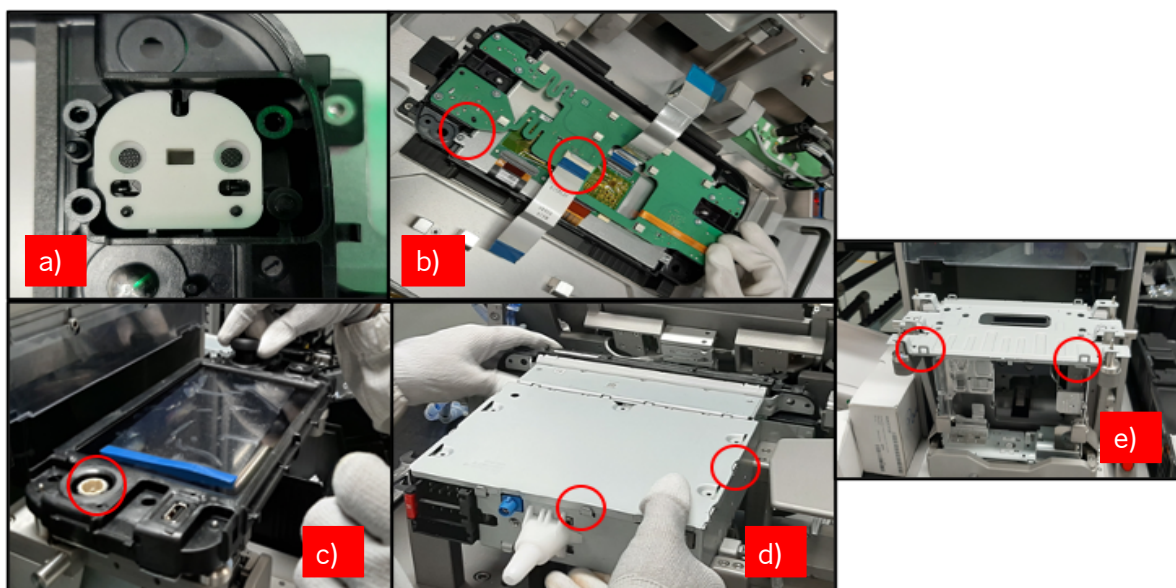


Figura 42 - Mecanismos poka yoke de contacto nos componentes: a) Blenda; b) Display; c) Botões e Knobs; d) Caixilho e tampas; e) Caixilho e blenda

A nível do aparafusamento, para garantir a correta inserção dos parafusos utilizam-se mecanismos de contacto, mais concretamente, é colocada uma máscara de aparafusamento nos dispositivos, com orifícios estrategicamente definidos, que permite que o parafuso seja colocado apenas no local indicado, impedindo que danifique as peças. Pode-se ver um exemplo deste mecanismo na Figura 43.

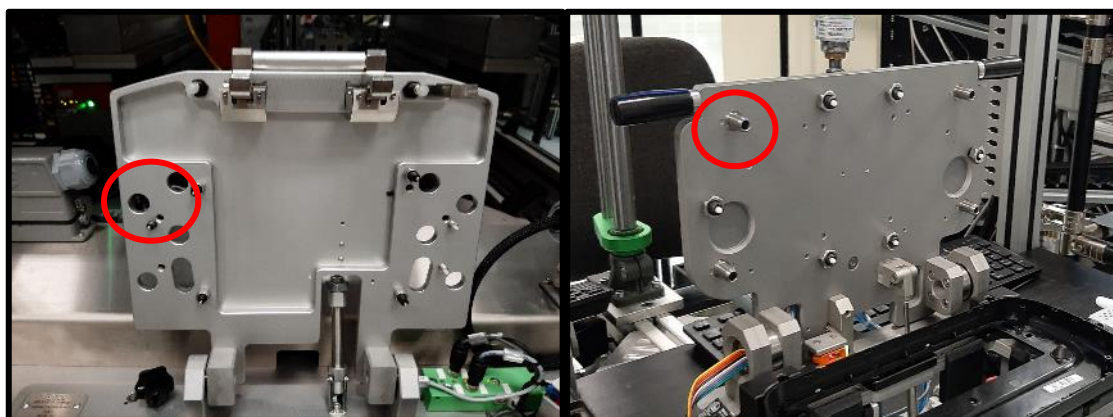


Figura 43 - Mecanismos poka yoke de contacto no aparafusamento

A nível do aparafusamento é ainda necessário garantir que a sequência correta do aparafusamento é cumprida. Para tal, utilizam-se mecanismos de conjunto, nomeadamente, nos postos onde ocorre o processo de aparafusamento, são utilizados computadores com *softwares* que, através da gestão visual, dão indicação da ordem do aparafusamento e se este foi efetuado corretamente ou não, como se pode visualizar na Figura 44.

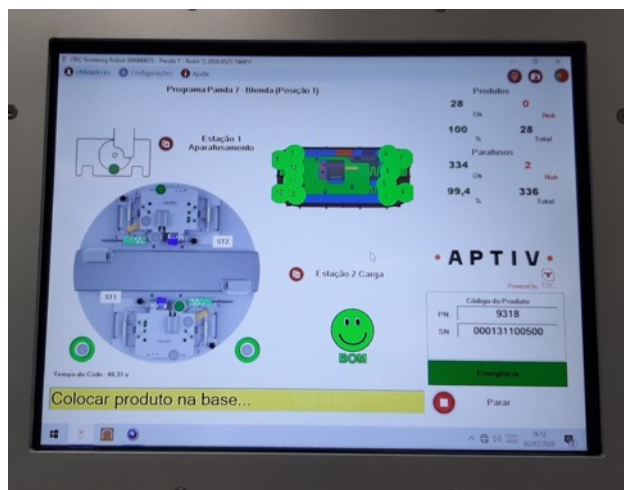


Figura 44 - Mecanismos de conjunto no processo de aparafusamento (Gestão visual)

Para dar resposta às necessidades de cumprimento da sequência correta de montagem dos componentes e impedir que peças não conformes avancem no processo utilizam-se mecanismos de etapas. Para isso, equipou-se os postos de trabalho com câmaras que verificam, através de fotografia, se os cabos estão corretamente conectados, se as esponjas de proteção estão colocadas no local certo, se os botões foram colocados de forma correta, se o *gap filler* não se encontra danificado, se o *snap* do caixilho foi fechado e se a etiqueta foi colocada corretamente no aparelho. São também utilizados *scanners* para a leitura dos códigos QR presentes nas peças com o objetivo de evitar erros de trocas de peças e da realização da sequência errada das operações. Este mecanismo dá um sinal de alerta quando deteta a peça errada. Alguns exemplos destes mecanismos estão representados na Figura 45.

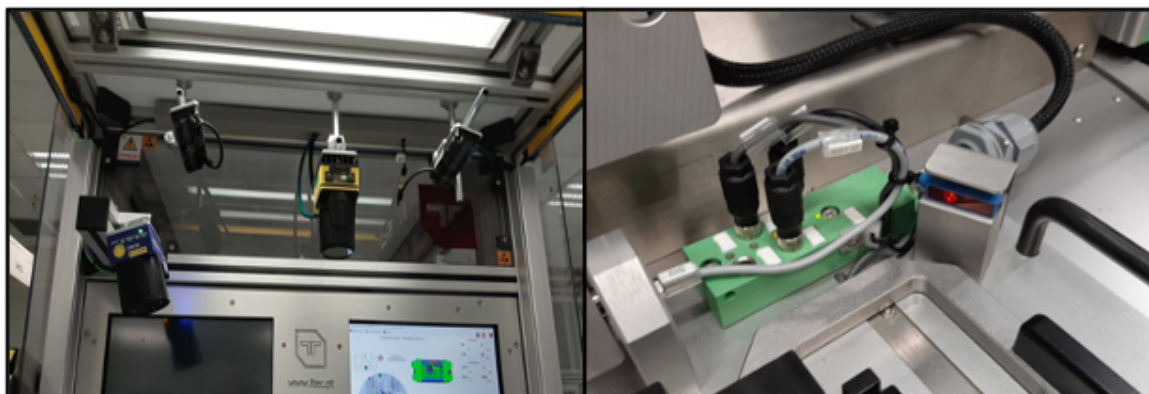


Figura 45 – Scanners e câmaras colocadas nos postos

São ainda utilizados, em todos os postos, ecrãs de computador para, através da gestão visual, apresentar a sequência de montagem. Na Figura 46 pode-se encontrar um exemplo representado.

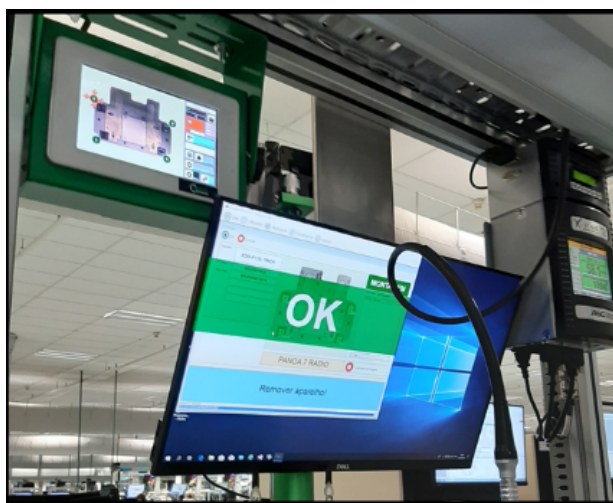


Figura 46 - Gestão visual nos postos

4.3.7 Implementação da metodologia 5S

Um dos pontos retirados das primeiras pré-séries foi o a ocorrência de paragens devido à disposição errada de materiais nas rampas de abastecimento e à falha na sua identificação. Assim, foi revista a linha de montagem e implementou-se a metodologia 5S para evitar falhas como as anteriores no futuro e para tornar o ambiente de trabalho mais limpo e organizado.

Arrumação do material desnecessário, Organização e Limpeza

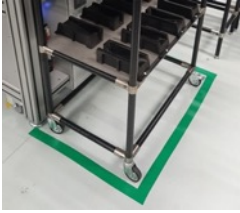



Primeiramente foram retirados do local de trabalho todos os materiais e equipamentos que não eram necessários como, por exemplo, rampas de abastecimento que não iam ser utilizadas, carrinhos de transporte de material e dispositivos de montagem dos equipamentos não necessários. Os materiais e equipamentos mais utilizados na produção foram colocados num local próximo do local de trabalho, de forma a economizar tempo quando estes são necessários. Para tal, foram desenvolvidos dois armários de arrumação, um para a zona de montagem e outro para a zona de testes, onde serão colocados os dispositivos de *changeover* quando não são necessários. Posteriormente à colocação de todos os materiais no seu local designado, efetuou-se uma limpeza à linha de produção, tendo sido ainda retiradas do chão fitas sinalizadoras que já se encontravam desatualizadas.

Identificação e Padronização dos materiais e equipamentos

Como referido anteriormente, é necessário criar padrões para as alterações efetuadas serem respeitadas e mantidas. Para tal, recorreu-se à identificação de todos os materiais e equipamentos através de

etiquetas e fitas sinalizadoras. As cores das fitas sinalizadoras apresentam significados diferentes, como se pode visualizar na Tabela 18.

Tabela 18 - Significado das cores das fitas sinalizadoras

Cores	Local de trabalho
<p>Verde:</p> <p>Sinaliza o material WIP e produto acabado</p>	
<p>Azul:</p> <p>Sinaliza a matéria-prima</p>	
<p>Vermelho:</p> <p>Sinaliza o material para análise ou retrabalho</p>	
<p>Cinza:</p> <p>Sinaliza o equipamento e objetos que permanecem estáticos</p>	

Procedeu-se ainda à colocação de etiquetas nas rampas de abastecimento de forma a informar qual o material que deve ser colocado em cada uma e evitar trocas de material, assim como à identificação dos locais apropriados para a colocação do material para análise. Na Figura 47 encontra-se um exemplo.



Figura 47 - Colocação de etiquetas identificadoras

Criação da disciplina dos 5S

Nos ecrãs em cada posto de trabalho no início e no final da produção é apresentada uma mensagem a indicar para manter o local de trabalho limpo e organizado, apresentando uma imagem padrão de como o posto se deve encontrar.

4.4 Avaliação ergonómica e antropométrica

Havendo a possibilidade de a causa do aparecimento de problemas de saúde dos colaboradores ser a má projeção dos postos de trabalho ou equipamentos, é importante para a empresa desenvolver soluções que evitem estes problemas e que potenciem o bem-estar dos colaboradores. Assim, de forma a avaliar o risco presente na linha na zona de montagem efetuou-se uma avaliação ergonómica com recurso ao método RULA, uma vez que as tarefas exigem esforço com maior intensidade por parte dos membros superiores.

Após a avaliação ergonómica aos postos, constatou-se que seria necessário realizar um estudo antropométrico aos mesmos postos. Como tal, procedeu-se ao dimensionamento antropométrico dos postos de trabalho relacionados com o produto P na zona de montagem que não existiam previamente no chão de fábrica. O objetivo do dimensionamento também passa por criar um posto de trabalho *standard* que cumpra com os requisitos ergonómicos e possa ser utilizado no futuro pela empresa. De salientar que a linha de montagem em estudo é constituída apenas por postos de trabalho em pé, sendo o dimensionamento efetuado para estas condições.

4.4.1 Avaliação ergonómica dos postos de trabalho com o método RULA

Dado que o projeto consiste na implementação de uma nova linha de produção, o que exige a estruturação e construção de postos de trabalho que não existiam anteriormente, é benéfico efetuar a avaliação dos respetivos postos de trabalho para garantir que a probabilidade de ocorrerem problemas futuros relacionados com LMERT seja minimizada. Desta forma, através da recolha de informação sobre os principais fatores de risco existentes no posto de trabalho é possível definir as prioridades para eventuais medidas de intervenção de natureza corretiva.

Desta forma, através do método RULA, realizou-se uma avaliação ergonómica aos postos da zona de montagem. A escolha recaiu nesta ferramenta uma vez que a mesma serve para avaliar o risco de lesões músculo-esqueléticas dos membros superiores ligados ao trabalho e as operações realizadas nos vários postos exigem esforço destes mesmos membros.

A aplicação da ferramenta foi feita através da observação das atividades das operadoras da linha durante vários ciclos de trabalho e de registo videográfico das atividades, sendo selecionadas as posturas mais significantes. Os resultados obtidos nos postos pertencentes à zona de montagem encontram-se representados nas tabelas a seguir (da Tabela 19 à Tabela 30). Os cálculos e os *frames* dos vídeos utilizados encontram-se no Apêndice V – Resultados da avaliação com a ferramenta RULA. Efetuou-se a avaliação tanto para o lado esquerdo como para o lado direito, de forma a avaliar qual o mais exposto a riscos.

Posto de trabalho 1

Na Tabela 19 encontra-se a pontuação para as posturas dos membros superiores mais críticas exercidas no posto de trabalho 1.

Tabela 19 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 1

Pontuação para a postura do membro superior							
Grupo A							
Lado	Braço	Antebraço	Pulso	Rotação Pulso	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação C
Esquerdo	4	3	4	1	0	0	6
Direito	3	2	4	1	0	0	5

Após a atribuição da pontuação a cada membro e da junção com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação C. Posteriormente, são avaliadas as posturas mais críticas exercidas pelo pescoço, tronco e pernas, e juntamente com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação D. Estas pontuações estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 1

Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas					
Pescoço	Tronco	Membros inferiores	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação D
4	4	2	0	0	7

Por fim, faz-se a junção da pontuação C e D para se obter o resultado final da avaliação RULA. O mesmo é apresentado na Tabela 21, para o lado esquerdo e direito do corpo.

Tabela 21 - Pontuação final do método RULA do posto 1

Lado	Pontuação final RULA
Esquerdo	7
Direito	7

Tanto o lado esquerdo como o lado direito obtiveram a pontuação de 7, o que significa que a atividade deve ser investigada e devem ser efetuadas mudanças imediatamente. Apesar de a pontuação final ser igual, verifica-se que o lado esquerdo é mais penalizado que o lado direito na avaliação das posturas dos membros superiores. Isto deve-se ao facto de as rampas de abastecimento com o material necessário a este posto se encontrarem posicionadas do lado esquerdo do posto, sendo exercido maior esforço por parte deste lado corporal e levando à rotação dos braços e troncos para alcançar os materiais na rampa. Adicionalmente, neste posto, existe um suporte, onde se coloca uma película nova no *display* do aparelho, que se encontra muito baixo e leva à adoção de posturas do pescoço e do tronco inadequadas. A pontuação RULA deste posto vai de encontro ao *feedback* obtido do diálogo com as operadoras da linha e o chefe de linha, que se queixaram dos pontos mencionados acima.

Posto de trabalho 2

Na Tabela 22 encontra-se a pontuação para a postura dos membros superiores mais crítica exercida no posto de trabalho 2.

Tabela 22 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 2

Pontuação para a postura do membro superior							
Grupo A							
Lado	Braço	Antebraço	Pulso	Rotação Pulso	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação C
Esquerdo	5	2	4	1	0	0	7
Direito	4	2	4	1	0	0	5

Após a atribuição da pontuação a cada membro e da junção com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação C. Posteriormente, são avaliadas as posturas mais críticas exercidas pelo pescoço, tronco e pernas, e juntamente com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação D. Estas pontuações estão apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 2

Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas					
Pescoço	Tronco	Membros inferiores	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação D
4	3	2	1	0	8

Por fim, faz-se a junção da pontuação C e D para se obter o resultado final da avaliação RULA. O mesmo é apresentado na Tabela 24, para o lado esquerdo e direito do corpo.

Tabela 24 - Pontuação final do método RULA do posto 2

Lado	Pontuação final RULA
Esquerdo	7
Direito	7

O lado esquerdo e o lado direito obtiveram a pontuação de 7, o que significa que a atividade deve ser investigada e devem ser efetuadas mudanças imediatamente. Apesar de a pontuação final ser igual, verifica-se que o lado esquerdo é mais penalizado que o lado direito na avaliação das posturas dos membros superiores. Isto deve-se ao facto de o material necessário se encontrar ao alcance do lado esquerdo do posto, sendo exercido maior esforço por parte deste lado corporal. Uma outra causa para a pontuação RULA obtida pode estar no dimensionamento desadequado do posto, sendo que as operadoras têm que adotar posturas dos braços elevadas para realizar as operações ao nível da superfície de trabalho no dispositivo de apoio à montagem, assim como para alcançar os materiais necessários às operações do posto. O diálogo com as operadas e o chefe de linha apontou estes como sendo os principais problemas do posto.

Posto de trabalho 3

Na Tabela 25 encontra-se a pontuação para a postura dos membros superiores mais crítica exercida no posto de trabalho 3.

Tabela 25 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 3

Pontuação para a postura do membro superior							
Grupo A							
Lado	Braço	Antebraço	Pulso	Rotação Pulso	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação C
Esquerdo	4	1	4	1	1	0	6
Direito	4	2	4	1	1	0	6

Após a atribuição da pontuação a cada membro e da junção com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação C. Posteriormente, são avaliadas as posturas mais críticas exercidas pelo pescoço, tronco e pernas, e juntamente com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação D. Estas pontuações estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 3

Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas					
Pescoço	Tronco	Membros inferiores	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação D
4	5	2	1	0	8

Por fim, faz-se a junção da pontuação C e D para se obter o resultado final da avaliação RULA. O mesmo é apresentado na Tabela 27, para o lado esquerdo e direito do corpo.

Tabela 27 - Pontuação final do método RULA do posto 3

Lado	Pontuação final RULA
Esquerdo	7
Direito	7

O lado esquerdo e o lado direito obtiveram a pontuação de 7, o que significa que a atividade deve ser investigada e devem ser efetuadas mudanças imediatamente. Verifica-se ambos os lados obtêm a mesma pontuação na avaliação das posturas dos membros superiores, o que significa que os esforços exigidos em ambos os lados corporais são equivalentes. A causa para a pontuação RULA elevada pode estar no dimensionamento desadequado do posto de trabalho, levando as operadoras a adotar posturas prejudiciais, assim como na natureza das operações efetuadas no posto, que podem exigir que a operadora seja minuciosa e aplique mais força que o normal. O *feedback* obtido no diálogo com as operadoras e o chefe de linha vai de encontro às conclusões retiradas.

Posto de trabalho 4

Na Tabela 28 encontra-se a pontuação para a postura dos membros superiores mais crítica exercida no posto de trabalho 4.

Tabela 28 - Pontuação para a postura dos membros superiores e Pontuação C do posto 4

Pontuação para a postura do membro superior							
Grupo A							
Lado	Braço	Antebraço	Pulso	Rotação Pulso	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação C
Esquerdo	2	1	3	1	0	0	3
Direito	6	1	4	1	0	0	8

Após a atribuição da pontuação a cada membro e da junção com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação C. Posteriormente, são avaliadas as posturas mais críticas exercidas pelo pescoço, tronco e pernas, e juntamente com a pontuação da utilização dos músculos e da força exercida obtém-se a pontuação D. Estas pontuações estão apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas e Pontuação D do posto 4

Pontuação para a postura do pescoço, tronco e pernas					
Pescoço	Tronco	Membros inferiores	Pontuação para utilização dos músculos	Pontuação para a força ou carga	Pontuação D
3	2	1	0	0	3

Por fim, faz-se a junção da pontuação C e D para se obter o resultado final da avaliação RULA. O mesmo é apresentado na Tabela 30, para o lado esquerdo e direito do corpo.

Tabela 30 - Pontuação final do método RULA do posto 4

Lado	Pontuação final RULA
Esquerdo	3
Direito	6

O lado esquerdo obteve a pontuação de 3, o que significa que a atividade deve ser investigada e deve-se analisar a possibilidade de serem requeridas mudanças. No entanto, o lado direito obteve a pontuação de 6, que indica que é necessário investigar a atividade e fazer mudanças brevemente. A diferença de pontuação dos lados corporais deve-se à diferença na avaliação das posturas dos membros superiores, onde o lado direito é bastante mais penalizado que o lado esquerdo. Isto ocorre devido ao conteúdo de trabalho do posto, que exige mais esforço do lado corporal direito. Adicionalmente, o mau dimensionamento do posto pode estar a contribuir para a pontuação RULA elevada obtido para este lado corporal. A conclusões obtidas do diálogo com as operadoras e o chefe de linha comprovaram os pontos mencionados.

Comparando as pontuações obtidas nos quatro postos que constituem a linha de montagem é possível definir os níveis de intervenção, como se verifica na Tabela 31.

Tabela 31 - Pontuação final do RULA dos postos da linha de montagem

	Pontuação final RULA	
	Lado esquerdo	Lado direito
Posto 1	7	7
Posto 2	7	7
Posto 3	7	7
Posto 4	3	6

Assim, os postos 1, 2 e 3 estão no mesmo nível de intervenção, sendo considerados os mais urgentes para efetuar mudanças. No entanto, é possível diferenciar o nível de intervenção destes três postos, uma vez que os mesmos apresentam diferenças na pontuação da postura dos membros superiores e do pescoço, tronco e pernas. Assim, tendo em conta as pontuações anteriormente referidas, o posto mais urgente de intervenção é o 2, seguido do posto 3, 1 e, por último, o 4. Ao nível do que é necessário ser alterado, em síntese, resume-se ao dimensionamento do posto, à disposição das rampas de abastecimento e à natureza das operações efetuadas, tendo-se de estudar se é possível alterar o método como são realizadas.

4.4.2 Dimensionamento antropométrico dos postos de trabalho

Após a análise dos vários postos através do método RULA definiu-se que são necessárias mudanças urgentes nos mesmos, de forma a reduzir o esforço exigido nos operadores. Assim, decidiu-se efetuar o dimensionamento antropométrico dos postos de trabalho, uma vez que uma das razões que contribuiu para a elevada pontuação no método RULA foi o mau dimensionamento de certos parâmetros dos postos de trabalho. A aplicação dos dados antropométricos permite não só as operadoras adotarem as posturas mais aconselhadas, como atingir maior eficiência no trabalho e melhorar a segurança, conforto e eficácia.

Assim, no presente projeto, dimensionaram-se quatro postos de trabalho para satisfazer as necessidades de montagem da linha de produção, sendo no geral criados dois tipos de postos *standard*. A linha é composta por dois postos de cada um dos tipos de postos padrão desenvolvidos, ou seja, dimensionou-se dois *robots* automáticos de aparafusamento e dois postos de trabalho com bancada. Para se efetuar o dimensionamento do posto deve-se ter em conta os seguintes fatores: a limitação que se encontra em estudo, o critério a considerar, a informação acerca das dimensões significativas e os percentis da população a considerar.

Assim, para o dimensionamento dos postos de trabalho foi necessário definir os seguintes parâmetros:

- Altura ótima da superfície de trabalho e da bancada;
- Largura, profundidade e altura do posto;
- Centro da área de trabalho;
- Altura da prateleira dedicada ao material para análise;
- Altura do ecrã das instruções de trabalho;
- Direção do fluxo de trabalho;

O dimensionamento dos postos foi efetuado tendo em consideração que o trabalho realizado em cada posto assume exigências médias, ou seja, não é um trabalho de precisão que implique um elevado controlo visual, nem um trabalho pesado que implique grande aplicação de força.

O objetivo deste dimensionamento é definir postos de trabalho ergonómicos que se consigam adaptar ao maior número de pessoas possível, dado que é impossível satisfazer a totalidade da população utilizadora. Desta forma, o dimensionamento foi realizado para a população portuguesa do sexo feminino, dado que este é o único género que trabalha nas linhas de montagem final. É de ressaltar que o dimensionamento efetuado na presente dissertação apenas é válido para o cenário em que apenas operam mulheres, não sendo válido para outro cenário distinto desse. A tabela dos dados antropométricos da População Portuguesa e da distribuição normal utilizadas para o dimensionamento encontram-se no Anexo II – Dados antropométricos da população portuguesa e no Anexo IV – Tabela da distribuição normal. Para cada posto será feita uma descrição de todos os parâmetros referidos anteriormente aplicáveis ao posto, tendo todas as dimensões sido definidas com base na literatura de Antropometria e nos dados antropométricos da População Portuguesa, sempre que os mesmos existiam.

Posto de trabalho 1

Neste posto procede-se a montagem de componentes que constituem o produto, nomeadamente, à montagem da placa de serviço e do *display* com a blenda, e ao aparafusamento automático dos mesmos. Em termos de abastecimento de material no posto efetua-se através de rampas de abastecimento inclinadas colocadas ao lado do *robot*. Quanto à direção do fluxo de trabalho no posto é efetuado da

esquerda para a direita. Na Figura 48 pode-se observar o modelo de *robot* que será utilizado e que é necessário dimensionar.

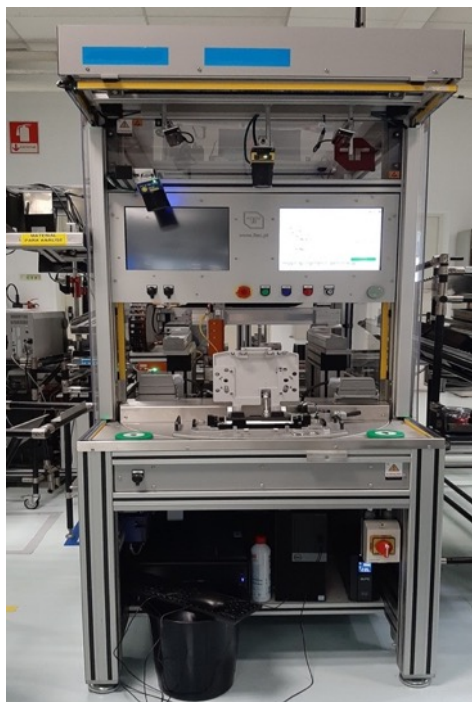


Figura 48 - Robot de aparafusamento utilizado

O primeiro passo passa por calcular as dimensões adequadas para cada um dos parâmetros mencionados anteriormente.

Altura da bancada de trabalho

Para definir a altura da bancada de trabalho é necessário averiguar se esta tem influência na altura da superfície de trabalho. Para a definição deste parâmetro teve-se em consideração a revisão bibliográfica elaborada. Segundo Kroemer e Grandjean (2009), a altura da bancada depende das medidas antropométricas da população em estudo e do tipo de tarefa a executar. Como referido anteriormente, considerou-se que o trabalho realizado nos postos de trabalho não é de precisão nem pesado. Tendo em conta isto, Kroemer e Grandjean (2009) dizem que a altura ótima de uma bancada de trabalho se situa entre 100 mm a 150 mm abaixo da altura do cotovelo da população. Adicionalmente, como a limitação neste parâmetro é a postura e se trata de uma limitação de dois sentidos, é necessário considerar dois limites (um superior e um inferior). Desta forma, considerando o percentil 5º feminino como altura mínima e o percentil 95º feminino como altura máxima do intervalo, são deixadas “de fora” 5% em cada extremo da distribuição, ou seja, se a bancada for definida ao nível do percentil 5º da altura do cotovelo feminina, apenas 5% desta população terá uma altura de bancada superior à sua altura do cotovelo, ou se a bancada for definida ao nível do percentil 95º da altura do cotovelo feminina, a bancada ainda será demasiado baixa para 5% desta população. Assim, na Tabela 32, encontram-se os limites para os níveis

aceitáveis da altura da bancada, sendo que poderão não ser ótimos para toda a população em estudo. Note-se que os valores tiveram em consideração a soma da correção de 25 mm para o calçado e a subtração de 100 mm e 150 mm à altura do cotovelo do percentil 5° e do percentil 95° da população feminina portuguesa.

Tabela 32 - Alturas aceitáveis para a bancada de trabalho

Altura da bancada de trabalho	
Percentil 5°	Entre 765 mm e 815 mm
Percentil 95°	Entre 915 mm e 965 mm

No entanto, para além do tipo de trabalho, deve-se considerar a altura dos dispositivos de ajuda à montagem quando utilizados, uma vez que estes podem influenciar a altura da superfície de trabalho.

Em termos ergonómicos, o mais desejável e recomendado é ter um posto onde é possível ajustar a altura de trabalho ao indivíduo que o utiliza, em detrimento da adoção de bancadas fixas e do uso de estrados. No entanto, segundo Kroemer e Grandjean (2009), se por motivos organizacionais ou económicos não for possível adotar as bancadas de altura regulável, deve-se privilegiar as pessoas mais altas aquando a definição da altura da bancada do posto de trabalho, dado que para as pessoas mais baixas existe a possibilidade de colocar um estrado (até 200 mm) para compensar a altura da bancada. Desta forma, se o posto for estruturado para ser regulável, deve-se ter em conta ambos os extremos da população. Caso não seja possível ser regulado, dimensiona-se o mesmo para o percentil 95° da população em estudo e depois a diferença para o percentil 5° da população é compensada com um estrado.

Tendo em conta que a altura do dispositivo utilizado para a montagem influencia diretamente a altura da superfície de trabalho, definiu-se a altura da bancada tendo em consideração a mesma. No posto em questão, será necessário um dispositivo que possui uma altura de 50 mm. Assim, se o posto for regulável, as dimensões para a superfície de trabalho e para a altura da bancada aceitáveis para os extremos da população encontram-se na Tabela 33.

Tabela 33 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 1

Altura da superfície de trabalho	
Percentil 5°	Entre 765 mm e 815 mm
Percentil 95°	Entre 915 mm e 965 mm
Altura da bancada de trabalho	
Percentil 5°	Entre 715 mm e 765 mm
Percentil 95°	Entre 865 mm e 915 mm

Analisando a Tabela 33, a bancada terá de ser regulável entre os 715 mm e os 915 mm, de forma a satisfazer os vários extremos da população. No entanto, caso não seja possível adotar a bancada

regulável, a bancada deve ser projetada para o percentil 95° da população portuguesa feminina, e deve-se utilizar um estrado para compensar a diferença de alturas para as mais baixas. Neste caso deve-se averiguar se as medidas determinadas satisfazem a maioria da população, através do cálculo da percentagem de insatisfeitos, analisando-se as alturas definidas para a superfície de trabalho. Assim, considerando a capacidade de adaptação humana, optou-se por considerar, apenas um dos limites de cada um dos intervalos (dos percentis 5° e 95°) como limitações efetivas. Desta forma, considerou-se como limite superior o limite inferior do intervalo do percentil 95° (ASTs³ = 915 mm) e como limite inferior o limite superior do intervalo do percentil 5° (ASTi⁴ = 815 mm). Averiguou-se a que percentis correspondem estes valores através do cálculo dos respetivos valores de z:

$$Z_s = \frac{(915 - 990)}{48} = -1,63 \qquad Z_i = \frac{(815 - 990)}{48} = -3,80$$

Estes valores correspondem, respetivamente, aos 5,11° e 0,009° percentis, o que significa que para 5,101% dos indivíduos nenhuma das soluções seria satisfatória.

Com a utilização de um estrado de altura de 100 mm (h = 915 – 815), pode-se afirmar que, dentro dos limites de tolerância referidos para a superfície de trabalho, uma bancada de altura fixa de 865 mm, que se traduz numa superfície de trabalho de 915 mm, satisfará 90% da população em causa.

Contudo, normalmente e se for possível, a melhor solução passa por uma bancada regulável, uma vez que muitas empresas não consideram a solução do estrado viável por questões de segurança.

Altura do posto

O critério do espaço livre determina a altura do posto de trabalho, uma vez que o posto tem que ser suficientemente alto para as pessoas se deslocarem sem restrições. Desta forma, para determinar a altura do posto deve-se ter em conta o percentil 99,9° da altura de pé do sexo masculino, visto que se as pessoas mais altas tiverem espaço, todas as outras também terão (deixando apenas “de fora” 0,01% da população masculina que terão altura de pé superior). A altura do posto foi determinada tendo em conta a população masculina e feminina, dado que por vezes existe a necessidade de ser efetuadas manutenções no posto e as mesmas podem ser realizadas por homens. Desta forma, a altura do posto terá de ser igual ou superior a 2000 mm, tendo-se tido em conta uma margem de erro de 50mm para evitar eventuais problemas com exceções à regra.

³ ASTs = Altura de superfície de trabalho superior

⁴ ASTi = Altura de superfície de trabalho inferior

Largura da bancada

A largura da bancada é uma dimensão importante devido à restrição do espaço mínimo que deve existir para que o operador se possa movimentar sem problemas no seu posto de trabalho. Segundo Lida (2005), a largura da bancada deve ser no mínimo 1000 mm. No entanto, nos casos em que a operadora necessita de alcançar objetos no bordo da bancada e tal condição influencia a largura da bancada, a mesma deve ser dimensionada segundo o alcance da operadora. Como tal, teve-se em consideração o alcance funcional anterior para o percentil 5º da população feminina, uma vez que se os mais pequenos não tiverem problemas em alcançar, os maiores também não terão (deixando apenas “de fora” 5% da população que têm um alcance funcional anterior inferior). Desta forma, no caso de ser necessário alcançar objetos ou materiais ao longo ou no bordo da bancada, a bancada poderá ter uma largura de 621 mm a partir do meio da bancada, que é onde se encontrará a trabalhar a operadora por regra, podendo o posto ter uma largura máxima de 1242 mm.

Profundidade da bancada e centro da área de trabalho

Em relação ao centro da área de trabalho e da profundidade da bancada, a Aptiv não apresenta nenhum padrão. Como tal, para a definição deste parâmetro baseamo-nos nos conceitos de Kroemer e Grandjean (2009), que dizem que os alcances na superfície de trabalho devem ser calculados de acordo com o percentil 5º feminino, para que todas as pessoas tenham facilidade em alcançar todas ferramentas e materiais (deixando “de fora” apenas 5% da população em estudo com a medida antropométrica analisada inferior). Assim, é necessário determinar a medida máxima de profundidade que a bancada pode ter para evitar más posturas.

Para a definição da profundidade do posto que permita o alcance de objetivos e materiais, Pheasant (1986, citado por Kroemer e Grandjean, 2009) utiliza o comprimento ombro-pegas para o percentil 5º feminino, com o valor de 555 mm. No entanto, nos dados antropométricos portugueses não existe nenhuma medida para a distância ombro-pegas. Se calcularmos a distância do alcance funcional anterior, que é a medida antropométrica existente nos dados antropométricos da População Portuguesa mais próxima da distância ombro-pegas, obtemos o valor de 621 mm para o percentil 5º feminino. Contudo, optou-se por utilizar o valor determinado por Pheasant (1986, citado por Kroemer e Grandjean, 2009), mesmo sabendo que este se aplica à População Inglesa. Assim, definiu-se o alcance máximo de 555 mm, que é determinado pela operadora quando estica o braço na horizontal a partir do ponto em que se encontra, sendo que a profundidade do posto não deve ultrapassar este valor.

Quanto ao centro da área de trabalho, este é determinado pela distância do cotovelo-punho e é definido pelo percentil 5º feminino. Assim, área ótima de trabalho pode ir até 292mm desde bordo da bancada.

Altura do ecrã das instruções de trabalho

Na posição de pé, a altura dos olhos situa-se em torno dos 1355 mm para o percentil 5º da população feminina portuguesa. Na definição desta dimensão tem-se como referência a altura dos olhos para o percentil 5º da população feminina, uma vez que o movimento de extensão do pescoço é mais penalizado que o movimento de flexão, sendo mais benéfico dimensionar a altura do ecrã para os indivíduos mais pequenos (deixando apenas “de fora” 5% da população com a altura de olhos inferior). Como tal, optou-se por colocar o centro do ecrã alinhado com a linha visual horizontal. Como o ecrã possui as dimensões de 220 mm de altura, o ecrã deve-se situar entre os 1465 mm e os 1245 mm de altura.

Altura da prateleira do material para análise

Quando se estruturam prateleiras deve-se ter em consideração a profundidade das mesmas, de modo a que seja possível visualizar todos os componentes lá colocados. Adicionalmente, Kroemer e Grandjean (2009) referem que é necessário ter conhecimento dos limites humanos de alcance máximo. Para a definição da altura da prateleira do material para análise teve-se, então, em consideração os conceitos de Kroemer e Grandjean (2009), que dizem que as estantes mais altas devem ter entre 1400 mm e 1500 mm para as mulheres. Nesta altura, a prateleira pode ser acessível até à profundidade de 600 mm. No entanto, estas dimensões referidas por Kroemer e Grandjean (2009) não são aplicadas à População Portuguesa. Sendo assim, calculou-se a altura máxima para a prateleira tendo como referência o alcance funcional vertical (de pé) do percentil 5º da população feminina (deixando apenas “de fora” 5% da população com alcance funcional vertical inferior). Segundo os cálculos, a prateleira não deve ultrapassar os 1744 mm de altura. De ressaltar que para esta altura, uma vez que se utilizou o alcance funcional vertical, não tem em consideração o acesso à prateleira em profundidade horizontal. Sendo assim, optou-se por utilizar a altura aconselhada por Kroemer e Grandjean (2009), considerando-se como limite máximo a altura definida pelo alcance funcional vertical do percentil 5º feminino da população portuguesa.

Altura e profundidade do suporte para o computador

No caso de haver uma superfície vertical próxima à bancada, deverá haver um recuo, no mínimo, de 100x100 mm junto ao piso e do bordo da bancada, para permitir o encaixe da ponta dos pés. Sem isto,

o trabalhador é obrigado a assumir uma posição inclinada, forçando a coluna e os músculos lombares, aumentando a fadiga (Iida, 2005).

Após a análise das tabelas ergonômicas, o dimensionamento das dimensões do posto e a análise do tipo de trabalho a executar, foi possível proceder-se à projeção de um *robot* de aparafusamento padrão que cumpre com os requisitos ergonômicos. Este modelo serviu de base para o desenvolvimento dos restantes *robots* de aparafusamento do projeto. Na Figura 49 encontra-se a representação do *robot* de aparafusamento padrão projetado e as respetivas dimensões.

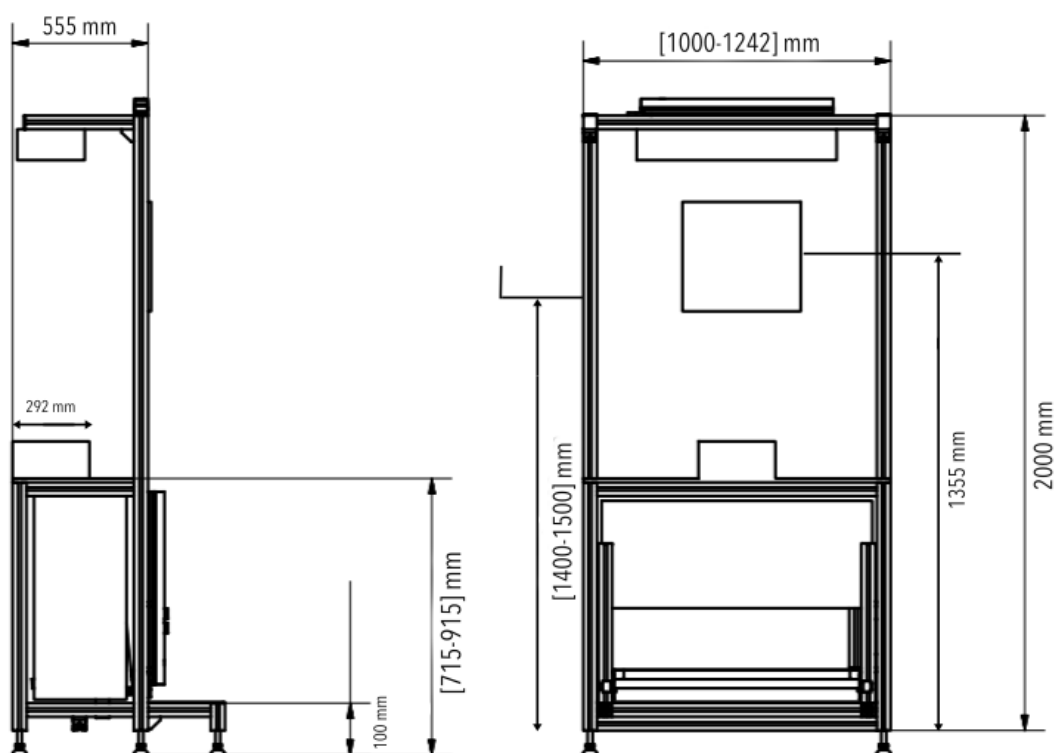


Figura 49 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 1

Posteriormente ao dimensionamento do posto de trabalho, foram efetuadas medições ao *robot* de aparafusamento que se encontrava instalado na linha de montagem, sendo estas dimensões analisadas e comparadas com os valores acima definidos, com o objetivo de obter a percentagem de insatisfeitos com o posto instalado. Na Tabela 34 encontram-se as dimensões do posto implementado na linha de montagem, assim como a percentagem de insatisfeitos com as dimensões do posto de trabalho quando comparados com os valores definidos no dimensionamento antropométrico.

Tabela 34 - Comparação das dimensões reais do posto 1 com os valores definidos

	ST	AP	LB	PB	CAT	AEI	AP	ASC	PSC
Dimensão (mm)	930	2000	950	400	325	1570	1565	135	250
De acordo com os valores definidos	Sim	Sim	De acordo com o valor máxima, mas fora do limite mínimo	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Percentagem de insatisfeitos (%)	-	-	-	-	61,3	94,2	-	-	-

Legenda:

ST: Superfície de trabalho; **AP:** Altura do posto; **LB:** Largura da bancada; **PB:** Profundidade da bancada; **CAT:** Centro da área de trabalho; **AEI:** Altura do ecrã das instruções; **AP:** Altura da prateleira do material para análise; **ASC:** Altura do suporte para computador; **PSC:** Profundidade do suporte para computador.

A determinação da percentagem de insatisfeitos foi efetuada através da medição das dimensões dos diferentes parâmetros estudados do posto de trabalho implementado na linha de montagem, analisando-se se as dimensões estavam de acordo com os valores definidos para cada parâmetro ou não. Para os parâmetros que não se encontravam de acordo com os valores definidos pelos critérios antropométricos, determinou-se o percentil da dimensão real do parâmetro, sendo que o valor do percentil representa a percentagem de insatisfeitos quando o parâmetro é projetado para o percentil 5º da população em estudo. Quando o parâmetro é projetado para o percentil 95º da população em estudo, para obter a percentagem de insatisfeitos deve-se subtrair a 100% o valor do percentil da dimensão real do parâmetro.

Posto de trabalho 2

Neste posto procede-se à montagem dos vários componentes que constituem o produto, nomeadamente, à montagem da blenda com o caixilho e à montagem dos botões na blenda. Em termos de abastecimento de material no posto efetua-se, maioritariamente, através de rampas de abastecimento inclinadas colocadas por detrás da bancada. Quanto à direção do fluxo de trabalho no posto é efetuado da esquerda para a direita. Na Figura 50 encontra-se a representação do posto padrão da empresa aplicável ao tipo de operações efetuadas neste posto.



Figura 51 - Posto de trabalho com bancada padrão existente na empresa

Após uma análise ao chão de fábrica verificou-se que normalmente a empresa adota postos de trabalho com bancada com as medidas representadas na Figura 51. A estrutura da bancada padrão é composta por perfil de alumínio quadrado com as dimensões 40 mm x 40 mm. A escolha deste material deve-se ao facto de o mesmo já ser utilizado e considerado *standard* na empresa na montagem de bancadas.

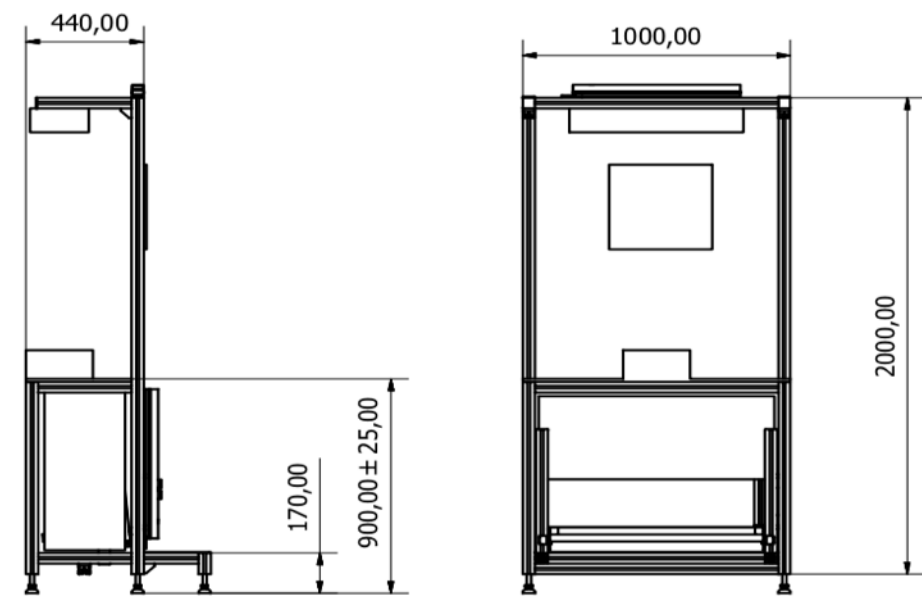


Figura 50 - Dimensões do posto de trabalho comum da empresa (dimensões em mm)

Altura da bancada de trabalho

Como efetuado no posto anterior, para definir a altura da bancada de trabalho é necessário averiguar se esta tem influência na altura da superfície de trabalho. Para a definição deste parâmetro teve-se em consideração a revisão bibliográfica elaborada.

Tendo em conta que o trabalho realizado nos postos de trabalho não é de precisão nem pesado, Kroemer e Grandjean (2009) dizem que a altura ótima de uma bancada de trabalho se deve situar entre 100 a

150 mm abaixo da altura do cotovelo. Adicionalmente, como a limitação neste parâmetro é da postura e se trata de uma limitação de dois sentidos, é necessário considerar dois limites (um superior e um inferior). Desta forma, considerando o percentil 5º feminino como altura mínima e o percentil 95º feminino como altura máxima do intervalo, são deixadas “de fora” 5% em cada extremo da distribuição, ou seja, se a bancada for definida ao nível do percentil 5º da altura do cotovelo feminina, apenas 5% desta população terá uma altura de bancada superior à sua altura do cotovelo, ou se a bancada for definida ao nível do percentil 95º da altura do cotovelo feminina, a bancada ainda será demasiado baixa para 5% desta população. Assim, na Tabela 35, encontram-se os limites para os níveis aceitáveis da altura da bancada, sendo que poderão não ser ótimos para toda a população em estudo. Note-se que os valores tiveram em consideração a soma da correção de 25 mm para o calçado e a subtração de 100 mm e 150 mm à altura do cotovelo do percentil 5º e do percentil 95º da população feminina portuguesa.

Tabela 35 - Alturas aceitáveis de trabalho

Altura da bancada de trabalho	
Percentil 5º	Entre 765 mm e 815 mm
Percentil 95º	Entre 915 mm e 965 mm

No entanto, para além do tipo de trabalho, deve-se considerar a altura dos dispositivos de ajuda à montagem quando utilizados, uma vez que estes podem influenciar a altura da superfície de trabalho, como referido na dimensão do posto anterior. Tendo em conta que a altura do dispositivo utilizado para a montagem influencia diretamente a altura da superfície de trabalho, definiu-se a altura da bancada tendo em consideração a mesma. No posto em questão, será necessário um dispositivo que possui uma altura de 250 mm. Assim, se o posto for regulável, as dimensões para a superfície de trabalho e para a altura da bancada aceitáveis para os extremos da população encontram-se na Tabela 36.

Tabela 36 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 2

Altura da superfície de trabalho	
Percentil 5º	Entre 765 mm e 815 mm
Percentil 95º	Entre 915 mm e 965 mm
Altura da bancada de trabalho	
Percentil 5º	Entre 515 mm e 565 mm
Percentil 95º	Entre 665 mm e 715 mm

Como referido na Tabela 36, a bancada terá de ser regulável 515 mm e os 715 mm, de forma a satisfazer os vários extremos da população. No entanto, caso não seja possível adotar a bancada regulável, a bancada deve ser projetada para o percentil 95º da população portuguesa feminina, e deve-se utilizar um estrado para compensar a diferença de alturas para as mais baixas. Neste caso, deve-se averiguar

se as medidas determinadas satisfazem a maioria da população, através do cálculo da percentagem de insatisfeitos, analisando-se as alturas definidas para a superfície de trabalho. Como os valores definidos para o intervalo da altura da superfície de trabalho são iguais aos que foram definidos no posto de trabalho 1 ($AST_s = 915$ mm e $AST_i = 815$ mm), os percentis vão ser iguais e, conseqüentemente a percentagem de indivíduos que considera que nenhuma das soluções seria satisfatória (5,101%).

Com a utilização de um estrado de altura de 100 mm ($h = 915 - 815$), pode-se afirmar que, dentro dos limites de tolerância referidos para a superfície de trabalho, uma bancada de altura fixa de 665 mm, que se traduz numa superfície de trabalho de 915 mm, satisfará 90% da população em causa.

Contudo, normalmente e se for possível, a melhor solução passa por uma bancada regulável, uma vez que muitas empresas não consideram a solução do estrado viável por questões de segurança.

Altura do posto

Tal como no posto de trabalho 1, para determinar a altura do posto deve-se ter em conta o percentil 99,9º da altura de pé do sexo masculino, ficando definido que a altura do posto terá de ser igual ou superior a 2000 mm.

Largura da bancada

Para a definição da largura do posto teve-se em consideração os mesmos princípios referidos na dimensão do posto de trabalho 1. Desta forma, no caso de ser necessário alcançar objetos ou materiais ao longo ou no bordo da bancada, a bancada terá de ter uma largura de 621 mm a partir do meio da bancada, que é onde se encontrará a trabalhar a operadora, podendo o posto ter uma largura máxima de 1242 mm. Adicionalmente, como neste posto existe a necessidade de ter acesso a componentes de pequenas dimensões, definiu-se que na bancada poderá existir tabuleiros para acomodar estes componentes e, desta forma, facilitar o alcance aos mesmos e diminuir o tempo de alcance.

Profundidade do posto e centro da área de trabalho

Em relação à profundidade do posto e dimensão da área de trabalho, seguiram-se os mesmos princípios do dimensionamento do posto anterior. Assim, área ótima de trabalho pode ir até 292 mm do bordo da bancada e definiu-se o alcance máximo de 555 mm, que é determinado pela operadora quando estica o braço na horizontal a partir do ponto em que se encontra, sendo que a profundidade do posto não deve ultrapassar este valor.

Altura do ecrã das instruções de trabalho

Na posição de pé, tendo em conta os mesmos princípios do dimensionamento do posto anterior, a altura dos olhos situa-se em torno dos 1355 mm para o percentil 5º da população feminina. Como tal, o centro do ecrã deve ser colocado alinhado com a linha visual horizontal. Como o ecrã possui as dimensões de 250 mm de altura, o ecrã deve-se situar entre os 1480 mm e os 1230 mm de altura.

Altura da prateleira do material para análise

A definição da altura da prateleira teve em consideração os mesmos princípios utilizados no posto anterior. Deste modo, calculou-se a altura máxima para a prateleira tendo como referência o alcance funcional vertical do percentil 5º da população feminina. Segundo os cálculos, a prateleira não deve ultrapassar os 1744 mm de altura. Contudo, com esta dimensão não se tem em consideração o acesso à prateleira em profundidade horizontal. Sendo assim, optou-se por utilizar a altura aconselhada por Kroemer e Grandjean (2009) para determinar a altura aceitável (1400 mm – 1500 mm), tendo como limite máximo a altura definida pelo alcance funcional vertical do percentil 5º feminino da população portuguesa.

Altura e profundidade do espaço para os pés

No caso de haver uma superfície vertical próxima à bancada, deverá haver um recuo, no mínimo, de 100x100 mm junto ao piso e do bordo da bancada, para permitir o encaixe da ponta dos pés, como referido anteriormente.

Após a análise das tabelas ergonómicas, o dimensionamento das dimensões do posto e a análise do tipo de trabalho a executar, foi possível proceder-se à projeção de uma bancada *standard* que cumpre com os requisitos ergonómicos. Esta bancada serviu de base para o desenvolvimento para as restantes bancadas deste tipo do projeto. Na Figura 52 encontra-se a representação da bancada padrão projetada e as respetivas dimensões.

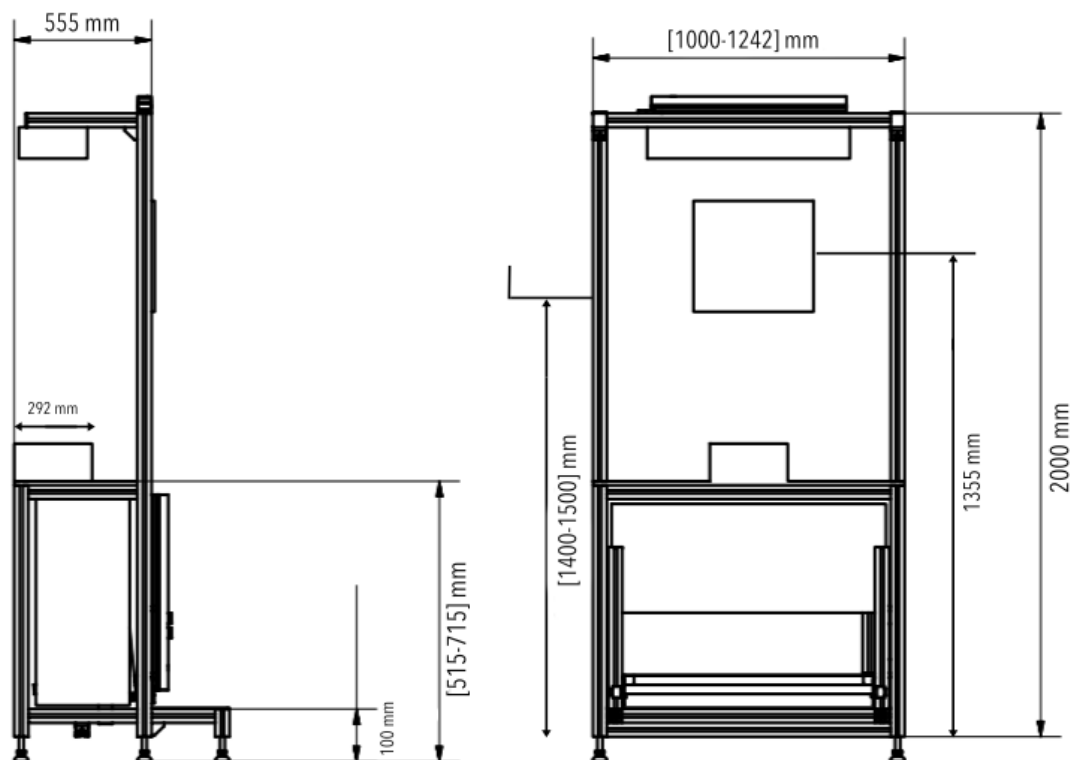


Figura 52 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 2

Posteriormente ao dimensionamento do posto de trabalho, foram efetuadas medições à bancada que se encontrava instalada na linha de montagem, sendo estas dimensões analisadas e comparadas com os valores acima definidos, com o objetivo de obter a percentagem de insatisfeitos com o posto instalado. Na Tabela 37 encontram-se as dimensões do posto implementado na linha de montagem e a percentagem de insatisfeitos com as dimensões do posto de trabalho quando comparados com os valores definidos no dimensionamento antropométrico.

Tabela 37 - Comparação das dimensões reais do posto 2 com os valores definidos

	ST	AP	LB	PB	CAT	AEI	AP	ASC	PSC
Medida (mm)	1145	2000	1300	440	290	1610	1545	125	195
De acordo com os valores definidos	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Percentagem de insatisfeitos (%)	99,93	-	22,3	-	-	98,4	-	-	-

Legenda:

ST: Superfície de trabalho; **AP:** Altura do posto; **LB:** Largura da bancada; **PB:** Profundidade da bancada; **CAT:** Centro da área de trabalho; **AEI:** Altura do ecrã das instruções; **AP:** Altura da prateleira do material para análise; **ASC:** Altura do suporte para computador; **PSC:** Profundidade do suporte para computador.

Os valores da percentagem de insatisfeitos foram obtidos pelo mesmo método utilizado no posto de trabalho 1.

Posto de trabalho 3

Neste posto procede-se à montagem dos vários componentes que constituem o produto, nomeadamente, à montagem do conteúdo do posto anterior com a placa principal e as tampas do caixilho. Em termos de abastecimento de material no posto efetua-se através de rampas de abastecimento inclinadas colocadas por detrás da bancada. Quanto à direção do fluxo de trabalho no posto é efetuado da esquerda para a direita.

Em relação a este posto, as operações que se irão realizar exigem um posto de trabalho com bancada igual ao posto de trabalho 2, diferindo apenas no dispositivo que auxilia a montagem. Desta forma, o dimensionamento segue os mesmos princípios abordados no posto de trabalho 2 em relação à definição dos seguintes parâmetros: altura do posto de trabalho, largura do posto, profundidade e centro da área de trabalho, altura do ecrã das instruções de trabalho, altura da prateleira de material para análise e altura e profundidade para o espaço para os pés.

Quanto à altura da bancada de trabalho, definiu-se a mesma tendo em consideração a altura da superfície de trabalho adequada e que no posto será utilizado um dispositivo de apoio à montagem com uma altura de 210 mm. Assim, se o posto for regulável, as dimensões aceitáveis para a superfície de trabalho e para a altura da bancada para os extremos da população encontram-se na Tabela 38.

Tabela 38 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 3

Altura da superfície de trabalho	
Percentil 5°	Entre 765 mm e 815 mm
Percentil 95°	Entre 915 mm e 965 mm
Altura da bancada de trabalho	
Percentil 5°	Entre 555 mm e 605 mm
Percentil 95°	Entre 705 mm e 755 mm

Como referido na Tabela 38, a bancada terá de ser regulável 555 mm e os 755 mm, de forma a satisfazer os vários extremos da população. No entanto, caso não seja possível adotar a bancada regulável, a bancada deve ser projetada para o percentil 95° da população portuguesa feminina, e deve-se utilizar um estrado para compensar a diferença de alturas para as mais baixas. Neste caso deve-se averiguar se as medidas determinadas satisfazem a maioria da população, através do cálculo da percentagem de insatisfeitos, analisando-se as alturas definidas para a superfície de trabalho. Como os valores definidos para o intervalo da altura da superfície de trabalho são iguais aos que foram definidos no posto de

trabalho 1 ($AST_s = 915$ mm e $AST_i = 815$ mm), os percentis vão ser iguais e, conseqüentemente a percentagem de indivíduos que considera que nenhuma das soluções seria satisfatória (5,101%).

Com a utilização de um estrado de altura de 100 mm ($h = 915 - 815$), pode-se afirmar que, dentro dos limites de tolerância referidos para a superfície de trabalho, uma bancada de altura fixa de 705 mm, que se traduz numa superfície de trabalho de 915 mm, satisfará 90% da população em causa.

Contudo, normalmente e se for possível, a melhor solução passa por uma bancada regulável, uma vez que muitas empresas não consideram a solução do estrado viável por questões de segurança.

Após a análise das tabelas ergonómicas, o dimensionamento das dimensões do posto e a análise do tipo de trabalho a executar, foi possível proceder-se à projeção de uma bancada que cumpre com os requisitos ergonómicos. Na Figura 53 encontra-se a representação da bancada padrão projetada e as respetivas dimensões.

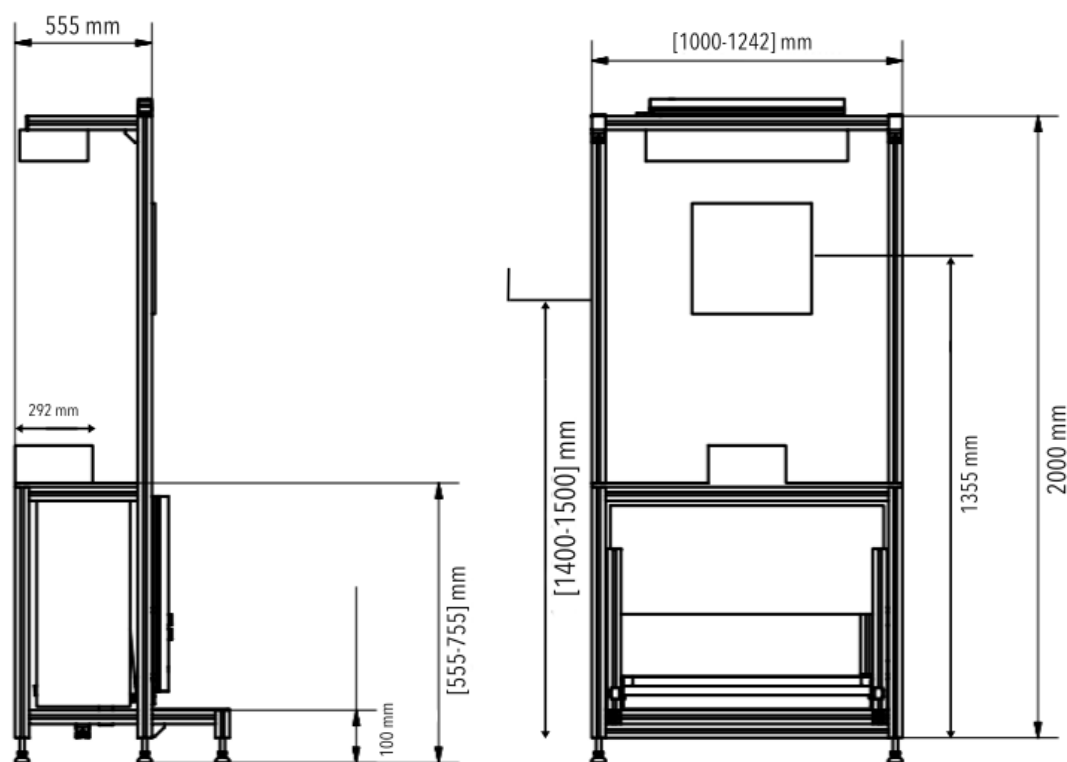


Figura 53 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 3

Posteriormente ao dimensionamento do posto de trabalho, foram efetuadas medições à bancada que se encontrava instalada na linha de montagem, sendo estas dimensões analisadas e comparadas com os valores acima definidos, com o objetivo de obter a percentagem de insatisfeitos com o posto instalado. Na Tabela 39 encontram-se as dimensões do posto implementado na linha de montagem e a

percentagem de insatisfeitos com as dimensões do posto de trabalho quando comparados com os valores definidos no dimensionamento antropométrico.

Tabela 39 - Comparação das dimensões reais do posto 3 com os valores definidos

	ST	AP	LB	PB	CAT	AEI	AP	ASC	PSC
Medida (mm)	1105	2000	1000	440	390	1615	1605	210	195
De acordo com os valores definidos	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Percentagem de insatisfeitos (%)	99,29	-	-	-	99,997	98,7	-	-	-

Legenda:

ST: Superfície de trabalho; **AP:** Altura do posto; **LB:** Largura da bancada; **PB:** Profundidade da bancada; **CAT:** Centro da área de trabalho; **AEI:** Altura do ecrã das instruções; **AP:** Altura da prateleira do material para análise; **ASC:** Altura do suporte para computador; **PSC:** Profundidade do suporte para computador.

Os valores da percentagem de insatisfeitos foram obtidos pelo mesmo método utilizado no posto de trabalho 1.

Posto de trabalho 4

Neste posto procede-se ao aparafusamento automático dos componentes montados no posto de trabalho anterior. Quanto à direção do fluxo de trabalho no posto é efetuado da esquerda para a direita.

Em relação a este posto, as operações que se irão realizar exigem a utilização de um *robot* de aparafusamento igual ao utilizado no posto de trabalho 1, diferindo apenas na base onde se coloca o aparelho. Desta forma, o dimensionamento segue os mesmos princípios abordados no posto de trabalho 1 em relação à definição dos seguintes parâmetros: altura do posto de trabalho, largura do posto, profundidade e centro da área de trabalho, altura do ecrã das instruções de trabalho, altura da prateleira de material para análise e altura e profundidade para o espaço para os pés.

Quanto à altura da bancada de trabalho, definiu-se a mesma tendo em consideração a altura da superfície de trabalho adequada e que no posto será utilizado um dispositivo de apoio à montagem com uma altura de 300 mm. Assim, se o posto for regulável, as dimensões aceitáveis para a superfície de trabalho e para a altura da bancada para os extremos da população encontram-se na Tabela 40.

Tabela 40 - Alturas aceitáveis para a superfície de trabalho e para a bancada do posto 4

Altura da superfície de trabalho	
Percentil 5°	Entre 765 mm e 815 mm
Percentil 95°	Entre 915 mm e 965 mm
Altura da bancada de trabalho	
Percentil 5°	Entre 465 mm e 515 mm
Percentil 95°	Entre 615 mm e 665 mm

Como referido na Tabela 40, a bancada terá de ser regulável 465 mm e os 665 mm, de forma a satisfazer os vários extremos da população. No entanto, caso não seja possível adotar a bancada regulável, a bancada deve ser projetada para o percentil 95° da população portuguesa feminina, e deve-se utilizar um estrado para compensar a diferença de alturas para as mais baixas. Neste caso deve-se averiguar se as medidas determinadas satisfazem a maioria da população, através do cálculo da percentagem de insatisfeitos, analisando-se as alturas definidas para a superfície de trabalho. Como os valores definidos para o intervalo da altura da superfície de trabalho são iguais aos que foram definidos no posto de trabalho 1 (ASTs = 915 mm e ASTi = 815 mm), os percentis vão ser iguais e, consequentemente a percentagem de indivíduos que considera que nenhuma das soluções seria satisfatória (5,101%).

Com a utilização de um estrado de altura de 100 mm ($h = 915 - 815$), pode-se afirmar que, dentro dos limites de tolerância referidos para a superfície de trabalho, uma bancada de altura fixa de 615 mm, que se traduz numa superfície de trabalho de 915 mm, satisfará 90% da população em causa.

Contudo, normalmente, e se for possível, a melhor solução passa por uma bancada regulável, uma vez que muitas empresas não consideram a solução do estrado viável por questões de segurança.

Após a análise das tabelas ergonómicas, o dimensionamento das dimensões do posto e a análise do tipo de trabalho a executar, foi possível proceder-se à projeção de um *robot* de aparafusamento padrão que cumpre com os requisitos ergonómicos. Na Figura 54 encontra-se a representação do *robot* de aparafusamento padrão projetado e as respetivas dimensões.

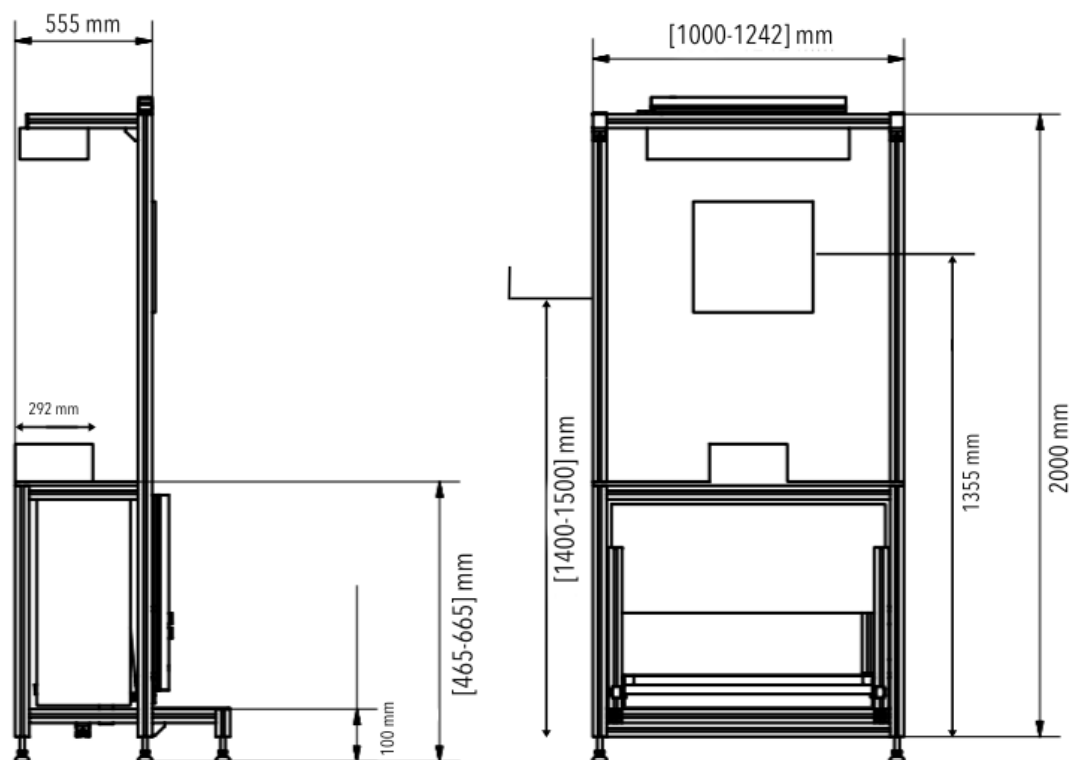


Figura 54 - Dimensões aceitáveis para o posto de trabalho 4

Posteriormente ao dimensionamento do posto de trabalho, foram efetuadas medições ao *robot* de aparafusamento que se encontrava instalado na linha de montagem, sendo estas dimensões analisadas e comparadas com os valores acima definidos, com o objetivo de obter a percentagem de insatisfeitos com o posto instalado. Na Tabela 41 encontram-se as dimensões do posto implementado na linha de montagem e a percentagem de insatisfeitos com as dimensões do posto de trabalho quando comparados com os valores definidos no dimensionamento antropométrico.

Tabela 41 - Comparação das dimensões reais do posto 4 com os valores definidos

	ST	AP	LB	PB	CAT	AEI	AP	ASC	PSC
Medida (mm)	1180	2000	950	400	300	1553	1605	135	250
De acordo com os valores definidos	Não	Sim	De acordo com o valor máxima, mas fora do limite mínimo	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Percentagem de insatisfeitos (%)	99,988	-	-	-	11,8	90,5	-	-	-

Legenda:

ST: Superfície de trabalho; **AP:** Altura do posto; **LB:** Largura da bancada; **PB:** Profundidade da bancada; **CAT:** Centro da área de trabalho; **AEI:** Altura do ecrã das instruções; **AP:** Altura da prateleira do material para análise; **ASC:** Altura do suporte para computador; **PSC:** Profundidade do suporte para computador.

Os valores da percentagem de insatisfeitos foram obtidos pelo mesmo método utilizado no posto de trabalho 1.

4.5 Validação da linha de produção

Um dos requisitos para aprovar uma linha de produção é analisar o nível de *stress* a que as placas estão sujeitas no processo de montagem. Para tal, realizam-se testes de tensão às placas que constituem o produto P, nomeadamente, a placa principal e a placa de serviço.

O teste consiste em colocar sensores nos pontos críticos das placas, ou seja, nos locais da placa onde se posicionam os componentes mais sensíveis, e efetuar o teste através de uma máquina própria de medição de tensão. O teste e o registo de medições são realizados enquanto se efetua as operações de montagem do aparelho, de forma a representar as condições reais a que o produto está exposto. Na Figura 55 é possível verificar como é efetuada a colocação dos sensores e como é efetuado o teste nos dispositivos da linha de montagem. Cada sensor é numerado para depois ser possível interpretar os resultados do teste.

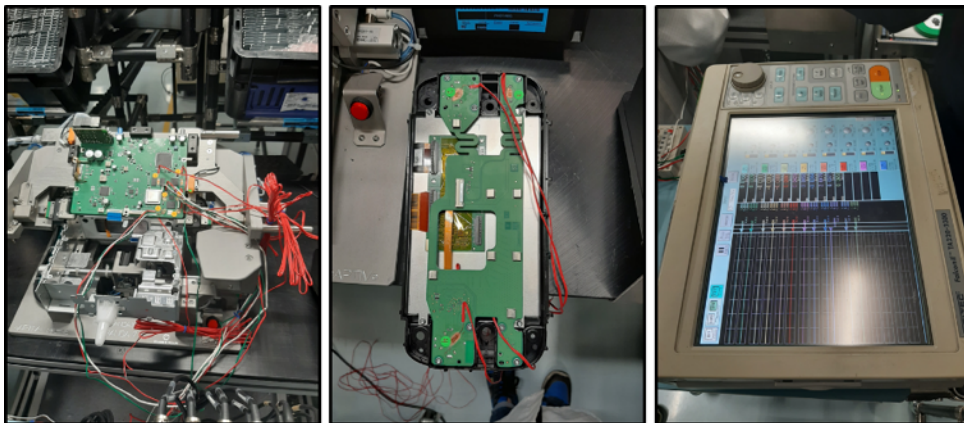


Figura 55 - Teste de medição de tensão

Os resultados obtidos são apresentados num gráfico do tipo representado na Figura 56. Esta figura apresenta os valores de tensão a que a placa de serviço está sujeita.

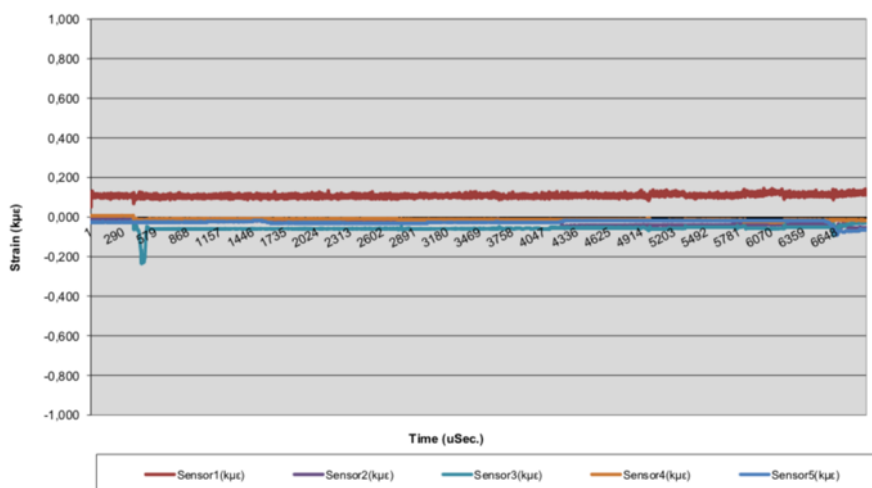


Figura 57 - Gráfico dos valores de tensão na placa de serviço

Os resultados desta medição são depois apresentados no formato apresentado na Figura 57. Como se pode constatar os valores obtidos encontram-se dentro dos limites apropriados.

Products with 650 micro-strain limit		
Maximum Strain	Permanent Strain	Action
> 0.650	> 0.500	Immediate action to reduce strain below limit required
0.450 - 0.650	0.300 - 0.500	Investigate the source of strain and make effort to reduce
0 - 0.450	0 - 0.300	All process are capable and expected to operate at this level

Sensors	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
Máximum (kµε)	0,2859	0,0683	0,2585	0,2533	0,0927
Permanent (kµε)	0,2000	0,0529	0,0513	0,2343	0,0534

Máx Strain (kµε)	0,2859
Máx Permanent (kµε)	0,2343

Figura 56 - Resultados do teste de tensão à placa de serviço

O mesmo foi efetuado para a placa principal, sendo que os valores obtidos também se encontravam dentro dos limites referentes à zona verde.

Na eventualidade dos resultados do teste não serem positivos, o primeiro passo deve ser repetir o teste. Caso o problema persista, a solução passa por comunicar com a equipa de engenharia mecânica para ser estudada uma solução.

5. RESULTADOS

O presente capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos através dos estudos efetuados e das melhorias propostas e implementadas ao longo do projeto.

5.1 Análise do processo produtivo durante as pré-séries

Como referido no capítulo anterior, no decorrer do projeto decorreram várias pré-séries. Com o intuito de analisar o funcionamento do processo na linha de produção, efetuou-se o registo de tempos de ciclo nas últimas quatro pré-séries efetuadas. Apenas se efetuou o registo nestas últimas para que os tempos fossem o menos possível influenciados pela falta de condições na montagem e pela falta de experiência das operadoras.

O *takt time* previsto no subcapítulo 4.2.1 foi de 138 segundos e encontra-se representado pela linha preta no gráfico apresentado na Figura 58. As tabelas com os tempos que foram utilizados para esta análise podem ser consultados no Apêndice VI – Análise de tempos de ciclo.

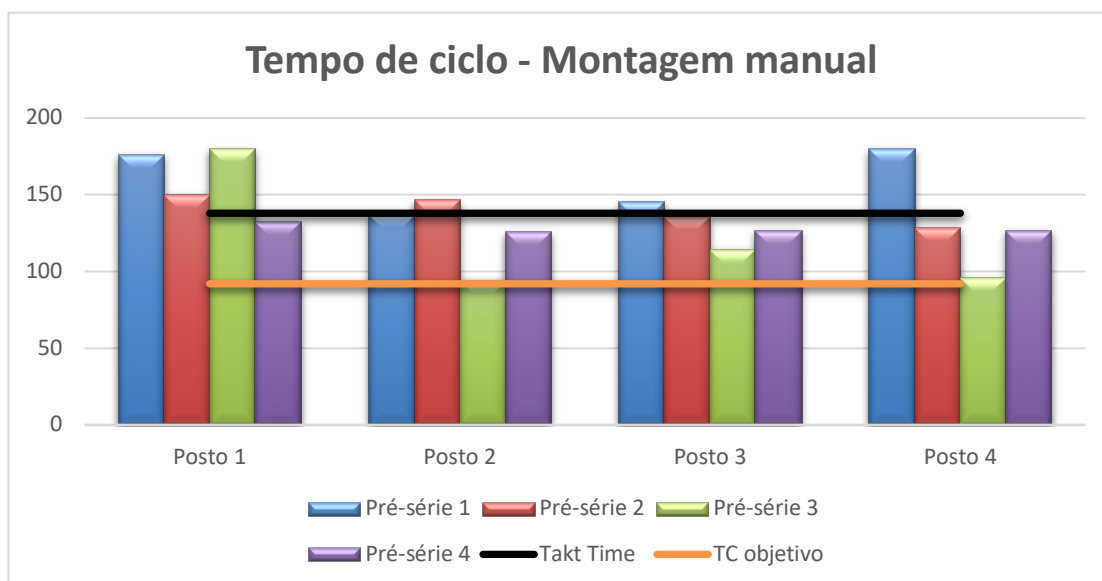


Figura 58 - Análise dos tempos de ciclo na linha de montagem manual nas pré-séries

Analisando o gráfico da Figura 58, ao longo das pré-séries, os tempos de ciclo dos vários postos da montagem manual, em geral, foi diminuindo, deixando de ultrapassar o *takt time*. Na última pré-série todos os postos já se encontravam a cumprir com a procura do cliente.

Quanto aos postos da zona de testes, efetuou-se um estudo de tempos nas mesmas pré-séries e os resultados obtidos estão representados na Figura 59.

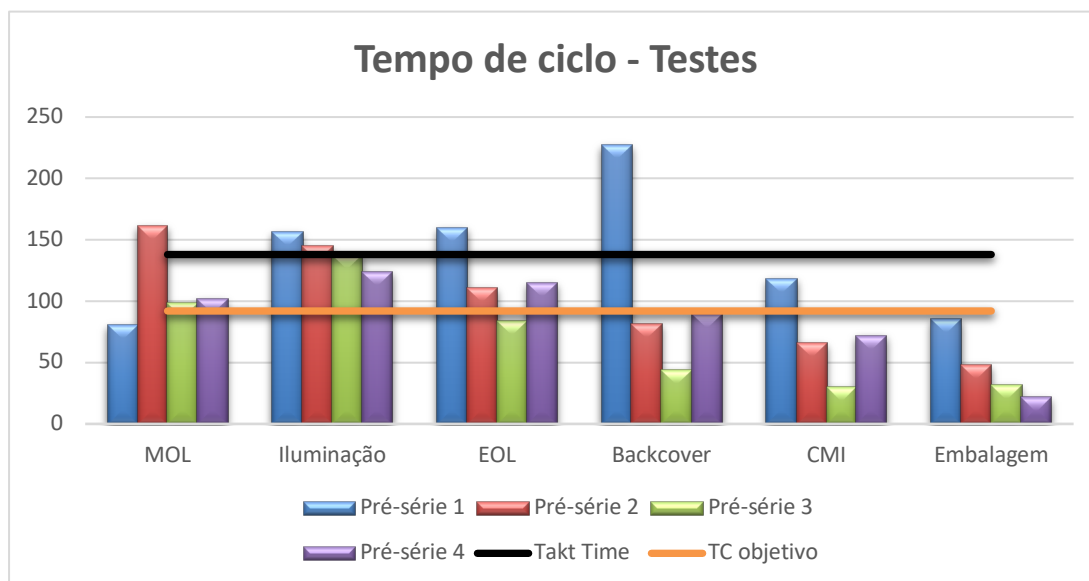


Figura 59 - Análise dos tempos da zona de testes nas pré-séries

Tal como na zona de montagem, nas primeiras pré-séries analisadas alguns postos ultrapassavam o *takt time*. No entanto, ao longo das várias pré-séries, os tempos foram variando, sendo que na última pré-série todos os postos se encontravam abaixo do *takt time*.

Apesar dos resultados da análise efetuada, é importante ressaltar que uma análise dos tempos na produção em pré-séries nunca pode ser considerada completamente fidedigna, dado que as operadoras se encontram numa fase inicial e podem não cumprir com os tempos estabelecidos na WCT devidamente. No entanto, com os resultados apresentados, considera-se o tempo de ciclo um ponto com a necessidade de avaliação de possíveis melhorias, dado que os tempos registados ainda se encontram afastados do tempo de ciclo objetivo de 92 segundos estipulado para a produção em série. Não obstante, o facto de o processo já cumprir com o *takt time* na fase de pré-série é um sinal de que as medidas estão a ser tomadas na direção correta.

Quando o objetivo é melhorar os processos e reduzir os tempos de ciclo, a estratégia deve passar por identificar o estrangulamento, pois só através da redução do tempo de ciclo deste posto é possível reduzir o tempo de ciclo de todo o sistema produtivo.

Adicionalmente à análise de tempos, efetuou-se a medição da eficiência e do índice de planura da linha em cada pré-série. De notar que a quantidade produzida em cada pré-série foi distinta, no entanto, o processo executado para a medição dos tempos foi o mesmo. Optou-se por fazer uma análise da eficiência à linha de produção e também só à linha de montagem, que diz respeito aos postos criados no âmbito do projeto. Na Tabela 42 encontram-se os resultados da análise à linha de montagem.

Tabela 42 - Eficiência e índice de planura da linha de montagem nova

	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4
Pré-série 1 (s)	176	136	145	180
Eficiência	88,6%			
Índice de planura	55,9			
Pré-série 2 (s)	150	147	136	128
Eficiência	93,5%			
Índice de planura	26,1			
Pré-série 3 (s)	180	94	114	96
Eficiência	67,2%			
Índice de planura	137,4			
Pré-série 4 (s)	133	126	127	127
Eficiência	96,5%			
Índice de planura	10,9			

Analisando a Tabela 42 verifica-se que os valores obtidos foram gradualmente melhorando, com exceção da pré-série 3. Os valores da eficiência na última pré-série foram positivos, estando por volta dos 97%, o que significa que a utilização dos postos está favorável. No que diz respeito ao índice de planura, verifica-se uma enorme melhoria ao longo das várias pré-séries, sendo o valor da última pré-série razoável. Contudo, como o objetivo deste indicador é o valor nulo, convém encontrar melhorias na distribuição do conteúdo de trabalho pelos postos.

Quanto à análise da totalidade da linha de produção, os resultados encontram-se na Tabela 43.

Tabela 43 - Eficiências e índices de planura da linha de produção

	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	MOL	ILUM	EOL	Backcover	CMI	EMB
Pré-série 1 (s)	176	136	145	180	80	156	159	227	118	85
Eficiência	64,4%									
Índice de planura	288,3									
Pré-série 2 (s)	150	147	136	128	161	145	111	82	66	48
Eficiência	72,8%									
Índice de planura	181,7									
Pré-série 3 (s)	180	94	114	96	98	138	84	44	30	31
Eficiência	50,5%									
Índice de planura	316									
Pré-série 4 (s)	133	126	127	127	102	124	115	89	72	22
Eficiência	78,1%									
Índice de planura	139									

Verifica-se na Tabela 43 que os valores obtidos foram gradualmente melhorando, com exceção da pré-série 3. Os valores da eficiência na última pré-série foram positivos, estando por volta dos 78%, o que significa que a utilização dos postos está razoável, tendo que ser efetuado um estudo da mesma no

sentido de melhorar a eficiência. No que diz respeito ao índice de planura, verifica-se uma melhoria gradual ao longo das várias pré-séries. Contudo, os valores encontram-se ainda bastante dispares do valor nulo pretendido. Como tal, o balanceamento da linha de produção deve ser analisado de forma a encontrar melhorias na distribuição do conteúdo de trabalho pelos postos.

5.2 Melhorias implementadas ao longos das pré-séries

Ao longo da implementação da nova linha de produção na secção de Montagem Final foram realizados alguns estudos de oportunidades de melhoria para chegar ao resultado final.

Uma das melhorias implementadas consistiu na instalação de um *scanner* automático no posto de trabalho 1 que permitisse a leitura automática do código QR da blenda. Com esta medida evita-se a movimentação da blenda para efetuar a leitura do código após a sua colocação na base do dispositivo (que é necessário para o sistema reconhecer que já se encontra um componente na base através de um sensor). Desta forma, diminui-se os movimentos que a operadora tem que efetuar e conseqüentemente o tempo de ciclo. Na Figura 60 apresenta-se o *scanner* instalado.

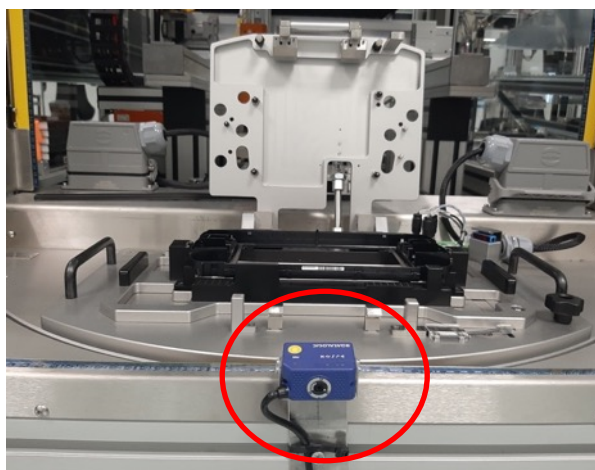


Figura 60 - Scanner implementado na melhoria

No posto 1, após o decorrer de várias pré-séries, foi constatado que seria necessária uma mudança relativamente ao *keypad* que vinha colocado na blenda da área de plásticos. Esta peça era colocada no Edifício 2, e vinha colocada na blenda, no entanto, não ficava segura à mesma, sendo que caía ao chão ou saía do sítio sempre que a operadora do posto 1 pegava na blenda para ler o código. Desta forma, para evitar tanto a danificação/contaminação do *keypad* por queda ou o aumento do tempo de processo decidiu-se mudar a operação da sua colocação para o conteúdo de trabalho do posto 1 da montagem final invés de ser colocada na área de plásticos. Apesar de aumentar teoricamente 2,4 segundos ao conteúdo do posto, no final irá transformar-se num ganho de tempo de montagem, pois evitam-se os desperdícios devido às causas referidas.

Outra melhoria diz respeito ao tempo de aparafusamento do *robot* 1. Inicialmente o tempo máquina para o *robot* estava definido para 47 segundos. Foram efetuadas melhorias no *software* de aparafusamento, nas coordenadas e no torque, sendo possível reduzir o tempo máquina para 45 segundos.

A nível de qualidade, efetuou-se uma melhoria na composição dos cabos conectores com a colocação de películas de proteção, o que permitiu a diminuição do tempo da colocação dos cabos e a diminuição do risco de eventual danificação dos cabos. Na Figura 61 pode-se verificar os novos cabos com a película de proteção e a caixa dedicada ao *keypad* que passou a ser colocado no posto de trabalho 1.



Figura 61 - Cabos com a melhoria e o keypad que passou a ser colocado no posto 1

No que diz respeito às rampas ergonómicas e aos tabuleiros usados, inicialmente estava definido um tabuleiro para a blenda. No entanto, devido a questões de segurança foi modificado o tipo de tabuleiro para o referido no subcapítulo 4.3.4, o que levou à eliminação de uma rampa de abastecimento que estava unicamente dedicada ao abastecimento de blendas, uma vez que o novo tabuleiro pode ser abastecido pela rampa dedicada aos restantes componentes do posto de trabalho 1.

Para além das melhorias implementadas, ao longo do projeto foram sugeridas outras melhorias, no entanto, devido a questões logísticas não foi possível implementá-las. Desta forma sugere-se que se efetue a realização das seguintes ações, com o intuito de complementar a linha e melhorar o seu desempenho:

- Colocar *andons* nos *robots* de aparafusamento automático para sinalizar a necessidade de abastecimento de parafusos;
- Colocar sistema de abastecimento nos *robots* de aparafusamento que permita o abastecimento de parafusos sem ter que interromper a produção;

- Colocar um ecrã no final da linha de montagem onde se visualize a *Operational Efficiency* (OE) da linha.

5.3 Resultado físico da implementação da linha no chão de fábrica

Uma vez que o objetivo do projeto consistiu em implementar uma linha de produção nova, um dos resultados obtidos traduz-se na linha de produção propriamente dita, ou seja, na sua implementação física no chão de fábrica com sucesso. Como tal, nas Figuras 62 e 63 pode-se visualizar a linha de produção instalada na área de montagem final, como estava destinado no estado futuro definido.



Figura 62 - Linha de produção instalada no chão de fábrica (zona de montagem)



Figura 63 - Linha de produção instalada no chão de fábrica (zona de testes)

Como é possível verificar pela Figura 62, em cada posto existe um suporte para que o WIP entre postos seja apenas de uma peça, sendo possível conseguir “*one-piece-flow*” durante a montagem do produto P.

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Estando integrada no ramo automóvel, a *Aptiv* está suscetível a constantes mudanças e à necessidade de incorporar novos produtos no seu sistema produtivo.

Sendo caracterizada como uma empresa que cumpre com os requisitos dos seus clientes e que necessita de dar resposta à procura dos mesmos, é fundamental adotar a filosofia *Lean* e as ferramentas associadas à mesma, com o intuito de alcançar a melhor eficiência possível do sistema produtivo, com a produção mínima de desperdícios possível.

Adicionalmente, o sucesso da empresa depende bastante do desempenho dos seus operadores, pelo que é ideal a empresa implementar as melhores soluções que permitam reduzir o risco de lesões e aumentar o conforto e rendimento dos operadores.

O objetivo da presente dissertação consistiu na implementação de uma nova linha de produção, na secção de Montagem Final, como consequência da introdução de um produto novo no portefólio da empresa. Desta forma, o projeto passou por várias etapas como o balanceamento teórico da linha de produção, a implementação da linha de produção no chão de fábrica e a avaliação da mesma tendo em conta os requisitos ergonómicos.

Analisando o processo decorrido ao longo da implementação da nova linha, foi possível efetuar melhorias para ir de encontro aos objetivos definidos. Estas melhorias consistiram na implementação de mecanismos de prevenção de erros e de gestão visual, em alterações na linha para se cumprir com requisitos ergonómicos e na redução de tempo de ciclo associado a movimentações desnecessárias das operadoras. Os objetivos definidos para o projeto foram maioritariamente alcançados: o tempo de ciclo no decorrer das pré-séries cumpriu com o *takt time* estabelecido, sendo um fator positivo para atingir o tempo de ciclo estipulado para a produção em série; conseguiu-se “*one-piece-flow*” e zero defeitos à saída da linha através da implementação de *buffers* de apenas uma peça entre os postos e de mecanismos à prova de erros que impedem a propagação de peças defeituosas aos longos dos vários postos da linha; estabeleceu-se dois tipos de postos padrão que a empresa pode adotar, de forma a cumprir com os requisitos ergonómicos exigidos para a população utilizadora da linha de produção.

Na linha de pensamento do trabalho futuro, é importante manter o ideal de melhoria contínua no sentido de otimizar os tempos de ciclo praticados na linha de montagem e nas máquinas de testes incorporadas na linha de produção, assim como otimizar os movimentos das operadoras. Como não foi possível efetuar

durante o projeto, é necessário realizar o controle do processo no que diz respeito à eficiência operacional, com intuito de determinar as melhorias necessárias.

A nível ergonómico é necessário atuar com urgência nos postos implementados na linha de montagem, tendo em conta que estes apresentam um risco significativo no que diz respeito às posturas adotadas, sobretudo pelos membros superiores (as pontuações RULA obtidas variam entre 3, 6 e 7). Indo ao encontro dos princípios da melhoria contínua, recomenda-se a reestruturação dos postos segundo o dimensionamento antropométrico efetuado. Se necessário, visto que o resultado da aplicação da ferramenta RULA apresentou pontuações elevadas para as posturas adotadas pelos pulsos, pescoço, tronco e pernas, aconselha-se a utilização das ferramentas ergonómicas *Strain Index (SI)* e *Rapid Entire Body Assessment (REBA)*, com o intuito de perceber melhor o nível de risco para o pulsos e para o corpo inteiro, dado que não foi possível aplicar as mesmas durante o projeto.

As melhorias encontradas ao longo do projeto e os padrões desenvolvidos devem servir como referência para a introdução futura de novos produtos, tendo sempre a melhoria contínua como um dos focos da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, J. R. X., & Alves, J. M. (2015). Production management model integrating the principles of lean manufacturing and sustainability supported by the cultural transformation of a company. *International Journal of Production Research*, 53(17), 5320–5333. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1033032>
- Andersson, C., & Bellgran, M. (2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.003>
- Aptiv. (2020a). *Manual de Acolhimento*. Braga.
- Aptiv. (2020b). *Publicações internas*. Braga.
- Arezes, P. M., Miguel, A. S., Gomes da Costa, L., Barroso, M. P., & Cordeiro, P. (2005). Base de dados antropométricos de uma população laboral. *Revista Ingenium, Ordem dos Engenheiros*, 2(88), 64–69.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2011). New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(1), 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2010.12.001>
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346–5366. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.903348>
- Bell, S. (2006). *Lean enterprise systems: using IT for continuous improvement*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox: A handbook for lean transformation*. (4th ed.). Production and inventory control, systems and industrial engineering books.
- Bittencourt, W., Alves, A., & Arezes, P. (2011). Revisão Bibliográfica Sobre a Sinergia Entre Lean Production e Ergonomia. *CLME '2011*.
- Carvalho, D. (2010). *Cultura "Lean" nas Organizações Portuguesas*. Obtido de [http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/outros/Cultura Lean em Portugal.pdf](http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/outros/Cultura%20Lean%20em%20Portugal.pdf)
- Castillo, J., & Villena, J. (2005). *Ergonomia: conceitos e métodos* (1 edição; T. A. Reis, & V. Rodrigues, Ed.). Lisboa: Dinalivro.
- Correia, D., Silva, F. J. G., Gouveia, R. M., Pereira, T., & Ferreira, L. P. (2018). Improving manual assembly lines devoted to complex electronic devices by applying Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 17, 663–671. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.115>
- Coughlan, P., & Coughlan, D. (2002). Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 22(2), 220–240. <https://doi.org/10.1108/01443570210417515>
- Dennis, P. (2015). *Lean production simplified: A plain-language guide to the world's most powerful production system* (3rd ed.). CRC Press.
- Drew, J., Roggenhofer, S., & McCallum, B. (2004). *Journey to Lean: Making Operational Change Stick*. https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2005.00150_2.x
- El-Namrouty, K. A., & Abushaaban, M. S. (2013). Seven Wastes Elimination Targeted by Lean Manufacturing Case Study "Gaza Strip Manufacturing Firms". *International Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, 1(2), 68–80. <https://doi.org/10.11648/j.ijefm.20130102.12>
- Haque, B., & James-moore, M. (2004). Applying lean thinking to new product introduction. *Journal of Engineering Design*, 15(1), 1–31. <https://doi.org/10.1080/0954482031000150125>
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). *Going Lean: A guide to implementation*. <https://doi.org/10.1097/01.jnn.0000358162.21072.ab>

- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(1), 46–64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>
- Iida, I. (2005). *Ergonomia: projeto e produção* (2 edição). São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA.
- International Ergonomics Association. (2019). Definition and Domains of Ergonomics. Obtido 4 de Fevereiro de 2020, de <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>
- Kaganski, S., Majak, J., Karjust, K., & Toompalu, S. (2017). Implementation of Key Performance Indicators Selection Model as Part of the Enterprise Analysis Model. *Procedia CIRP*, 63, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.143>
- Kehr, T. W., & Proctor, M. D. (2017). People Pillars: Re-structuring the Toyota Production System (TPS) House Based on Inadequacies Revealed During the Automotive Recall Crisis. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(4), 921–930. <https://doi.org/10.1002/qre.2059>
- Kroemer, K. H. E., & Grandjean, E. (2009). *Fitting the task to the human: A textbook of occupational ergonomics* (5th ed.). Taylor & Francis.
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: A case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Lean Enterprise Institute. (2012). Standardized Work Combination Table. Obtido 27 de Abril de 2020, de <https://www.lean.org/common/display/?o=2188>
- Liker, J. (2004). *The toyota way: Fourteen management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Lu, J. C., & Yang, T. (2015). Implementing lean standard work to solve a low work-in-process buffer problem in a highly automated manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, 53(8), 2285–2305. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937009>
- Mariz, R. N., Picchi, F. A., Granja, A. D., & Melo, R. S. S. de. (2012). A review of the standardized work application in construction. *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Middlesworth, M. (2020). *A Step-by-Step Guide: Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*.
- Monden, Y. (2012). *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time* (4th ed.). Engineering & Management Press.
- Occupational Safety and Health Administration. (2007). Introdução às lesões músculo-esqueléticas. *Facts 71*, 1–2. Obtido de <https://osha.europa.eu/pt/publications/factsheets/71>
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Oliveira, L. A. (2011). *Dissertação e tese em ciência e tecnologia segundo Bolonha*. Porto: Lidel-Edições Técnicas, Lda.
- Organização Internacional do Trabalho. (2002). *Sistemas de gestão da segurança no trabalho: diretrizes práticas da OIT*. Lisboa: IDICT.
- Peinado, J., & Graeml, A. (2007). *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. UnicenP.
- Pinto, J. P. (2008). *Lean Thinking - Introdução ao pensamento magro*. Comunidade Lean Thinking.

- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento LEAN: A filosofia das organizações vencedoras* (6 edição). Lisboa: Lidel-Edições Técnicas, Lda.
- Rebelo, F. (2004). *Ergonomia no dia a dia*. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Saunders, M., Thornhill, A., & Lewis, P. (2009). *Research methods for business students* (5th ed). Harlow: Prentice Hall.
- Serranheira, F. (2007). *Lesões Músculo-Esqueléticas Ligadas ao Trabalho: que métodos de avaliação do risco?* Universidade Nova de Lisboa.
- Serranheira, F., Uva, A. S., & Lopes, M. F. (2008). Lesões Músculo-Esqueléticas e Trabalho: Alguns métodos de avaliação do risco. *Sociedade Portuguesa de Medicina do Trabalho*, (5), 1–179.
- Serranheira, F., & Uva, A. S. (2006). Avaliação do risco de LMESLT: aplicação dos métodos RULA e SI. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 6, 13–36.
- Serranheira, F., & Uva, A. S. (2010). *LER/DORT: que métodos de avaliação do risco?* 35(122), 314–326.
- Shingo, S. (2005). *Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. CRC Press.
- Silva, Â. M. (2008). *Ergonomia e antropometria - Dimensionamento de postos de trabalho em pé*. Universidade de Aveiro.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2002). *Administração da produção* (2nd ed.). São Paulo: Atlas.
- Staton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., & Hendrick, H. (2005). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. <https://doi.org/10.1201/9781315563275-4>
- Staudt, F. H., Coelho, A. S., & Gonçalves, M. B. (2011). Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov. *Producao*, 21(4), 634–644. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000058>
- Strategos. (2016). A Brief History of (Just-In-) Time. Obtido 26 de Março de 2020, de http://www.strategosinc.com/just_in_time.htm
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system - Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. M. S. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Surekha, S., Gowda, R., & Kulkarni, M. (2013). Standardized Work: An important principle implemented in the manufacturing industry. *International Journal of Management Research and Business Strategy*, 2, 62–66.
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An assessment of the scientific merits of action research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582–603. <https://doi.org/10.2307/2392581>
- The Productivity Development Team. (1999). *Cellular Manufacturing: One Piece Flow for Workteams*. CRC Press.
- Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. London: McGraw-Hill.
- Womack, J. P., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free Press.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson Associates.

APÊNDICES

APÊNDICE I – CÁLCULO DO *TAKT TIME*

Tempo disponíveis = Sem contabilizar paragens

Tempos efetivos = Tempos com paragens planeadas

Tempos úteis = Tempos com paragens planeadas e não planeadas

Eficiência operacional = 95 %

Número de semanas disponíveis durante um ano = 50 semanas

Número de dias úteis por semana = 5 dias

Cálculo do tempo útil

Para 1 turno:

Tempo de intervalo = 30 minutos

Tempo disponível = 8 horas x 60 minutos = 480 minutos

Tempo útil diário = (480 min – 30 min) x 0,95 = **428 min/dia**

Tempo útil semanal = 428 min x 5 dias = **2138 min/semana**

Para 2 turnos:

Tempo de intervalo = 30 min x 2 = 60 minutos

Tempo disponível = 8 horas x 60 min x 2 = 960 min

Tempo útil diário = (960 min – 60 min) x 0,95 = **855 min/dia**

Tempo útil semanal = 855 min x 5 dias = **4275 min/semana**

Para 3 turnos:

Tempo de intervalo = 30 min x 3 = 90 min

Tempo disponível = 8 horas x 60 min x 3 = 1440 min

Tempo útil diário = (1440 min – 90 min) x 0,95 = **1283 min/dia**

Tempo útil semanal = 1283 min x 5 dias = **6413 min/semana**

Cálculo da procura diária

Ano 2021:

$$Procura\ diária = \frac{Produção\ anual}{N^{\circ}\ dias\ úteis} = \frac{44927}{50 \times 5} = 180\ peças/dia$$

Ano 2022:

$$\text{Procura diária} = \frac{\text{Produção anual}}{\text{Nº dias úteis}} = \frac{46377}{50 \times 5} = 186 \text{ peças/dia}$$

Ano 2023:

$$\text{Procura diária} = \frac{\text{Produção anual}}{\text{Nº dias úteis}} = \frac{44627}{50 \times 5} = 179 \text{ peças/dia}$$

Ano 2024:

$$\text{Procura diária} = \frac{\text{Produção anual}}{\text{Nº dias úteis}} = \frac{41584}{50 \times 5} = 166 \text{ peças/dia}$$

Cálculo do *takt time*

Para 1 turno (Ano 2022):

$$TT = \frac{\text{Tempo útil de produção}}{\text{Procura anual}} = \frac{2138 \text{ min/sem} \times 50 \text{ semanas} \times 60}{46377} = 138 \text{ seg/uni}$$

Para 2 turnos (Ano 2022):

$$TT = \frac{\text{Tempo útil de produção}}{\text{Procura anual}} = \frac{4275 \text{ min/sem} \times 50 \text{ semanas} \times 60}{46377} = 277 \text{ seg/uni}$$

Para 3 turnos (Ano 2022):

$$TT = \frac{\text{Tempo útil de produção}}{\text{Procura anual}} = \frac{6413 \text{ min/sem} \times 50 \text{ semanas} \times 60}{46377} = 415 \text{ seg/uni}$$

APÊNDICE II – CONTEÚDO DE TRABALHO DO PRODUTO

Tabela 44 - Conteúdo de trabalho do produto

	Operação	Movimentos	Tempo (s)
A	Ler código blenda	3	1,8
B	Ler código <i>display</i>	3	1,8
C	Montar <i>display</i> na blenda	5	3
D	Ler código placa de serviço	3	1,8
E	Montar placa de serviço na blenda	5	3
F	Aparafusar <i>display</i> e placa de serviço à blenda		47
G	Montar cabos do <i>display</i> e da <i>mainboard</i>	14	8,4
H	Montar <i>pivot</i> no caixilho	4	2,4
I	Montar blenda no caixilho	6	3,6
J	Montar <i>knobs</i> na blenda	8	4,8
K	Montar botões na blenda	8	4,8
L	Montar <i>mainboard</i> no caixilho	4	2,4
M	Encaixar cabos na <i>mainboard</i>	10	6
N	Montar tampas no caixilho	12	7,2
O	Fechar o <i>snap</i>	3	1,8
P	Aparafusar tampas ao caixilho		70
Q	Montar <i>back cover</i> no aparelho	9	5,4
R	Aparafusar <i>back cover</i> ao aparelho	11	6,6

APÊNDICE III – *WORK COMBINATION TABLE* NO INÍCIO E FIM DO PROJETO

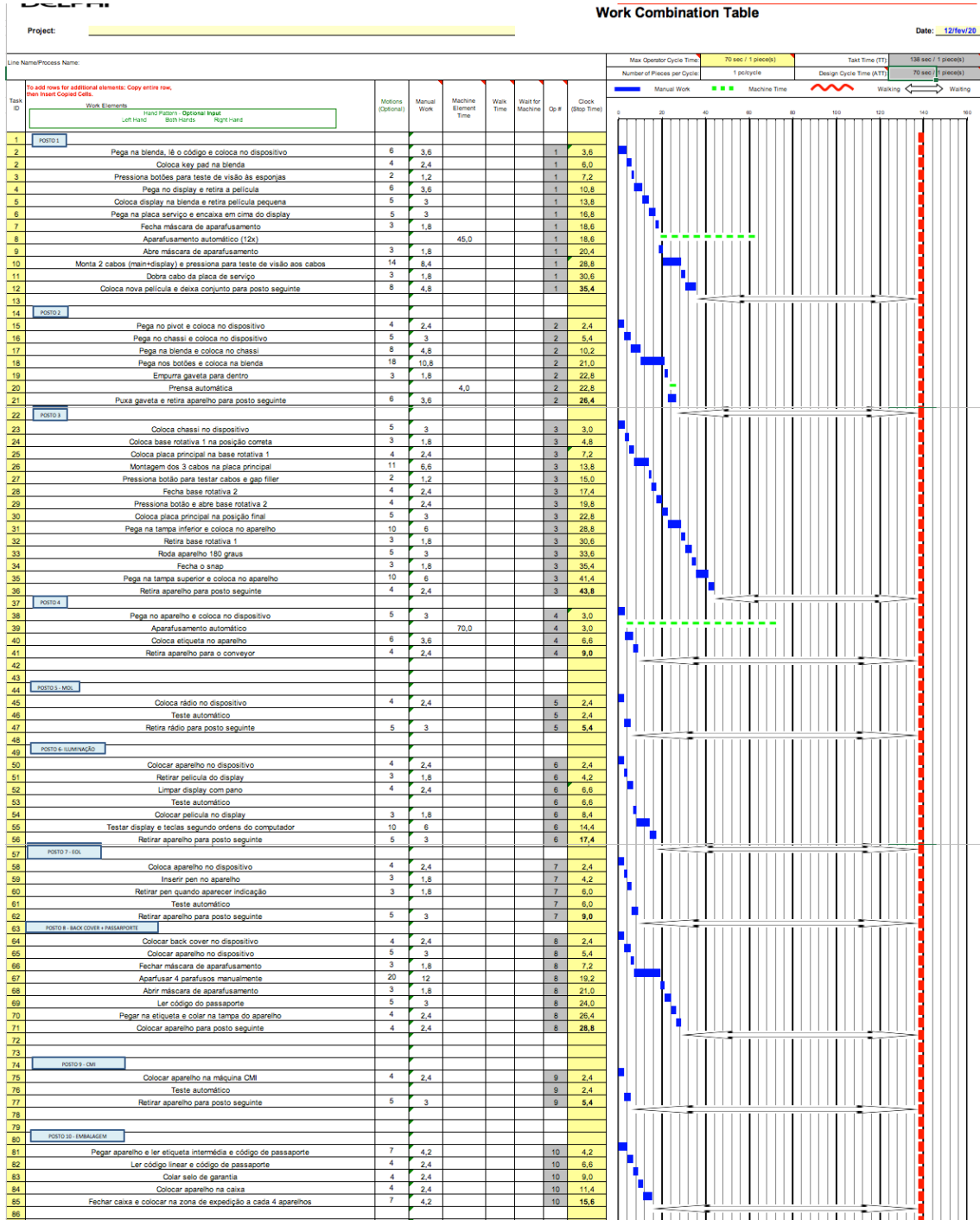


Figura 64 - WCT no final do projeto

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

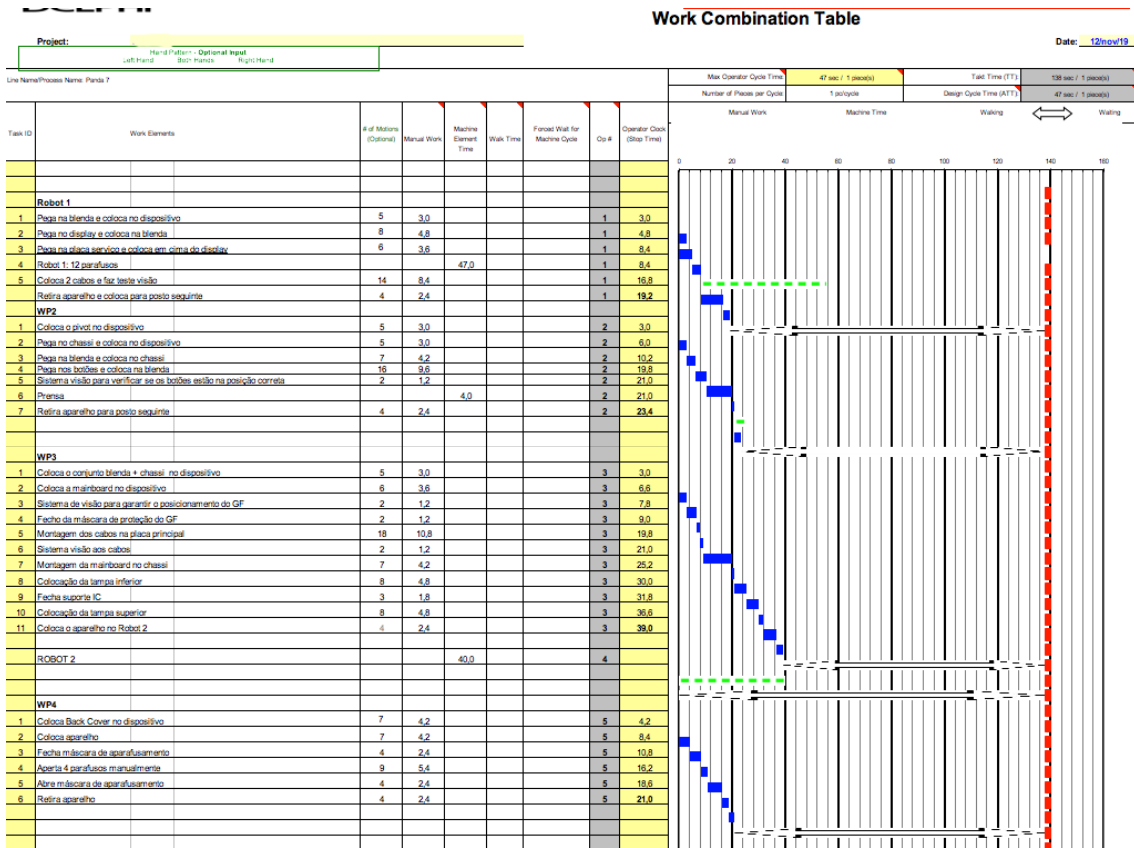


Figura 65 - WCT no início do projeto

APÊNDICE IV – CÁLCULO DE CAPACIDADE DOS SISTEMAS DE TESTE

Tabela 45 - Tempos de ciclo e capacidade efetiva do turno

TC Teste Iluminação C, F, PC (s)	96
TC Teste Iluminação P (s)	72,5
TC objetivo montagem P (s)	92
Duração útil turno (h)	7,125

Tabela 46 - Volumes anuais e diários dos produtos C, F e PC

	2020	2021	2022	2023
Volumes anuais PC	1381	0	0	0
Volumes anuais C	30098	31443	32233	33320
Volumes anuais F	6550	6250	6400	0
Volumes diários PC	6	0	0	0
Volumes diários C	120	126	129	133
Volumes diários F	26	25	26	0

Tabela 47 - Tempo de teste necessário para os produtos C, F e PC e tempo livre no turno

	2020	2021	2022	2023
Tempo teste necessário PC (h)	0,15	0	0	0
Tempo teste necessário C (h)	3,21	3,35	3,44	3,55
Tempo teste necessário F (h)	0,7	0,67	0,68	0
Total (h)	4,06	4,02	4,12	3,55
Tempo livre no turno (h)	3,07	3,10	3	3,57

APÊNDICE V – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO COM A FERRAMENTA RULA

Tabela 48 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 1

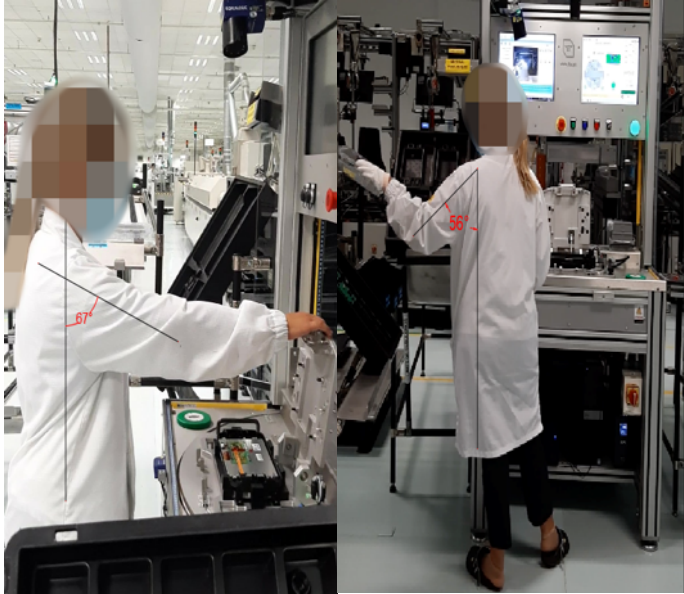

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Braços			
		Esquerdo	Direito
		3	3
	Elevação	0	0
	Abdução	1	0
Pontuação total Braços		4	3

Tabela 49 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 1


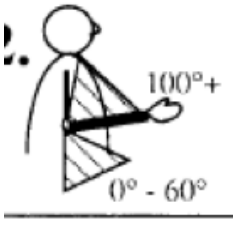
Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Antebraços			
		Esquerdo	Direito
		2	2
	Cruzamento da linha média	1	0
Pontuação total Antebraços		3	2

Tabela 50 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 1


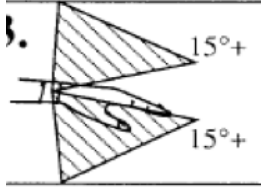

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Pulso			
		Esquerdo	Direito
		1	1
Pontuação total Pulso		4	4

Tabela 51 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 1


Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Rotação pulso			
	<p>Na região média da articulação</p>	Esquerdo	Direito
Pontuação total Rotação pulso		1	1

Tabela 52 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 1


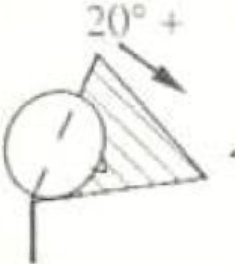

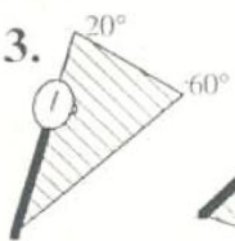
Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Pescoço		
		3
	Rotação	1
	Inclinação lateral	0
Pontuação total Pescoço		4

Tabela 53 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 1

Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Tronco		
		3
	Rotação	1
	Inclinação lateral	0
Pontuação total Tronco		4

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 54 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 1


Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Membros inferiores		
	Pernas e pés mal apoiados e posição desequilibrada	2
Pontuação total Membros inferiores		2

Tabela 55 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 2

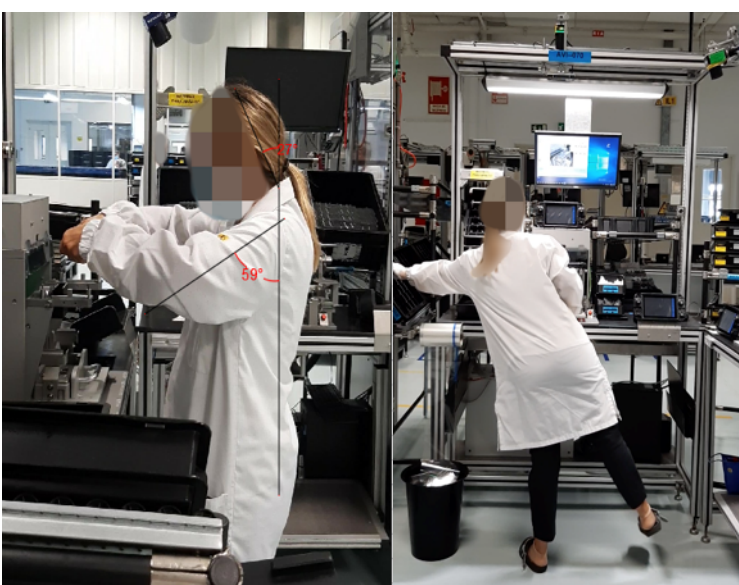
Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior		
Braços		
	Esquerdo	Direito
	3	3
Elevação	1	1
Abdução	1	0
Pontuação total Braços	5	4

Tabela 56 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 2


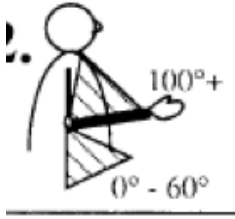
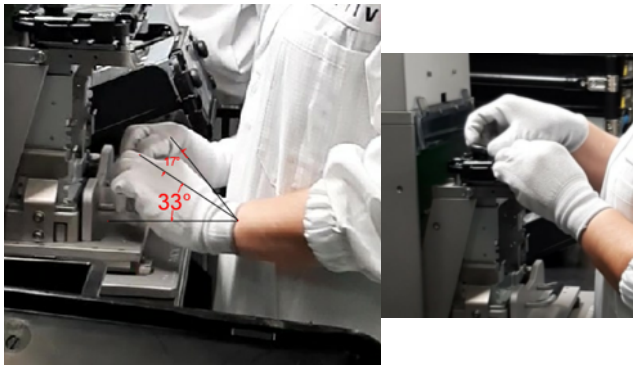
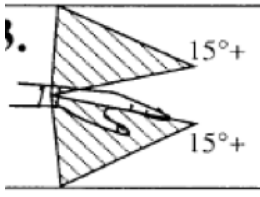

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Antebraços			
		Esquerdo	Direito
		2	2
	Cruzamento da linha média	0	0
Pontuação total Antebraços		2	2

Tabela 57 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 2

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Pulso			
		Esquerdo	Direito
		3	3
		1	1
Pontuação total Pulso		4	4

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 58 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 2

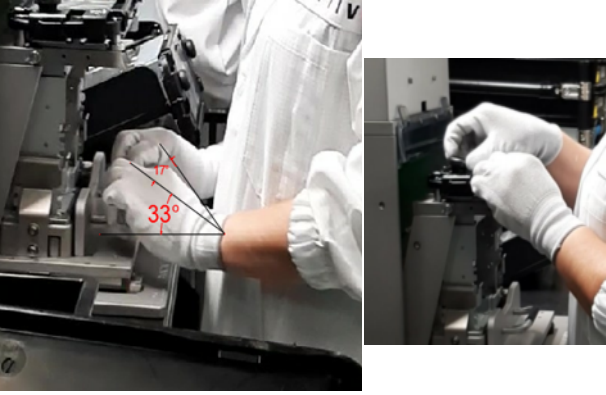
Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Rotação pulso			
		Esquerdo	Direito
	Na região média da articulação	1	1
		Pontuação total Rotação pulso	

Tabela 59 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 2


Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores				
Pescoço				
			3	
		Rotação		0
		Inclinação lateral		1
Pontuação total Pescoço			4	

Tabela 60 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 2



Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores			
Tronco			
			2
		Rotação	1
		Inclinação lateral	0
Pontuação total Tronco			3

Tabela 61 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 2


Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores			
Membros inferiores			
		Pernas e pés mal apoiados e posição desequilibrada	2
Pontuação total Membros inferiores			2

Tabela 62 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 3



Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Braços			
	 45° - 90°	Esquerdo	Direito
		3	3
	Elevação	0	1
	Abdução	1	0
Pontuação total Braços		4	4

Tabela 63 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 3


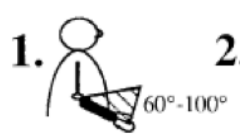
Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Antebraços			
	 1. 2. 60° - 100°	Esquerdo	Direito
		1	1
	Cruzamento da linha média	0	1
Pontuação total Antebraços		1	2

Tabela 64 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 3

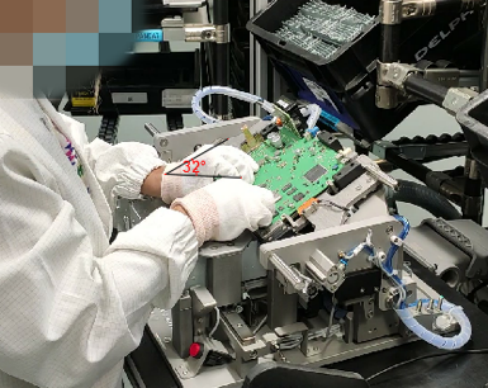
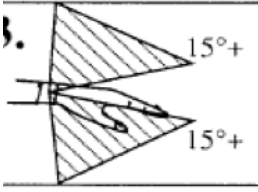
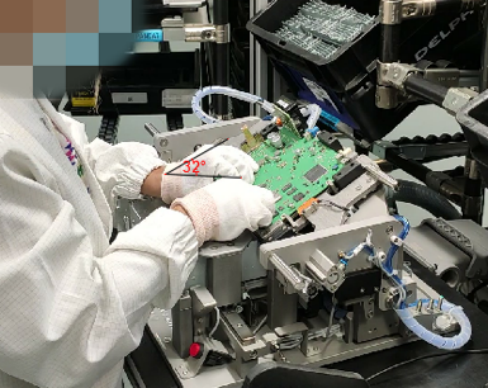

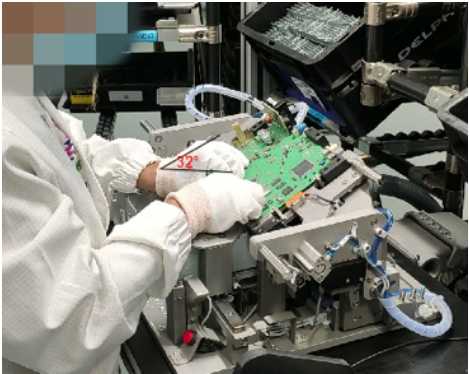
Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Pulso			
		Esquerdo	Direito
		Esquerdo	Direito
			1
Pontuação total Pulso		4	4

Tabela 65 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 3

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Rotação pulso			
	<p>Na região média da articulação</p>	Esquerdo	Direito
Pontuação total Rotação pulso		1	1

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 66 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 3

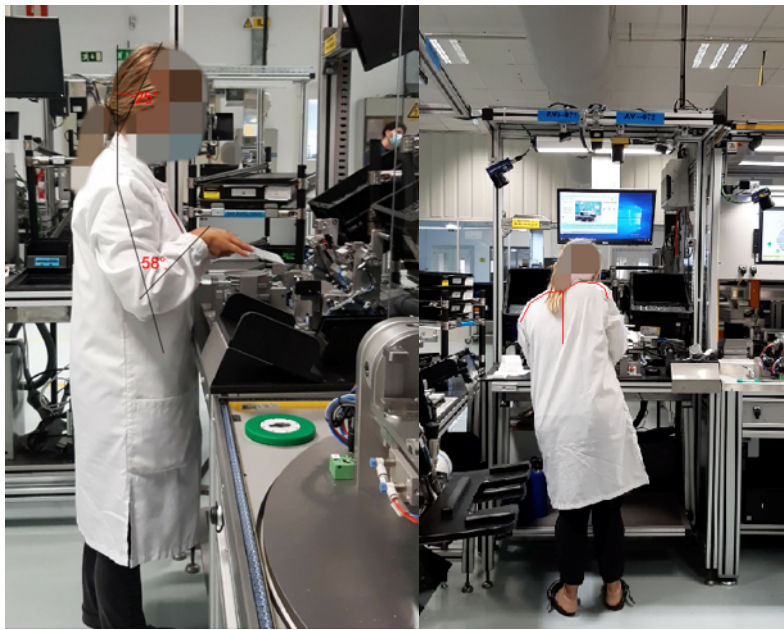
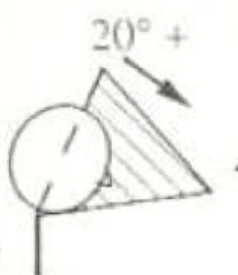
Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Pescoço		
		3
	Rotação	0
	Inclinação lateral	1
Pontuação total Pescoço		4

Tabela 67 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 3

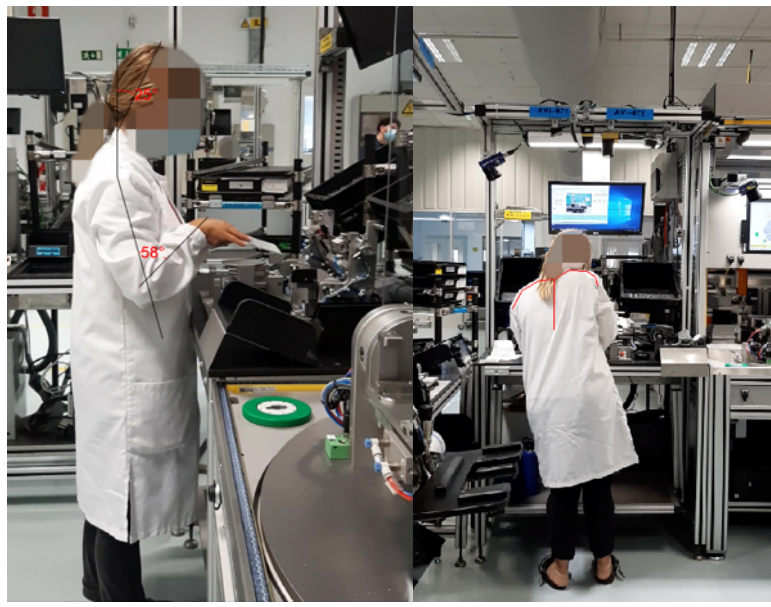
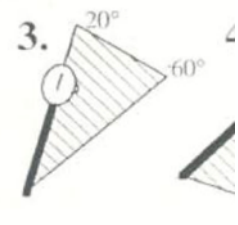
Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Tronco		
		3
	Rotação	1
	Inclinação lateral	1
Pontuação total Tronco		5

Tabela 68 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 3


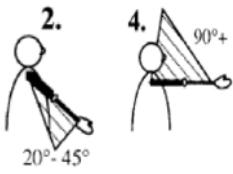

Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores			
Membros inferiores			
		Pernas e pés mal apoiados e posição desequilibrada	2
Pontuação total Membros inferiores			2

Tabela 69 - Pontuação para a postura do membro superior (Braços) do posto de trabalho 4

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Braços			
	Esquerdo	Direito	
		2	4
Elevação	0	1	
Abdução	0	1	
	Pontuação total Braços		
	2	6	

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 70 - Pontuação para a postura do membro superior (Antebraço) do posto de trabalho 4




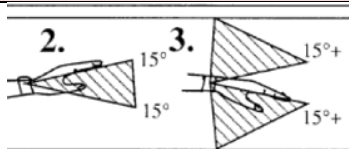

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Antebraços			
		Esquerdo	Direito
		1	1
	Cruzamento da linha média	0	0
Pontuação total Antebraços		1	1

Tabela 71 - Pontuação para a postura do membro superior (Pulso) do posto de trabalho 4

Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior			
Pulso			
		Esquerdo	Direito
		2	3
	 <p>+ 1 se o pulso flectir longe da linha média</p>	1	1
Pontuação total Pulso		3	4

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 72 - Pontuação para a postura do membro superior (Rotação pulso) do posto de trabalho 4



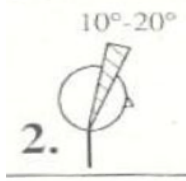
Grupo A- Pontuação para a postura do membro superior				
Rotação pulso				
			Esquerdo	Direito
				
Pontuação total Rotação pulso			1	1

Tabela 73 - Pontuação para a postura do pescoço do posto de trabalho 4

Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores			
Pescoço			
			2
		Rotação	0
		Inclinação lateral	1
Pontuação total Pescoço			3

Projeto e implementação de uma nova linha de produção de autorrádios

Tabela 74 - Pontuação para a postura do tronco do posto de trabalho 4




Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Tronco		
		2
	Rotação	0
	Inclinação lateral	0
Pontuação total Tronco		2

Tabela 75 - Pontuação para a postura dos membros inferiores do posto de trabalho 4

Grupo B - Pontuação para a postura do pescoço, tronco e membros inferiores		
Membros inferiores		
		Pernas e pés mal apoiados e posição desequilibrada 1
Pontuação total Membros inferiores		1

APÊNDICE VI – ANÁLISE DE TEMPOS DE CICLO

Tabela 76 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 1

	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	MOL	Iluminação	EOL	Backcover	CMI	Embalagem
Quantidade produzida	59	62	50	50	50	53	55	47	32	50
Tempo de produção (min)	173	141	121	150	67	138	146	178	63	71
Tempo de ciclo (s)	176	136	145	180	80	156	159	227	118	85

Tabela 77 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 2

	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	MOL	Iluminação	EOL	Backcover	CMI	Embalagem
Quantidade produzida	28	27	34	29	38	34	32	25	21	25
Tempo de produção (min)	70	66	77	62	102	82	59	34	23	20
Tempo de ciclo (s)	150	147	136	128	161	145	111	82	66	48

Tabela 78 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 3

	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	MOL	Iluminação	EOL	Backcover	CMI	Embalagem
Quantidade produzida	50	51	50	49	49	44	35	11	12	25
Tempo de produção (min)	150	80	95	78	80	101	49	8	6	13
Tempo de ciclo (s)	180	94	114	96	98	138	84	44	30	31

Tabela 79 - Cálculo dos tempos de ciclo da pré-série 4

	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	MOL	Iluminação	EOL	Backcover	CMI	Embalagem
Quantidade produzida	43	43	45	45	46	46	47	51	51	25
Tempo de produção (min)	95	90	95	95	78	95	90	76	61	9
Tempo de ciclo (s)	133	126	127	127	102	124	115	89	72	22

ANEXOS

ANEXO I – FOLHA DE CÁLCULO DO MÉTODO RULA

RULA Employee Assessment Worksheet

Task Name: _____ Date: _____

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:

Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Upper Arm Score:

Step 2: Locate Lower Arm Position:

Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Lower Arm Score:

Step 3: Locate Wrist Position:

Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Wrist Twist Score: Wrist Score:

Step 4: Wrist Twist:
If wrist is twisted in mid-range: +1
If wrist is at or near end of range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

Step 6: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >1 minute), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Muscle Use Score:

Step 7: Add Force/Load Score
If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Force / Load Score:

Step 8: Find Row in Table C
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Wrist & Arm Score:

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:

Step 9a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Neck Score:

Step 10: Locate Trunk Position:

Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Trunk Score:

Step 11: Legs:
If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Leg Score:

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:
Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

Step 13: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >1 minute), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Muscle Use Score:

Step 14: Add Force/Load Score
If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Force / Load Score:

Step 15: Find Column in Table C
Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

Neck, Trunk, Leg Score:

Scores

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist Score					
		1	2	3	4		
1	1	1	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	3	3
	3	2	3	3	3	3	4
2	1	2	3	3	3	4	4
	2	3	3	3	3	4	4
	3	3	4	4	4	4	5
3	1	3	4	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	5
	3	4	4	4	4	5	5
4	1	4	4	4	4	5	5
	2	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	5	5	6
5	1	5	5	5	5	6	6
	2	5	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	8
6	1	7	7	7	7	8	8
	2	8	8	8	8	9	9
	3	9	9	9	9	9	9

Table B: Trunk Posture Score

Neck Posture Score	Table B: Trunk Posture Score					
	1	2	3	4	5	6
1	1	3	2	3	3	4
2	2	3	2	3	4	5
3	3	3	3	4	4	5
4	5	5	5	6	6	7
5	7	7	7	7	8	8
6	8	8	8	8	8	9

Table C

Wrist / Arm Score	Neck, Trunk, Leg Score					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	3	4	5
2	2	2	3	4	4	5
3	3	3	3	4	4	5
4	3	3	3	4	5	6
5	4	4	4	5	6	7
6	4	4	5	6	6	7
7	5	5	6	6	7	7
8+	5	5	6	7	7	7

Scoring (final score from Table C)
1-2 = acceptable posture
3-4 = further investigation, change may be needed
5-6 = further investigation, change soon
7 = investigate and implement change

RULA Score:

based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

Figura 66 - Folha de cálculo do método RULA (Middlesworth, 2020)

ANEXO II – DADOS ANTROPOMÉTRICOS DA POPULAÇÃO PORTUGUESA

DIMENSÃO ANTROPOMÉTRICA	PERCENTIS MASCULINOS				PERCENTIS FEMININOS			
	5	50	95	dp	5	50	95	dp
1. Altura de pé	1565	1690	1815	76	1456	1565	1674	66
2. Altura dos olhos (rel. ao solo)	1463	1585	1707	74	1355	1465	1575	67
3. Altura do ombro (rel. ao solo)	1277	1395	1513	72	1181	1290	1399	66
4. Altura do punho (rel. ao solo)	664	735	806	43	619	685	751	40
5. Altura do cotovelo (rel. ao solo)	966	1050	1134	51	889	965	1041	46
6. Distância cotovelo-punho	320	350	380	18	292	320	348	17
7. Alcance funcional anterior	628	730	832	62	621	675	729	33
8. Alcance funcional vertical (de pé)	1875	2030	2185	94	1719	1860	2001	86
9. Altura sentado (rel. ao assento)	818	920	1022	62	799	865	931	40
10. Distância olhos-assento	716	810	904	57	696	760	824	39
11. Altura lombar (rel. ao assento)	166	215	264	30	174	220	266	28
12. Espessura da coxa	134	180	226	28	124	165	206	25
13. Altura do joelho (rel. ao solo)	459	525	591	40	434	480	526	28
14. Altura do poplíteo (rel. ao solo)	347	400	453	32	327	365	403	23
15. Distância coxa-poplíteo	419	485	551	40	421	470	519	30
16. Comprimento máximo da coxa	518	590	662	44	517	570	623	32
17. Espessura do peito (busto)	221	265	309	27	226	275	324	30
18. Espessura abdominal	204	260	316	34	201	260	319	36
19. Alcance funcional vertical (sentado)	1117	1250	1383	81	1071	1165	1259	57
20. Distância ombro-assento	576	630	684	33	496	590	684	57
21. Distância cotovelo-assento	206	255	304	30	191	250	309	36
22. Largura dos ombros (biacromial)	299	335	371	22	251	300	349	30
23. Largura dos ombros (bideltóide)	426	475	524	30	379	445	511	40
24. Largura das ancas	341	380	419	24	342	400	458	35
Peso (Kg)	57	75	93	11	49	65	81	10

Figura 67 - Base de dados antropométricos "UMINHO" (dados em mm). População laboral portuguesa adulta (17-65 anos; Arezes et al., 2005)

ANEXO III – APRESENTAÇÃO DO MATERIAL E DOS TABULEIROS DE ABASTECIMENTO

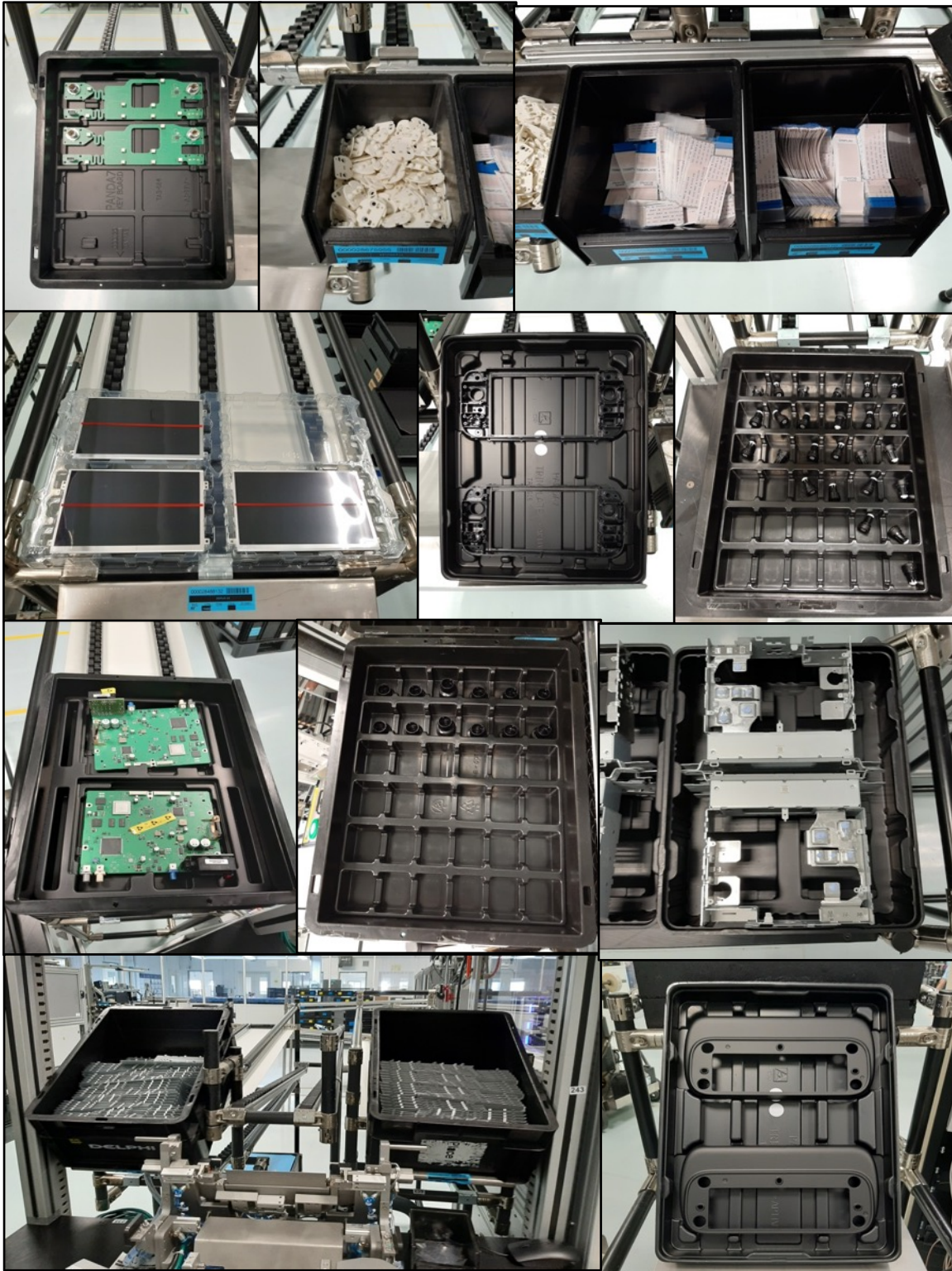


Figura 68 - Tabuleiros e respetivos interiores utilizados na linha de montagem

ANEXO IV – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

p (%)	z		p (%)	z		p (%)	z		p (%)	z
1	-2,33		26	-0,64		51	0,03		76	0,71
2	-2,05		27	-0,61		52	0,05		77	0,74
3	-1,88		28	-0,58		53	0,08		78	0,77
4	-1,75		29	-0,55		54	0,10		79	0,81
5	-1,64		30	-0,52		55	0,13		80	0,84
6	-1,55		31	-0,50		56	0,15		81	0,88
7	-1,48		32	-0,47		57	0,18		82	0,92
8	-1,41		33	-0,44		58	0,20		83	0,95
9	-1,34		34	-0,41		59	0,23		84	0,99
10	-1,28		35	-0,39		60	0,25		85	1,04
11	-1,23		36	-0,36		61	0,28		86	1,08
12	-1,17		37	-0,33		62	0,31		87	1,13
13	-1,13		38	-0,31		63	0,33		88	1,17
14	-1,08		39	-0,28		64	0,36		89	1,23
15	-1,04		40	-0,25		65	0,39		90	1,28
16	-0,99		41	-0,23		66	0,41		91	1,34
17	-0,95		42	-0,20		67	0,44		92	1,41
18	-0,92		43	-0,18		68	0,47		93	1,48
19	-0,88		44	-0,15		69	0,50		94	1,55
20	-0,84		45	-0,13		70	0,52		95	1,64
21	-0,81		46	-0,10		71	0,55		96	1,75
22	-0,77		47	-0,08		72	0,58		97	1,88
23	-0,74		48	-0,05		73	0,61		98	2,05
24	-0,71		49	-0,03		74	0,64		99	2,33
25	-0,67		50	0,00		75	0,67			

p (%)	z		p (%)	z
2,5	-1,96		97,5	1,96
0,5	-2,58		99,5	2,58
0,1	-3,09		99,9	3,09
0,01	-3,72		99,99	3,72
0,001	-4,27		99,999	4,27

Figura 69 - Tabela da distribuição normal. Valores de p e Z da distribuição normal padrão (Arezes et al., 2005).

ANEXO V – APRESENTAÇÃO DAS RAMPAS DE ABASTECIMENTO INSTALADAS



Figura 70 - Rampas de abastecimento instaladas na linha de montagem