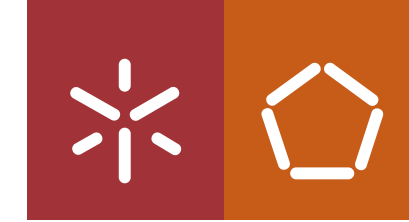


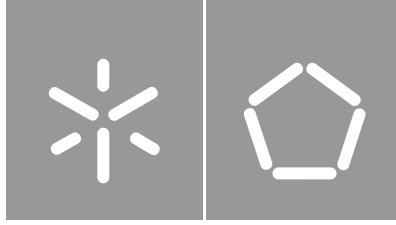


Ana Rita Amoedo Quinteiro

**Reconfiguração de uma linha de montagem
final aplicando princípios *Lean Thinking*
numa empresa do ramo automóvel**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Rita Amoedo Quinteiro

**Reconfiguração de uma linha de montagem
final aplicando princípios *Lean Thinking*
numa empresa do ramo automóvel**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

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

Quero deixar um agradecimento geral a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização e concretização deste projeto de dissertação, uma vez que sem elas não teria conseguido chegar até ao fim.

Um agradecimento especial à minha orientadora académica Professora Doutora Anabela Alves por todos os conhecimentos partilhados, pelo acompanhamento e disponibilidade excecionais e por todas as sugestões que me permitiram melhorar continuamente o trabalho desenvolvido.

Um agradecimento à empresa APTIV pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto representado pelo meu orientador, Engenheiro Jorge Duarte, por me ter aceitado no estágio curricular, por ter acreditado no meu trabalho, por toda ajuda disponibilizada e pela excelente integração na equipa.

Um agradecimento especial ao meu orientador não oficial, Engenheiro Xavier Castro, por toda ajuda e partilha de conhecimentos, por me envolver nos seus projetos, pela paciência, pelo tempo despendido e pela transmissão dos valores mais importantes como trabalho em equipa e amizade. Obrigada “Boss”.

Um agradecimento também aos Engenheiros Nuno Alvim, Sérgio Torres, Eduardo Fernandes, Jorge Oliveira, Mariana Matos e António Pimenta pelos *brainstormings*, debates de ideias e ensinamentos transmitidos.

Um agradecimento a toda a equipa do Edifício 2 pela forma como me receberam e integraram. Neste seguimento, um agradecimento também à minha colega Sofia Machado pela parceria desenvolvida ao longo do estágio.

Um agradecimento aos Engenheiros Tiago Cepeda, Catarina Duro e Bruno Alves por toda a ajuda e compreensão enquanto a escrita deste projeto coincidiu com as minhas funções de *Quality Engineer*.

Um agradecimento à minha família, em especial aos meus pais por me terem apoiado e ajudado incondicionalmente nestes cinco anos do mestrado integrado, com ênfase nesta última etapa.

Por último, mas não menos importante, um agradecimento a todos os meus amigos pelo apoio e incentivo prestados e, acima de tudo, por terem feito destes cinco anos, os melhores anos da minha vida.

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.

Reconfiguração de uma linha de montagem final aplicando princípios *Lean Thinking* numa empresa do ramo automóvel

RESUMO

A presente dissertação de mestrado descreve um projeto realizado na empresa APTIV, localizada em Braga, cujo principal objetivo foi o balanceamento e reconfiguração de uma linha de montagem final aplicando princípios *Lean Thinking*.

A primeira fase do projeto consistiu na pesquisa e escrita da revisão bibliográfica sobre as temáticas *Lean Production* e reconfiguração de sistemas de produção orientados ao produto para que fosse concebida a base teórica necessária ao desenvolvimento do trabalho proposto. A investigação-ação foi a metodologia aplicada visto que há uma intervenção contínua do investigador com o meio a ser intervencionado, incluindo interação com as equipas a fim de serem concretizadas ações de mudança.

Após a escrita da revisão bibliográfica, foi realizada uma breve caracterização da empresa APTIV, apresentando os seus produtos, clientes, processos e unidades produtivas. De seguida, com o objetivo de serem identificados os desperdícios existentes, efetuou-se uma descrição e análise crítica do estado atual. Assim sendo, a partir de contínuas observações ao *Gemba*, realização de estudo de tempos, utilização de gráficos de análise de processo, diagrama de *Ishikawa*, *5Whys*, entre outras ferramentas, foram identificados vários desperdícios como falta de balanceamento, desajuste de capacidade produtiva, ocorrência de defeitos, falta de *standard work* e ainda necessidade de auditoria 5S.

Uma vez identificados os problemas e desperdícios, a próxima fase compreendeu a elaboração das propostas de melhoria com o propósito de os reduzir e, preferencialmente, eliminar. Deste modo, foi sugerida uma nova configuração para a linha de montagem final que incluiu um novo balanceamento e uma nova distribuição dos operadores.

Como resultado final da proposta de melhoria estimou-se, entre outros, a libertação de 27m² do espaço ocupado pela linha de montagem final, redução de 46% do número de operadores, aumento de 86% da produtividade e de 27% da taxa de utilização. Em termos monetários, refletiu-se na estimativa de uma poupança anual de 92 700€.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Production, Ramo automóvel, Reconfiguração de linhas de produção

ABSTRACT

The current dissertation describes a project carried out at APTIV, located in Braga, whose main objective was the restructuring of a final assembly line using Lean Thinking principles.

The first phase of the project consists of researching and writing a literature review on Lean Production themes and reconfiguration of product-oriented production systems so that a theoretical basis was created for the development of the proposed work. The action-research methodology was applied because there is a continuous intervention of the researcher with the environment to be intervened, including the teams and collaborators promoting actions of change.

Following the literature review, a brief characterization of the APTIV company was carried out, with the purpose of making known its products, customers, processes and its production units. Then, in order to identify the existing waste, a description and critical analysis of the current state was carried out. From observations on the production process, time studies, process analysis graphs, Ishikawa diagram, 5Whys, and other analysis tools, wastes related to lack of balancing, misallocation of productive capacity, existence of defects, lack of standard work and need for 5S were found.

Once the wastes were identified, the next phase included the preparation of improvement proposals with the purpose of reducing and eliminating them. Thus, a new configuration for a final assembly line was suggested, which included a new balancing and a new distribution of operators.

As a final result of the improvement proposal, it was estimated, among others, the release of 27m² of the space occupied by the final assembly line, a reduction of 46% in the number of operators, a 86% increase in productivity and a 27% increase in the utilization rate. In monetary gains, it was estimated the annual savings of €92 700.

KEYWORDS

Automotive Industry, Lean Production, Reconfiguration of production lines

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xiii
Índice de Equações	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de investigação	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	5
2 Revisão bibliográfica	7
2.1 <i>Lean Production</i>	7
2.1.1 Origem.....	7
2.1.2 <i>Toyota Production System</i>	8
2.1.3 Tipos de desperdícios	11
2.1.4 Princípios <i>Lean Thinking</i>	14
2.1.5 Benefícios e obstáculos na implementação do <i>Lean Production</i>	15
2.1.6 Ferramentas Lean	16
2.2 Sistemas de produção.....	22
2.2.1 Tipos de sistemas de produção.....	23
2.2.2 Reconfiguração de SPOP	25
2.2.3 Indicadores de desempenho	30
3 Apresentação da empresa.....	32
3.1 Grupo APTIV	32
3.2 APTIV Braga.....	34

3.2.1	Principais produtos e clientes.....	34
3.2.2	Descrição geral do sistema produtivo	35
4	Descrição e análise crítica da situação atual	41
4.1	Descrição da linha de montagem final	41
4.1.1	Produtos da linha de montagem final	41
4.1.2	Fluxo de materiais e postos de trabalho	44
4.1.3	Planeamento e controlo da produção	53
4.2	Análise crítica e identificação de problemas	54
4.2.1	Seleção e estudo dos modelos <i>high runners</i>	54
4.2.2	Outros problemas identificados na área	64
4.3	Síntese dos problemas encontrados	65
5	Apresentação das Propostas de Melhoria	67
5.1	Balanceamento da linha de montagem final.....	68
5.1.1	Balanceamento dos postos de montagem manual.....	68
5.1.2	Balanceamento dos postos de teste	72
5.1.3	Distribuição dos operadores.....	73
5.2	Integração da verificação da máquina de limpeza	74
5.3	Atualização da Instrução de Trabalho.....	75
5.4	Auditoria 5S	76
5.5	Remoção de bancada da área de <i>Infotainment</i>	77
6	Avaliação e Análise dos Resultados	79
6.1	Aumento do espaço produtivo	79
6.2	Redução do número de operadores	79
6.3	Redução dos defeitos	80
6.4	Melhoria da organização e gestão visual dos dispositivos e materiais.....	81
6.5	Aumento da produtividade e taxa de utilização da linha.....	82
6.6	Síntese de resultados	83
7	Conclusão	84
7.1	Considerações finais	84

7.2 Trabalho futuro	85
Referências Bibliográficas	86
Apêndice 1 – Estudo de Tempos.....	94
Apêndice 2 – Tempos das Máquinas de Teste	97
Apêndice 3 – Cálculo do <i>Takt Time</i>	100
Apêndice 4 – Cálculos da Capacidade Produtiva	101
Apêndice 5 – Chamada de Atenção	102
Apêndice 6 – <i>Work Combination Table</i>	103
Apêndice 7 – Simulação da Montagem Manual.....	106
Apêndice 8 – Esboço dos 3 Postos de Montagem Manual	107
Apêndice 9 – Cálculo dos Indicadores de Desempenho.....	108
Anexo 1 – Dispositivos da linha de montagem final	109
Anexo 2 – Exemplo de Instrução de Trabalho.....	111
Anexo 3 – Código de cores da APTIV.....	112
Anexo 4 – <i>Layered Process Audit</i>	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Casa TPS.....	8
Figura 2 – Representação dos 3M	13
Figura 3 – Exemplos de documentos do Standard Work: a) Standard Work Chart; b) Standard Work Combination Table	18
Figura 4 – Exemplo de Instrução de Trabalho	18
Figura 5 – Ciclo PDCA.....	22
Figura 6 – Posicionamento das linhas, células e oficinas de produção quanto à variedade de artigos e quantidade produzida	24
Figura 7 – Classificação dos diferentes tipos de linhas	24
Figura 8 – Exemplo de um gráfico de precedências.....	28
Figura 9 – Grupo APTIV no mundo.....	33
Figura 10 – APTIV em Portugal.....	33
Figura 11 – Complexo produtivo de Braga	34
Figura 12 – Portfólio de produtos APTIV Braga.....	35
Figura 13 – Principais clientes APTIV	35
Figura 14 – Layout do Edifício 1	36
Figura 15 – Fluxograma área de SMT	36
Figura 16 – Fluxograma da área de CBA.....	37
Figura 17 – Layout do Edifício 2	38
Figura 18 – Fluxograma da área Connectivity & Security	39
Figura 19 – Fluxograma da área Plastic Production.....	39
Figura 20 – Fluxograma da Infotainment Final Assembly	40
Figura 21 – Linha de montagem final	41
Figura 22 – Fluxo produtivo de todos os modelos de rádios.....	44
Figura 23 – Layout da linha de montagem final.....	45
Figura 24 – Exemplo de um manifesto.....	53
Figura 25 – Análise ABC para os modelos da linha de montagem final	55
Figura 26 – Gráficos de análise de processo: a) modelo B; b) modelo A; c) modelo C.....	57
Figura 27 – Gráfico do balanceamento dos tempos de ciclo de cada posto: a) modelo B, b) modelo A e c) modelo C.....	58

Figura 28 – Gráfico de Pareto de defeitos registados no mês de maio	59
Figura 29 – Diagrama de Ishikawa relativo às sujidades da blenda do rádio do modelo C	60
Figura 30 – Máquina de limpeza do posto sub-assembly de blendas 1	60
Figura 31 – 5Whys: Máquina de limpeza ineficiente no posto sub-assembly de blendas 1.....	61
Figura 32 – a) Barra ionizadora; b) Ponteiros ionizadoras.....	61
Figura 33 – 5Whys: Não colocação das tampas de proteção contra o pó.....	62
Figura 34 – Instrução de Trabalho desatualizada para o posto de trabalho da etiquetagem para os modelos A, B e C.....	63
Figura 35 – a) Carrinho de apoio ao change-over; b) Armário de armazenamento.....	63
Figura 36 – Excesso de stock	64
Figura 37 – Dispositivos e prateleiras sem identificação	65
Figura 38 – Posto de Trabalho de montagem.....	65
Figura 39 – Diagrama de precedências: a) referente aos modelos A e B; b) referente ao modelo C....	69
Figura 40 – Comparação dos tempos de ciclo antes e depois do balanceamento dos postos de montagem manual.....	70
Figura 41 - Scanners de leitura dos postos de montagem manual	71
Figura 42 - Exemplo de mecanismo Poka-Yoke: a) de contacto; b) para operação de aparafusamento	72
Figura 43 – TC máquina vs TC operador após balanceamento	74
Figura 44 – Checklist do plano de manutenção preventiva do posto sub-assembly de blendas 1 após proposta de melhoria.....	74
Figura 45 – Parâmetros do sistema de limpeza: a) antes da alteração; b) depois da alteração	75
Figura 46 – Instrução de trabalho para o posto da etiquetagem	76
Figura 47 – Carrinho de apoio ao change-over após 5S.....	77
Figura 48 – Identificação de dispositivos após 5S.....	77
Figura 49 – Cenário após remoção do posto de trabalho de montagem.....	78
Figura 50 – Layout da linha de montagem: a) antes do balanceamento b) depois do balanceamento.	79
Figura 51 – Gráfico de Pareto dos defeitos registados no mês de julho.....	80
Figura 52 – Valores a) produtividade; b) taxa de utilização antes e depois do balanceamento da linha	82
Figura 53 – Chamada de atenção criada para o posto sub-assembly de blendas 1	102
Figura 54 – WCT dos modelos A e B para três postos de montagem manual.....	103
Figura 55 – WCT do modelo C para três postos de montagem manual.....	103
Figura 56 – WCT do modelo A (T1 a T3)	104

Figura 57 – WCT do modelo A (P1 a E1).....	104
Figura 58 – WCT do modelo B (T1 a T3).....	104
Figura 59 – WCT do modelo B (P1 a E1)	105
Figura 60 – WCT do modelo C (T1 a T3).....	105
Figura 61 – WCT do modelo C (P1 a E1)	105
Figura 62 – Simulação das operações de montagem manual dos modelos A e B	106
Figura 63 – Simulação das operações de montagem manual do modelo C.....	106
Figura 64 – Esboço dos três postos de montagem manual propostos.....	107
Figura 65 – Dispositivos dos modelos A e B	109
Figura 66 – Dispositivos do modelo C	109
Figura 67 – Dispositivos dos modelos D e E.....	109
Figura 68 – Dispositivos do modelo F	110
Figura 69 – Exemplo de uma Instrução de Trabalho.....	111
Figura 70 – Código de cores da APTIV	112
Figura 71 – Formulário de preenchimento LPA	113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Automação vs Autonomia	10
Tabela 2 – Indicadores de desempenho	31
Tabela 3 – Rádios produzidos na linha de montagem final	42
Tabela 4 – Lista dos componentes dos rádios	42
Tabela 5 – Tipo e número de equipamentos de cada posto de trabalho e distribuição dos operadores da linha de montagem final	46
Tabela 6 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 1 e dos produtos intermédios	47
Tabela 7 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 2 e dos produtos intermédios	48
Tabela 8 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 3 e dos produtos intermédios	48
Tabela 9 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 4 e dos produtos intermédios	49
Tabela 10 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 5 e dos produtos intermédios	50
Tabela 11 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 6 e dos produtos intermédios	50
Tabela 12 – Descrição da função dos postos de trabalho referentes aos testes	51
Tabela 13 – Plano de Produção 2021	54
Tabela 14 – Análise ABC dos modelos da linha de montagem final	55
Tabela 15 – Tempos de ciclo dos postos de trabalho manual	56
Tabela 16 – Tempos de ciclo dos postos das máquinas	56
Tabela 17 – Tempo de ciclo de cada posto de trabalho	56
Tabela 18 – Cálculo do Takt Time	57
Tabela 19 – Cálculo da capacidade da linha	58
Tabela 20 – Síntese dos problemas encontrados, local, consequências e tipo de desperdício	66
Tabela 21 – 5W2H: Plano de ações	67
Tabela 22 – Tempos de processamento dos seis postos de montagem manual	68
Tabela 23 – Nova distribuição das tarefas pelos três postos de montagem manual dos modelos A, B e C	70
Tabela 24 – Características dos três postos de trabalho	71
Tabela 25 – Número de máquinas necessárias em cada posto de teste	73
Tabela 26 – Tempo de ciclo estimado das máquinas de teste para os modelos A, B e C	73
Tabela 27 – Número de operadores necessários antes e após reconfiguração da linha de montagem final	74

Tabela 28 – Ganho anual estimado em termos de área produtiva após balanceamento da linha	79
Tabela 29 – Ganho anual estimado em termos de mão de obra após balanceamento da linha	80
Tabela 30 – Redução do FTQ após melhoria do sistema de limpeza	81
Tabela 31 – Poupança obtida no retrabalho dos rádios após melhorias implementadas.....	81
Tabela 32 – Redução do tempo de procura de dispositivos e materiais após 5S	82
Tabela 33 – Síntese dos resultados	83
Tabela 34 – Registo das medições dos tempos do modelo A.....	95
Tabela 35 – Registo das medições dos tempos do modelo B.....	95
Tabela 36 – Registo das medições dos tempos do modelo C.....	95
Tabela 37 – Registo da média, desvio-padrão e número de medições necessárias do modelo A.....	96
Tabela 38 – Registo da média, desvio-padrão e número de medições necessárias do modelo B	96
Tabela 39 – Registo da média, desvio-padrão e número de medições necessárias do modelo C	96
Tabela 40 – Tempo de ciclo do teste de iluminação para o modelo A	97
Tabela 41 – Tempo de ciclo do teste objetivo elétrico para o modelo A.....	97
Tabela 42 – Tempo de ciclo do teste subjetivo elétrico para o modelo A.....	97
Tabela 43 – Tempo de ciclo da programação para o modelo A.....	97
Tabela 44 – Tempo de ciclo do teste CMI para o modelo A	97
Tabela 45 – Tempo de ciclo do teste de iluminação para o modelo B.....	97
Tabela 46 – Tempo de ciclo do teste objetivo elétrico para o modelo B.....	98
Tabela 47 – Tempo de ciclo do teste subjetivo elétrico para o modelo B.....	98
Tabela 48 – Tempo de ciclo da programação para o modelo B	98
Tabela 49 – Tempo de ciclo do teste CMI para o modelo B	98
Tabela 50 – Tempo de ciclo do teste de iluminação para o modelo C.....	98
Tabela 51 – Tempo de ciclo do teste objetivo elétrico para o modelo C	98
Tabela 52 – Tempo de ciclo do teste subjetivo elétrico para o modelo C.....	99
Tabela 53 – Tempo de ciclo da programação para o modelo C	99
Tabela 54 – Tempo de ciclo do teste CMI para o modelo C	99

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo teórico do número de Postos de Trabalho.....	27
Equação 2 – Fórmula referente ao Índice de Planura	28
Equação 3 – Fórmula referente ao cálculo do número mínimo de medições.....	94
Equação 4 – Fórmula do desvio padrão	94

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AGVS – *Automated Guided Vehicle Systems*

AOI – *Automated Optical Inspection*

BOM – *Bill Of Materials*

CBA – *Circuit Board Assembly*

CMI – *Customer Mechanical Interface*

FA – *Final Assembly*

FTQ – *First Time Quality*

IC – *Integrated Circuits*

ICT – *In Circuit Test*

IT – *Instrução de Trabalho*

JIT – *Just-In-Time*

LPA – *Layered Process Audit*

OE – *Overall Effectiveness*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

PCB – *Printed Circuit Boards*

PC&L – *Planning Control & Logistics*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

ppm – partes por milhão

PT – *Posto de Trabalho*

PTH – *Pin Though Hole*

P&P – *Pick and Place*

QRC – *Quick Response Code*

SMT – *Surface Mount Technology*

PCB – *Printed Circuit Boards*

SPI – *Solder Paste Inspection*

SPOF – *Sistemas de Produção Orientados à Função*

SPOP – *Sistemas de Produção Orientados ao Produto*

PYMS – *Production & Yield Monitoring System*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

TC – Tempo de Ciclo

TT – *Takt Time*

VSM – *Value Stream Mapping*

WIP – *Work-In-Process*

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo dedica-se ao enquadramento do projeto de dissertação. De seguida, são apresentados os objetivos e procede-se à explicação da metodologia de investigação adotada. Por fim, é descrita a estrutura da dissertação seguida ao longo deste relatório.

1.1 Enquadramento

Num mundo cada vez mais global e competitivo, com uma vasta gama de produtos e serviços, onde a inovação tem um compromisso crescente, o cliente torna-se mais exigente e, por isso, as empresas são obrigadas a melhorar constantemente os seus processos e estratégias (D'Antonio et al., 2017; Solaimani et al., 2019). Como consequência, estas ambicionam reduzir custos e fornecer produtos de elevada qualidade com tempos de entrega cada vez mais curtos, destacando-se da concorrência (Belekoukias et al., 2014).

A melhoria das atividades e produtos, tendo em consideração as necessidades do cliente e as novas formas de consumo, são aspetos indispensáveis que conferem robustez ao fator competitividade (Mahut et al., 2017). Como resultado, torna-se imperativo investir em metodologias e sistemas de produção que permitam acompanhar e reagir rapidamente aos paradigmas do mercado cada vez mais variáveis e imprevisíveis (Prasad & Jayswal, 2019).

Ao mesmo tempo, nos últimos anos, as alterações climáticas, causadas pelo aumento da poluição e pelo consumo desmedido dos recursos limitados da Terra, despoletaram a inevitável preocupação ambiental que tem sido aplicada como critério de mérito e distinção. Neste sentido, os clientes reivindicam e impõem cada vez mais a inclusão de materiais e sistemas produtivos que reduzam o impacto ambiental e promovam a produção eco-eficiente e sustentável (Abreu et al., 2017).

A indústria automóvel enfrenta diariamente uma série de desafios e novas tendências, devido, principalmente, aos crescentes avanços tecnológicos e à diversidade de requisitos que têm criado mudanças consideráveis na maneira como se produz (Llopis-Albert et al., 2021; Sjoberg, 2020). Este tipo de indústria é das mais competitivas onde o tempo de entrega, que desempenha uma relevância significativa, deve ser o mais curto possível, sem comprometer o binómio qualidade/preço (Leal et al., 2017). As alterações visíveis no planeamento dos volumes de produção, resultante quer da variação da procura quer da introdução de novos modelos a fabricar, requerem dinamismo nos sistemas produtivos

(Alves, 2007). Por este motivo, agilidade e flexibilidade são fatores preponderantes para se poder responder com rapidez ao cliente final (Soltan & Mostafa, 2015).

Atualmente, o impacto negativo da Covid-19 trouxe ainda mais adversidades, causando grandes distúrbios nas cadeias de abastecimento e, inevitavelmente, a economia foi seriamente afetada (Khalfan & Ismail, 2020). Na indústria automóvel, esse impacto foi consideravelmente visível uma vez que, segundo os dados publicados no site *Statista* (2021), a produção de automóveis sofreu uma quebra de 15,2% no ano de 2020, valor mais alto registado desde 2000.

Apesar dos terríveis danos causados globalmente, sob outra perspetiva, a pandemia foi encarada como uma oportunidade para fortalecer as vantagens competitivas, permitindo explorar novos mercados internacionais e diversificar a gama de produtos. Neste seguimento, alguns países encontram-se a preparar programas de ajuda às empresas que passam pela implementação da metodologia organizacional *Lean* (Deshmukh & Haleem, 2020).

Assim, o conceito *Lean Production* (Womack et al., 1990), com origem na empresa Toyota no pós-guerra em situação adversa, continua a ser uma metodologia atual e fundamental para responder a estes desafios. Através desta, as empresas conseguem eliminar desperdícios e aumentar a produtividade, reduzindo custos. Esta metodologia implica a aplicação dos princípios *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996) que obriga as empresas a redesenharem e reconfigurarem os seus sistemas produtivos com o intuito de se tornarem mais eficientes e flexíveis e, conseqüentemente, mais produtivos e sustentáveis (Alves et al., 2015; Dias et al., 2019; Oliveira et al., 2019).

A empresa APTIV, ciente da relevância desta metodologia, empenha-se diariamente na melhoria contínua dos seus sistemas e processos produtivos, reconfigurando-se sempre que a procura se altera e, neste seguimento, surgiu a motivação para este projeto de dissertação. Algumas dissertações realizadas nesta empresa neste contexto (Almeida, 2019; Bastos, 2020; Martins, 2020; Moreira, 2017; Oliveira, 2018; Pereira, 2019; Sousa, 2019) vêm evidenciar a constante procura pela implementação dos princípios *Lean Thinking*.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto de dissertação incide na reconfiguração de uma linha de montagem final tendo em conta uma nova necessidade de volumes de produção de rádios para veículos automóveis, aplicando princípios *Lean Thinking*. Desta forma, com o propósito de guiar e auxiliar o trabalho, foram definidas as seguintes etapas:

- Analisar e descrever o estado inicial da linha e área circundante;
- Analisar os processos produtivos da área de eletrónica;
- Realizar um estudo de tempos;
- Recalcular capacidades
- Calcular *Takt Time*;
- Calcular número de operadores;
- Balancear o número de postos de trabalho;
- Atualizar/criar documentos de instruções de trabalho normalizadas;
- Analisar, avaliar e propor *layout* da área produtiva associada;
- Avaliar economicamente as propostas de melhoria;
- Implementar, se possível, as propostas de melhoria;
- Providenciar formação aos colaboradores;
- Acompanhar o novo funcionamento da linha de montagem final tendo em consideração o *mindset* de melhoria contínua.

Face ao exposto, é expectável que, com a realização deste projeto de dissertação, se melhorem os seguintes indicadores:

- Reduzir o número de postos de trabalho;
- Aumentar a utilização da linha de montagem final;
- Reduzir o espaço ocupado pela linha;
- Aumentar produtividade;
- Reduzir custos.

1.3 Metodologia de investigação

Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica sobre os conceitos abordados ao longo deste documento com o intuito de possuir bases teóricas sólidas que sustentassem o desenvolvimento consistente deste projeto de dissertação. Assim, foram utilizadas várias fontes, tais como artigos científicos, dissertações, livros, revistas científicas, para fundamentar o que fora escrito. Após elaboradas as bases teóricas, iniciou-se a execução da metodologia de investigação.

A metodologia de investigação adotada foi a *Action-Research* (Investigação-Ação, em português) uma vez que o investigador participa na atividade de pesquisa e analisa a situação com detalhe intervindo ativamente com todos os participantes envolvidos, tendo em conta os seus pontos de vista e perspetivas

(Farooq & O'Brien, 2015). Neste sentido, tratando-se de um projeto de investigação desenvolvido em contexto empresarial com a interação notória dos colaboradores da empresa e com um objetivo explícito, esta estratégia revelou ser a mais adequada.

A metodologia *Action-Research* foi desenvolvida por Kurt Lewin em 1946 e, posteriormente, O'Brien, assente no princípio "Aprender Fazendo", deixa claro que, aqui, o investigador adota uma postura de cooperação com todos os intervenientes no projeto (O'Brien, 1998). De facto, é um processo iterativo que permite identificar problemas e efetuar mudanças positivas com todos os envolvidos (Johnson et al., 2014). Assim, esta metodologia exhibe um carácter cíclico de cinco fases: (1) Diagnóstico, (2) Planeamento de ações, (3) Implementação de ações, (4) Avaliação de resultados e (5) Especificação da aprendizagem (Susman & Evered, 1978).

Desta forma, numa primeira abordagem, na fase de Diagnóstico, foi realizada uma descrição e análise crítica ao estado atual da área produtiva, em termos de processos, fluxo de materiais, informação e pessoas. Assim, recorreu-se à observação direta no *Gemba* (chão de fábrica) e ao diálogo com os colaboradores e chefes de linha, incluindo um estudo detalhado aos postos de trabalho, tarefas e documentos existentes. Este diagnóstico teve como propósito identificar qualquer tipo de problema e desperdício e reconhecer situações críticas que prejudicassem o desempenho do sistema produtivo. O uso de ferramentas como Gráfico de Pareto, estudo de tempos, gráficos de análise de processo, diagrama de *Ishikawa*, *5Whys*, entre outras, foram usadas para auxiliar esta fase.

Na fase de Planeamento de ações, procedeu-se à realização de propostas de melhoria por forma a delinear soluções para os problemas identificados anteriormente. Neste sentido, com base na análise do estado atual, partiu-se para a reconfiguração da linha de montagem final, onde, primeiramente, foi calculada a capacidade da linha tendo em conta o decréscimo dos volumes de produção. Seguidamente, sucedeu-se o balanceamento dos postos, utilizando, para isto, ferramentas *Lean* como *Work Combination Tables* e diagramas de precedências.

De seguida, na fase de Implementação de ações, foram implementadas as ações desenvolvidas na etapa anterior. Todavia devido ao facto de se ter de informar os clientes das alterações da linha e esperar pela sua validação, não foi possível implementar as propostas sugeridas no horizonte temporal do estágio.

Sucedeu-se a quarta fase, avaliação de resultados, onde foi feita uma comparação dos resultados obtidos com os esperados, recorrendo-se a indicadores de desempenho para quantificar o impacto das transformações feitas no sistema produtivo.

Por último, na fase de Especificação da aprendizagem, recolheram-se as *lessons learned* a partir dos passos anteriormente desempenhados. Esta etapa final compreendeu a sugestão de trabalhos futuros assente no *mindset* de melhoria contínua da empresa.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em sete capítulos organizados de forma coerente e tratando cada um de um tema específico.

No primeiro capítulo é feito um enquadramento do projeto, com o intuito de mostrar a sua pertinência e relevância, de seguida são descritos os objetivos, a metodologia de investigação utilizada e termina com a especificação da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica que incide sobre o *Lean Production* e a reconfiguração de sistemas de produção, onde o principal objetivo passa pelo estudo de um conjunto de conceitos e ferramentas fundamentais para a execução deste projeto. Primeiramente, é abordada a origem do conceito relativo ao *Lean Production*, bem como os seus princípios fundamentais, seguindo-se os tipos de desperdícios e as algumas ferramentas imprescindíveis para a concretização deste projeto. Posteriormente, são também abordadas linhas de produção e o seu método de reconfiguração uma vez que o grande objetivo deste projeto incide sobre o balanceamento de uma linha de montagem. Por fim, são mencionados alguns indicadores de desempenho, fundamentais para quantificar o impacto das sugestões propostas.

O terceiro capítulo dedica-se à apresentação da empresa, descrevendo os principais produtos, clientes e complexos produtivos.

O quarto capítulo diz respeito à descrição detalhada do processo produtivo e análise crítica do estado atual, utilizando ferramentas tais como estudo de tempos, gráficos de análise de processo, análise ABC, diagrama de *Ishikawa*, entre outras. Foram também feitas contínuas observações no *Gemba* e recolhidas informações a partir de documentação existente.

No quinto capítulo são apresentadas as propostas de melhoria tendo como base os problemas identificados na etapa anterior.

O sexto capítulo é dedicado à avaliação dos resultados, utilizando os indicadores referidos no segundo capítulo, comparando os valores antes e após as sugestões. De ressaltar que para as propostas de

melhoria que não foram implementadas no decorrer do estágio curricular são previstos os resultados que se preveem obter.

Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais do projeto onde são referidas as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo dedica-se à revisão bibliográfica dos temas que se revelaram indispensáveis para desenvolver uma base teórica sólida dos conteúdos aplicados na prática. Primeiramente, será abordada a origem da metodologia *Lean Production*, o *Toyota Production System*, os oito tipos de desperdícios, os princípios do pensamento *Lean Thinking*, os benefícios e obstáculos na sua implementação e ainda algumas ferramentas *Lean*. Seguidamente, serão mencionados os tipos de sistemas de produção e o projeto de reconfiguração de sistemas de produção orientados ao produto e, por fim, descritos alguns indicadores de desempenho.

2.1 *Lean Production*

O *Lean Production* é uma metodologia que ajuda as empresas a reduzirem os desperdícios e a entregar valor ao cliente, diminuindo custos e aumentando a produtividade. Neste sentido, utiliza técnicas e ferramentas com a finalidade de tornar os sistemas mais eficientes e com índices de qualidade mais elevados (Bhamu & Sangwan, 2014; Shah & Ward, 2007).

2.1.1 Origem

A metodologia *Lean Production* (também designada *Lean Manufacturing* ou simplesmente *Lean*) teve origem no Japão com o sistema de produção da empresa Toyota Motor Company também designado como *Toyota Production System* (TPS) criado por Taiichi Ohno, após os tempos difíceis marcados pela Segunda Guerra Mundial (Ohno, 1988). Tendo em conta as dificuldades económicas sentidas, bem como as faltas de materiais e mão-de-obra, as preocupações centraram-se na produção dos produtos apenas necessários e na quantidade e tempo exatos (Sugimori et al., 1977). A necessidade de desenvolver uma filosofia cujo objetivo englobasse a redução de custos, tornou-se uma prioridade e, assim, o sistema de produção em massa foi redesenhado para o TPS (Black, 2007).

O termo *Lean Production* apareceu somente pela primeira vez no artigo “Triumph of the Lean Production System” de John Krafcik para designar o TPS (Krafcik, 1988). Mais tarde, com a publicação do livro “The Machine that changed the World” dos autores James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos, este conceito tornou-se mais conhecido e popularizado. Neste *best-seller* existe uma comparação e um contraste incontestável entre as práticas das indústrias do ramo automóvel japonesas e ocidentais, onde as últimas seguiam os métodos tradicionais. Desta forma, destacou-se a performance bastante superior verificada nas indústrias japonesas, caso da empresa Toyota. Esta alcançou níveis de produtividade e

qualidade mais elevados utilizando menos recursos, nomeadamente menos esforço humano, menos equipamentos, menos espaço fabril, menos inventário, menos equipamentos (Womack et al., 1990). Assim, o TPS fomenta a ideia “doing more with less”, ou seja, fazer mais com menos, que está diretamente associada à filosofia *Lean*.

2.1.2 Toyota Production System

Uma vez que o *Lean Production* teve origem no TPS, torna-se fundamental abordar este sistema esboçado em forma de casa pelo discípulo de Taiichi Ohno, Fujio Cho, tal como representado na Figura 1.



Figura 1 – Casa TPS
(Liker & Morgan, 2006)

O TPS foi desenvolvido pela empresa japonesa Toyota Motor Company após a situação desastrosa causada pela Segunda Guerra Mundial onde, em 1950, as fábricas japonesas de automóveis estavam perto de atingir a banca rota. Estas depararam-se com uma elevada variedade de automóveis em pequenos volumes e, por isso, Taiichi Ohno sentiu a necessidade de se adaptar, abandonando o conceito convencional da produção em massa e seguindo as vantagens dos pequenos lotes de produção. Assim, nasceu o TPS cujo foco principal é a redução de custos através da eliminação total de desperdícios e onde a capacidade dinâmica de aprendizagem ocupa o centro (Holweg, 2007).

Como resultado, a casa TPS tornou-se um ícone de referência nas indústrias por todo mundo (Liker & Morgan, 2006), em que as empresas tentam implementar todos os conceitos criados neste sistema de produção como os pilares *Just-In-Time* e *Jidoka* e as bases *standard work* e *heijunka*. Neste seguimento, é importante salientar a intervenção e interação dos elementos como um todo, com a finalidade de garantir a estabilidade da casa e não apenas como elementos singulares que atuam de forma individual.

Primeiramente, começando pela base deste sistema, pode mencionar-se o *heijunka* (correspondente ao nivelamento da produção) e os processos padronizados e estáveis. A intenção é controlar as quantidades produzidas, reduzindo os níveis de *stocks*, e monitorizar a carga de trabalho associada. Posto isto, tornar-se possível *standardizar* e uniformizar os processos produtivos, o que permite obter previsões mais fidedignas e facilidade no processo de gestão dos mesmos (Liker & Morgan, 2006).

De seguida, erguem-se os pilares *Just-In-Time* (JIT) e *Jidoka* responsáveis pela estrutura da casa TPS. O primeiro, JIT, caracteriza-se pela produção dos produtos apenas necessários, na quantidade mínima necessária e no momento necessário (Liker, 2004; Monden, 1998; Sugimori et al., 1977). O segundo pilar, apelidado de *Jidoka* ou *Autonomation*, refere-se à capacidade de um equipamento parar a produção de forma autónoma, sem qualquer intervenção humana, sempre que for detetado um erro ou defeito (Liker, 2004). Assim, através do *Jidoka*, para além do objetivo de eliminar as atividades que não acrescentam valor, é também possível contribuir para melhorar a qualidade dos produtos (Jastia & Kodali, 2015).

Relativamente ao centro da casa, especificam-se dois elementos: as pessoas e a redução de desperdícios. Estes, por sua vez, permitem chegar ao elemento central e fulcral: a melhoria contínua ou *Kaizen* (termo em japonês) que tem um significado extremamente relevante, uma vez que é a procura incessante e constante pela eliminação de todos os desperdícios que permite, a longo prazo, chegar ao sucesso. As pessoas representam um elemento imprescindível dado que são as responsáveis por reconhecer desperdícios, identificar as causas dos problemas e, posteriormente, proceder à sua resolução (Dombrowski & Mielke, 2014). Neste seguimento, o envolvimento dos todos os colaboradores no processo de melhoria contínua fomenta maiores níveis de performance e de satisfação pessoal (Neirotti, 2020).

Por fim, no telhado da casa, estão representados os objetivos do TPS, sendo eles: melhor qualidade, menor custo, menor tempo, maior segurança e maior moral, que se tornam alcançáveis através da aplicação dos conceitos supramencionados.

2.1.2.1 Just-In-Time

A implementação do sistema JIT, contributo de Kiichiro Toyoda, conduz a uma série de vantagens, nomeadamente, segundo Fullerton & McWatters (2001), redução dos custos, melhoria da qualidade, diminuição dos níveis de *stock* e redução do *lead time*. Existem premissas importantes que devem ser seguidas para que o sincronismo exigido, entre produzir a quantidade certa e quando necessário, não seja afetado (Sugimori et al., 1977).

De acordo com Monden (1998), a primeira diz respeito à implementação de um sistema *pull*, ou seja, o posto seguinte é que “puxa” as peças do posto anterior. Assim, com este tipo de sistema, que produz apenas quando existe necessidade por parte do cliente, evitam-se alguns dos desperdícios mais críticos como sobreprodução e *stock*.

Em contrapartida, o sistema *push* é exatamente o oposto, onde a ordem de produção surge no primeiro posto de trabalho e este empurra as peças para o próximo posto e assim sucessivamente. Por esta razão, o fluxo de informação decorre no sentido do fluxo de materiais (Monden, 1998).

A segunda premissa vincula-se ao conceito *one piece flow* que consiste no fluxo contínuo de produzir peça a peça e no seu transporte unitário (Sugimori et al., 1977). Deste modo, é assegurada a existência de apenas um item entre processos, o que reduz consideravelmente a existência de produtos obsoletos e deteriorados, e permite ainda minimizar eventuais atrasos ao cliente final e melhorar a qualidade dos produtos (Productivity Development Team, 1999). A redução do tamanho do lote originou um grande impacto positivo no tempo de produção e, por isso, é uma das principais vantagens das células JIT.

2.1.2.2 Jidoka

O segundo pilar do TPS é o *Jidoka*, tal como já referido anteriormente. Neste contexto, as máquinas têm inteligência para detetar um desvio ao *standard* e parar automaticamente enquanto esperam por intervenção humana (Liker & Morgan, 2006). A abordagem um pouco mais específica deste conceito, criado por Sakichi Toyoda, é fundamental na medida em que se trata do segundo alicerce da casa (Liker, 2004).

O termo *Jikoda*, cuja tradução para português é “autonomação”, veio clarificar que este conceito não pode ser confundido com “automação” (Hirano, 2009). Na Tabela 1 encontram-se registadas as principais diferenças.

Tabela 1 – Automação vs Autonomação
(Adaptado de Logistics World's Blog (2010))

Categoria	Automação	<i>Jidoka</i> (Autonomação)
Pessoas	É necessária uma observação constante à máquina.	Não é necessária uma observação permanente à máquina e, por isso, a produtividade aumenta.
Máquinas	A máquina não consegue detetar o erro automaticamente e continua até ao fim do ciclo ou até ser pressionado o botão de desligar.	A máquina consegue detetar o erro e parar automaticamente.
Qualidade	Os defeitos podem resultar em grandes quantidades.	Os defeitos ou avaria da máquina são prevenidos por auto paragem da mesma.
Resposta aos problemas	Os erros são identificados tarde e a identificação da causa raiz demora mais tempo.	Os erros fazem a máquina parar e a causa raiz do problema é de rápida deteção.

2.1.3 Tipos de desperdícios

Os desperdícios (*Muda* em japonês), tal como mencionado anteriormente, posicionam-se no centro da casa do TPS e, por isso, é fundamental enfatizar a importância de os identificar e eliminar dos processos produtivos. Melton (2005) define desperdício como qualquer atividade que não contribui para acrescentar valor ao produto sob a perspetiva dos requisitos e necessidades do cliente. Por outras palavras, é tudo aquilo que o cliente não está disposto a pagar (Hines et al., 2008).

Convém salientar que, às vezes, o desperdício é necessário ao processo produtivo e, por isso, não pode ser completamente eliminado, apesar de não acrescentar valor à organização (Melton, 2005). Assim, segundo a distinção de Womack & Jones (2003) é possível identificar dois tipos de *Muda*:

1. ***Muda Tipo Um*** – ações que não criam valor, mas são necessárias para o correto funcionamento do processo produtivo do produto;
2. ***Muda Tipo Dois*** – ações que não acrescentam valor nem são necessárias do ponto de vista do processo produtivo, pelo que devem ser eliminadas.

Torna-se, por isso, fundamental identificar e eliminar os *Muda Tipo Dois* e, sempre que possível, reduzir os *Muda Tipo Um*. Assim, Ohno (1988) distinguiu sete tipos de desperdícios presentes num sistema de produção, sendo eles:

1. **Sobreprodução:** existe sobreprodução quando são produzidas quantidades superiores às requeridas pelo cliente. Como consequência são gerados excessos de *stock* e movimentações e é ainda ocupado espaço desnecessário. Neste sentido, a sobreprodução é um dos desperdícios considerados mais críticos uma vez que é responsável por desencadear outros tipos de desperdícios (Liker, 2004; Ohno, 1988).
2. **Esperas:** dizem respeito ao tempo de inatividade quer de pessoas quer de máquinas. A existência de esperas pode resultar de vários acontecimentos, todavia acontece maioritariamente devido a situações de faltas de material, atrasos na produção, avarias nos equipamentos, obstruções na linha, entre outros (Lacerda et al., 2016).
3. **Transportes:** a deslocação de matérias-primas, materiais em processamento e produtos do seu local de armazenamento para a produção ou localizações específicas, constitui um exemplo de desperdício em transportes (Liker, 2004). De acordo com Melton (2005) enquanto o produto está a ser transportado não está a acrescentar valor para o cliente, visto que este não paga pela atividade. Outro aspeto a salientar é a redução da qualidade do produto enquanto se encontra

em andamento e, por isso, é essencial que se reduza continuamente este desperdício (Bicheno & Holweg, 2009).

- 4. Sobreprocessamento ou processamento incorreto:** é qualquer operação ou conjunto de operações que não acrescentam valor ao produto do ponto de vista do cliente e que não são necessárias ao processo (Lacerda et al., 2016; Melton, 2005). Neste sentido, é considerado um desperdício de produção, na medida em que causa movimentações desnecessárias e aumenta a probabilidade de ocorrência defeitos (Liker, 2004).
- 5. Inventário (*stock*):** a existência de grandes quantidades de inventário é causada pelo excesso de matéria-prima, *Work-In-Progress* (WIP) e/ou produto acabado. Tudo isto acarreta diversas consequências como longos *lead times*, aparecimento de produtos danificados, atrasos nas entregas, custos de armazenamento, entre outros (Liker, 2004). De acordo com Bicheno & Holweg (2009), para além do *stock* em demasia ser o principal inimigo da qualidade e produtividade, os custos associados à sua posse também não justificam a sua existência desmedida.
- 6. Movimentações:** qualquer movimentação dos operadores durante o seu trabalho é considerada desperdício, incluindo o próprio andar (Liker, 2004). Todavia este é maioritariamente esquecido, uma vez que é naturalmente tomado como uma atividade integrante do ciclo operativo e tarefas como procura de materiais e ferramentas identificam-se mais facilmente como movimentações desnecessárias. De acordo com Wilson (2010) não existe qualquer movimento do operador que acrescente valor ao produto. Deste modo, é essencial ter em conta a disposição do *layout* e o arranjo dos postos de trabalho para serem evitados ou minimizados os movimentos dos colaboradores (Bicheno & Holweg, 2009).
- 7. Defeitos:** os produtos com defeitos surgem de erros, tais como faltas de *standard work*, falhas nos sistemas de controlo da qualidade, erros humanos ou imprevistos durante o processo e, por isso, por vezes, requerem retrabalho (Lacerda et al., 2016; Melton, 2005). Ohno, para além da perda produtiva (*scrap*), refere ainda o desperdício de tempo, esforço e energia dos operadores (Wilson, 2010). Tudo isto gera ainda mais custos uma vez que, para repor corretamente o produto, são necessários mais materiais e mão de obra (Liker, 2004). Por estes motivos, torna-se imperativo procurar produzir bem à primeira (Bicheno & Holweg, 2009).

Mais tarde, Liker (2004) reconheceu o oitavo desperdício: o não aproveitamento do potencial e da criatividade dos colaboradores. Quando não se ouvem os operadores, para além da desvalorização da

pessoa, perdem-se talentos e ideias para a concorrência, bem como possíveis oportunidades de melhoria.

Para além dos desperdícios mencionados anteriormente, os *Muda*, existem mais dois: *Mura* e *Muri* que se concentram nos equipamentos e pessoas. No seu conjunto formam o conceito 3M (Liker, 2004), ilustrado na Figura 2.

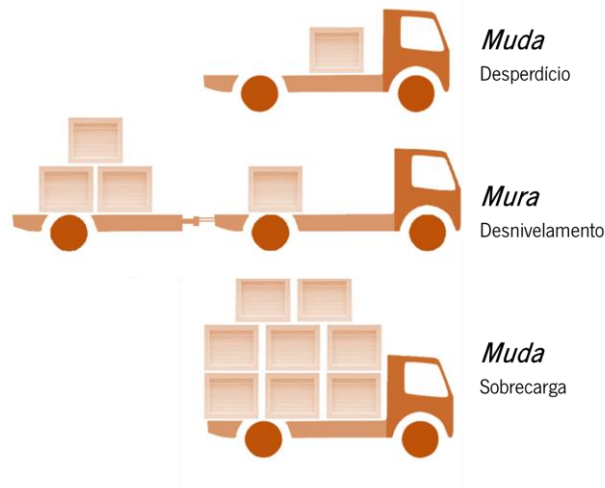


Figura 2 – Representação dos 3M
(Adaptado de Souza (2017))

Mura está relacionado com o termo variação e, por isso, existe quando há situações de excesso ou falta de trabalho. Por esta razão, estes sistemas de produção sofrem negativamente com a produção irregular que leva ao desnívelamento da produção (Liker, 2004). Isto entra em conflito com uma das bases do TPS – o nivelamento dos processos, tal como abordado na secção 2.1.2.

Noutra vertente, quando se trata de sobrecarregar pessoas ou equipamentos, faz-se referência à designação *Muri*. Usualmente, este tipo de desperdício tem consequências para o operador (em termos ergonómicos e de segurança) e para o produto (causando problemas de qualidade) uma vez que são ultrapassados os limites estipulados (Liker, 2004). Assim, quando um processo não está balanceado corretamente (*Mura*), deteta-se a ocorrência de sobrecarga de pessoas e equipamentos (*Muri*) que inevitavelmente causam o aparecimento de atividades que não acrescentam valor (*Muda*).

A maioria destes desperdícios têm origem no *Gemba* e, por isso, é importante que se atue no sentido de os eliminar através de, por exemplo, reconfiguração do sistema produtivo (Alves et al., 2016). Para ajudar a identificar os diferentes tipos de desperdícios existem várias técnicas e ferramentas, com o intuito de tornar os sistemas mais eficientes, tais como, 5S, *Kaizen*, *Standard Work*, ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), mecanismos *Poka-yoke*, *Kanban*, *Total Productive Maintenance* (TPM), *Value Stream Mapping*

(VSM), balanceamento, entre outras (Bon & Kee, 2015). Algumas destas ferramentas estão descritas na secção 2.1.6.

2.1.4 Princípios *Lean Thinking*

A filosofia *Lean* tem como foco a eliminação de desperdícios e, por isso, James Womack e Daniel Jones (2003), autores do livro “*Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation*”, definiram o conceito *Lean Thinking* para auxiliar este processo. Desta forma, evidenciaram cinco princípios, sendo eles: 1) Valor – definido pelo cliente; 2) Cadeia de valor – consiste na identificação das ações específicas para desenvolver e produzir o produto/serviço; 3) Fluxo – conceber um fluxo contínuo; 4) Produção *pull* – deixar o cliente puxar a produção de acordo com as suas necessidades; 5) Busca pela perfeição – não existe um fim associado ao processo de redução de desperdícios enquanto a melhoria contínua for um objetivo. Assim, têm como objetivo auxiliar a produção liberta de desperdícios e criar valor nos produtos e processos.

O primeiro princípio diz respeito à **definição de valor** onde Womack e Jones (2003) revelam a importância de ser definido pelo cliente final. As características, requisitos e funções do produto devem ser tratadas diretamente com o consumidor a qual se destina o produto. Assim, tudo o que este não se encontra disposto a pagar deve ser considerado desperdício e, por isso, eliminado. Outro grande desafio das empresas centra-se na oferta do produto com a melhor qualidade ao custo mais baixo.

Depois segue-se a identificação da **cadeia de valor** que tem como principal propósito destacar todas as atividades que o cliente está disposto a pagar, incluindo todo o processo desde a entrada de matéria-prima até à sua transformação em produto final (Womack & Jones, 2003). Assim, nesta etapa é importante proceder à identificação das atividades que acrescentam valor ao processo produtivo, das atividades que, apesar de não acrescentarem valor, são necessárias e das atividades que não acrescentam valor nem são necessárias (Emiliani, 1998). O foco deve constar nestas últimas uma vez que o objetivo é a sua total eliminação, tal como mencionado na secção 2.1.3.

O terceiro princípio diz respeito à criação de um **fluxo contínuo** na cadeia de valor, ou seja, não existir nenhuma interrupção desde o início da produção até que se fabrique produto acabado. Neste sentido, são evitados tempos de espera, paragens e outros desperdícios (Womack & Jones, 2003).

Segue-se o quarto princípio referente à **produção pull** onde a produção é puxada pelo cliente. Isto significa que a produção é iniciada apenas no momento em que o cliente requiere/encomenda o produto. Implicitamente está presente o conceito JIT (mencionado também na secção 2.1.2.1) que permite

produzir apenas o necessário, reduzindo a acumulação de *stock*, bem como a existência de produtos obsoletos (Emiliani, 1998; Womack & Jones, 2003).

Por último, o quinto princípio assente na **busca da perfeição** procura a melhoria contínua dos processos e produtos com o propósito de agregar valor ao cliente final e à empresa. De facto, este princípio deve ser transversal a toda organização para ser possível aproveitar o conhecimento e a experiência de todos os colaboradores envolvidos (Emiliani, 1998).

Em suma, percebido o valor do produto (bem e/ou serviço), deve realizar-se a divisão das várias etapas do processo em atividades que acrescentam valor e atividades que não acrescentam valor para se proceder à eliminação dos desperdícios.

Estes princípios são considerados etapas a seguir para uma correta aplicação do pensamento *Lean Thinking* nas empresas. Ao longo do tempo, vários estudos têm mostrado a relevância e a aplicabilidade transversal deste pensamento por todo o mundo, bem como a sua capacidade de melhorar a performance e a sustentabilidade das organizações (Amaro et al., 2019).

2.1.5 Benefícios e obstáculos na implementação do *Lean Production*

A metodologia *Lean Production* é adotada pelas mais diversas indústrias uma vez que proporciona um vasto conjunto de vantagens, particularmente a redução de custos, através da contínua eliminação de desperdícios. Neste seguimento, perseguindo a perfeição e eliminando as atividades que não acrescentam valor ao produto, qualquer empresa pode prosperar após a correta implementação dos princípios *Lean Thinking*, descritos na secção 2.1.4 (Womack & Jones, 1996).

Melton (2005) destaca vários benefícios aquando da utilização desta metodologia, nomeadamente redução dos custos, melhor compreensão dos processos e redução dos prazos de entrega, *stocks* e defeitos, estes, por sua vez, permitem diminuir o retrabalho.

Vários autores partilham casos de sucesso da implementação do *Lean Production*. De acordo com Alves et al. (2014), cujo estudo teve por base 43 casos de implementação do *Lean Production* por alunos da Universidade do Minho em contexto empresarial, os benefícios mais frequentes alcançados foram: redução do tempo de entrega e do tempo de *setup*, melhor nível de organização, aumento da produtividade e melhores condições ergonómicas. Para além destas vantagens, é salientada a promoção da cultura de redução de desperdícios e a sensibilidade das empresas para aceitarem novos projetos, ideias e perspetivas de pessoas fora das mesmas. Outro estudo de Alves et al. (2011), tendo por base o mesmo seguimento, mas neste caso 41 projetos, revelou que a redução do WIP e do espaço ocupado,

simplificação do fluxo de materiais, aumento da produtividade e redução dos movimentos foram os ganhos mais comuns.

Resende et al. (2014) apresenta a implementação do *Lean Production* numa empresa de injeção de plásticos que originou resultados tangíveis e intangíveis. Relativamente aos primeiros, gerou um aumento de 12% de produtividade e uma redução de 10% do tempo de ciclo e de 15% no tempo total de *change-over*. Relativamente aos resultados intangíveis, conseguiu cativar o envolvimento de todos os colaboradores no processo de melhoria contínua e de implementação do *Lean*. Também Das et al. (2014), através da implementação da metodologia *Lean* e do uso de ferramentas *Lean*, aumentou 77% a produção de bobines de ar condicionado por turno, reduziu 67% do tempo de *setup* e proporcionou um aumento de 140% das atividades que acrescentam valor.

Todavia, para além dos benefícios da implementação desta metodologia, existem alguns obstáculos na sua aplicação. Alves et al. (2016) mencionou como principais contribuidores a resistência à mudança e o medo de falhar. Melton (2005), para além de salientar também a resistência à mudança como uma das principais forças contra a implementação do *Lean*, acrescenta ainda a existência do pensamento de que não é correto parar a produção em qualquer circunstância e de que produzir em grandes lotes é que traz benefícios. A cultura organizacional é também um dos principais obstáculos, como mencionado por muitos autores, revistos em Amaro et al. (2021).

2.1.6 Ferramentas Lean

Esta secção aborda algumas técnicas e ferramentas associadas ao pensamento Lean, nomeadamente, *Standard Work*, Técnica 5S e Gestão Visual, Mecanismos *Poka-Yoke* e *Kaizen*, cuja implementação permite, entre outras vantagens, diminuir os desperdícios e aumentar a eficiência do sistema produtivo.

2.1.6.1 *Standard Work*

O *Standard Work* ou trabalho normalizado é uma ferramenta *Lean* desenvolvida em 1950 por Ohno, cuja importância pode ser validada através da sua localização na casa TPS, na base da casa, tal como contemplado na secção 2.1.2. O principal objetivo consiste em especificar os métodos e as sequências padronizadas das operações para cada processo, obtendo um tempo de produção constante em todas as estações de trabalho. Neste seguimento, são descritas as tarefas realizadas em cada posto de trabalho para que os operadores saibam o que devem fazer (Ohno, 1988). Por isso, é importante existir rigor e cuidado na especificação dos padrões para que sejam facilmente entendidos e interpretados por qualquer colaborador. Ribeiro et al. (2013) destacou ainda a importância de envolver todas as pessoas

para garantir que o *Standard Work* é entendido como um esforço e colaboração mútuos e não de uma ordem imposta pelas chefias sobre como os operadores devem executar o próprio trabalho.

A aplicabilidade do *Standard Work* no quotidiano das organizações expressa-se pela capacidade de eliminar a variabilidade dos processos, uma vez que as tarefas estão documentadas, e pela facilidade em identificar desperdícios (Arezes et al., 2015). Neste seguimento, é possível aumentar a produtividade e diminuir os erros de montagem nas operações, aprimorando a qualidade, como aconteceu em Bragança & Costa (2015).

Assim, segundo a Productivity Development Team (2002), a implementação do trabalho normalizado permite, para a empresa, aumentar a qualidade e estabilidade dos processos, melhorando a previsibilidade do tempo de entrega, e ainda diminuir os desperdícios e custos. Para operadores, existe uma maior clareza na aprendizagem das operações e, por isso, melhor adaptação à mudança de posto. Para além disto, torna-os mais capazes e aptos para serem capazes de identificarem problemas.

De acordo com Monden (1998), o *Standard Work* possui três elementos-chave, sendo eles:

1. Tempo de ciclo normalizado: tempo de ciclo que permite responder à procura do mercado;
2. Sequência de trabalho normalizada: conjunto de tarefas que representam a melhor forma e também a mais segura de realizar o trabalho;
3. Inventário WIP normalizado: indica a quantidade mínima de *stock* que deve ser mantida de maneira a que seja possível garantir um fluxo contínuo da produção, sem paragens.

Para Liker & Meier (2006), o *Standard Work* pode ser apresentado sob a forma de três documentos diferentes, sendo eles:

1. ***Standard Work Chart*** – combina o movimento do operador e a localização do material necessário à tarefa através do *layout* da área de trabalho (Figura 3a);
2. ***Standard Work Combination Table*** – relaciona as tarefas realizadas no posto de trabalho com o tempo que as mesmas demoram e ainda o tempo de processamento caso existam máquinas envolvidas (Figura 3b). Este tipo de documento é considerado bastante útil na deteção de desperdícios;
3. ***Production Capacity Sheet*** – gráfico que mostra a capacidade de uma máquina, considerando eventuais paragens e tempos de *setup*.

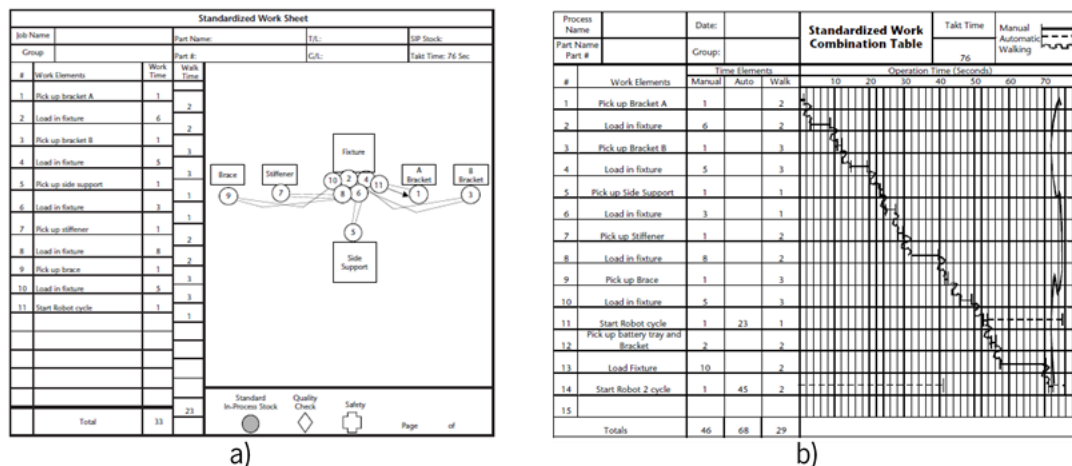


Figura 3 – Exemplos de documentos do *Standard Work*: a) *Standard Work Chart*; b) *Standard Work Combination Table* (Liker & Meier, 2006)

Ainda dentro do *Standard Work Chart*, Dennis (2016) faz referência à existência de um modelo de Instrução de Trabalho (IT) mais específica que, para além da ordem das tarefas, contém fotografias dos vários passos e chamadas de atenção para alguns pontos críticos da qualidade do produto (Figura 4).

Model: _____ Date Created: _____

Element:	Horn Install	T Y P E	Critical Option Functional Appearance
Procedure (How to Do) 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.	Key Point/Reason Why • Keep 20-25 bolts in tool punch. • First hole from right fender. • Torque target 12 Nm (minimum to Nm maximum to Nm) • Loose or cross thread condition not allowed (see diagram ③)	Ergo. Burden Time	Created By:
Revisions	Initials	Safety Key Points I wear your PPE - Cotton gloves, safety glasses, safety shoes	

Figura 4 – Exemplo de Instrução de Trabalho (Dennis, 2016)

2.1.6.2 Técnica 5S e Gestão Visual

A Técnica 5S foi desenvolvida por Takshi Osada em 1980 e, sinteticamente, consiste numa ferramenta bastante visual que ajuda a remover todos os itens desnecessários, permanecendo apenas o necessário. Também o termo “housekeeping” se associa bastante a esta técnica (Gapp et al., 2008).

Neste seguimento, permite criar e manter o local de trabalho limpo e bem organizado a partir de regras e padrões, traduzindo-se numa redução de tempo a procurar pelos itens precisos (Nallusamy & Adil

Ahamed, 2017). Para além disto, estão subjacentes ganhos como maior qualidade, eficiência e produtividade e consideráveis reduções de custos e desperdícios (Jaca et al., 2014; Jiménez et al., 2015).

O nome desta técnica provém das iniciais de cinco palavras japonesas, sendo elas (Osada, 1991):

1. **Seiri** (Separar): a primeira etapa consiste em separar todos os itens que são necessários dos que não são, uma vez que o local de trabalho deve ser equipado somente com o requerido para desempenhar as tarefas. Este passo é de grande importância tendo em conta que, depois de se decidir o que é preciso, procede-se à eliminação do desnecessário e obsoleto. Deste modo, esta ação provoca instantaneamente um impacto visual considerável.
2. **Seiton** (Organizar): nesta fase todos os itens necessários devem ser organizados num lugar e posição apropriados com o propósito de facilitar a sua localização e arrumação. Assim, o fluxo de trabalho torna-se mais rápido e eficiente visto que os materiais, ferramentas e outros objetos têm um sítio específico devidamente marcado e identificado. Todo este processo reduz o tempo de procura e, por isso, esta etapa permite poupar tempo.
3. **Seiso** (Limpar): tal como o próprio nome indica, esta etapa consiste em limpar o local de trabalho e todos os equipamentos que lhe são inerentes. Esta ação deve ser feita todos os dias para que sejam mantidas as boas condições dos mesmos, inspecionando e prevenindo eventuais problemas. A limpeza pode ser dividida em três níveis, sendo eles: (1) Nível Macro – inclui limpar todas as áreas e resolver as causas da sujidade; (2) Nível Individual – engloba limpar áreas e equipamentos específicos; (3) Nível Micro – consiste em limpar partes específicas dos equipamentos e ferramentas. Assim, como resultado é expectável aumentar o tempo de vida dos equipamentos, bem como possibilitar uma maior rapidez a detetar falhas nos mesmos.
4. **Seiketsu** (Padronizar): após a organização e limpeza de uma área de produção, é essencial que as ações sejam mantidas e, por isso, nesta fase são estabelecidos procedimentos/regras para assegurar o cumprimento dos 3S anteriores. Deste modo, é importante salientar que trabalhar para uma métrica definida pela equipa é mais vantajoso do que cada operador trabalhar à sua maneira.
5. **Shitsuke** (Autodisciplina): depois dos 4S bem definidos e aplicados, é essencial manter a disciplina para continuar com os ganhos alcançados. Neste sentido, é fundamental formar todos os colaboradores e garantir que estes percebem a importância de serem realizadas e cumpridas, todos os dias, as etapas estipuladas anteriormente. Para garantir a sustentabilidade desta ferramenta, normalmente, são feitas auditorias periódicas.

Segundo os estudos de Bicheno & Holweg (2009), Jiménez et al. (2015) e Zadry et al. (2020) a implementação da Técnica 5S compreende vários benefícios dos quais se destacam a coordenação de atividades de arrumação e organização dos postos de trabalho, originando um local mais limpo e produtivo; a obtenção de melhorias ao nível da manutenção, qualidade, segurança e higiene e a contribuição para o aumento da responsabilidade dos colaboradores, fomentando o trabalho em equipa.

A Gestão Visual é uma técnica *Lean* que dá suporte à técnica 5S (Hirano, 1995). Para isto, envolve a utilização de vários instrumentos de fácil compreensão que, por sua vez, são capazes de transmitir a informação de forma simples e visualmente apelativa (Tezel et al., 2016). Neste sentido, a partir de gráficos, diagramas, histogramas, cartas de controlo, entre outros, a Gestão Visual promove uma rápida visualização do estado atual, ajudando a focalizar em processos e a priorizar as ações necessárias (Eaidgah et al., 2016).

Esta prática de transmissão de informação tem vindo a crescer nos últimos anos e a ganhar peso nas indústrias face aos benefícios da sua utilização. O aumento do rendimento da organização é uma das inúmeras vantagens, visto que os dados são disponibilizados no tempo certo aos colaboradores certos, quer por quadros, quer por etiquetas ou códigos de cores. Assim, o operador fica alertado para atuar na anomalia de imediato (Wilson, 2010). Os sinais luminosos, as marcações no chão e os cartões informativos complementam a sustentabilidade da Gestão Visual (Bateman et al., 2016). O envolvimento de todos os colaboradores, bem como a sua participação nas atividades desta técnica são aspetos que devem estar inseridos na cultura organizacional da empresa.

2.1.6.3 Mecanismos Poka-Yoke

Os mecanismos *Poka-Yoke*, também conhecidos por “mecanismos à prova de falhas”, foram desenvolvidos por Shiego Shingo enquanto trabalhava no TPS para atingir “Zero Defect Production” (Shingo, 1986). De acordo com Shingo (1986), o *Poka-Yoke* é um mecanismo que deteta erros e/ou defeitos, inspecionando 100% das peças, e que trabalha independentemente da atenção do colaborador. Assim, este tipo de sistema evita que o erro seja cometido ou permite que seja facilmente identificado, impedindo que prossiga para as próximas operações.

Shingo (1989) distingue dois tipos de métodos *Poka-Yoke*, sendo eles:

- 1. Método de controlo** – consiste na paragem da máquina ou da linha produtiva quando é detetada uma anomalia. Neste sentido, a máquina é impedida de continuar a produzir peças defeituosas para que também se possa proceder à reparação imediata do problema;

- 2. Método de advertência** – corresponde à emissão de sinais luminosos e/ou sonoros que alertam o colaborador responsável para a resolução do problema.

Por um lado, o método de controlo utiliza-se quando os erros e defeitos são mais frequentes uma vez que o processo produtivo é parado e o erro corrigido. Por outro lado, o método de advertência deve ser usado em casos pontuais quando a resolução do problema não tem de ser imediata.

Para além da distinção descrita anteriormente, Shingo (1989) categoriza os *Poka-Yoke* de controlo em três grupos, sendo eles:

- 1. Contacto** – identifica anomalias na forma ou dimensão do produto, podendo haver ou não contacto entre o dispositivo e o produto;
- 2. Conjunto** – através da contagem automática do número de movimentos realizados, deteta se todos os movimentos/passos estabelecidos ocorrem nas várias operações;
- 3. Etapas** – a partir do conjunto de atividades *standard* estabelecidas, este método evita que o colaborador faça alguma tarefa por enganado que não faz parte do padrão definido.

2.1.6.4 *Kaizen*

O termo japonês *Kaizen* está diretamente relacionado com a melhoria contínua uma vez que o seu principal objetivo passa por identificar e reduzir os desperdícios continuamente. Neste sentido, esta filosofia destaca a envolvimento de todos os colaboradores da organização para que pensem e atuem no sentido de eliminar os desperdícios, aumentando a eficiência do sistema produtivo (Chen et al., 2010). Originalmente, o *Kaizen* foi referido no livro “The Key to Japan’s Competitive Success” pelo autor Masaaki Imai que permitiu que este conceito sobressaísse como uma filosofia de melhoria contínua.

Ortiz (2006) reforça a importância de integrar *Kaizen* nas atividades normais do dia-a-dia, com especial ênfase na eliminação dos desperdícios, criação de *standards*, limpeza e organização do local de trabalho. Neste seguimento, são pequenas melhorias e passos diários que a longo prazo se traduzem em resultados significativos.

O ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), representado na Figura 5, é uma ferramenta que garante que o *Kaizen* é feito de forma contínua, sistemática e organizada ao longo do tempo (Imai, 2012). Esta técnica foi originalmente desenvolvida pelo estatístico Americano Walter A. Shewhart, contudo ficou mais conhecida com a intervenção de William Edward Deming, em 1950 e, por esta razão, é usual ser também designado *Deming Cycle* (Silva et al., 2017).

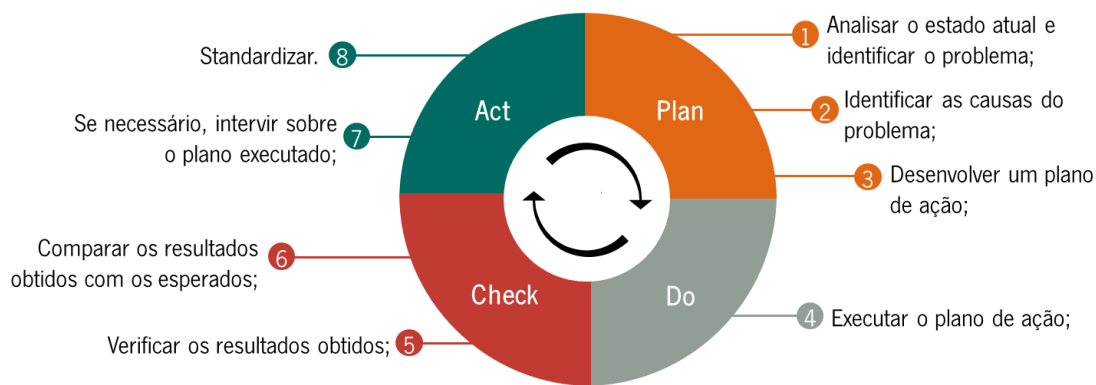


Figura 5 – Ciclo PDCA
(Adaptado de Qing-Ling et al. (2008))

Segundo Gorenflo & Moran (2009), o ciclo PDCA é composto por quatro etapas que podem ser explicadas da seguinte forma:

1. **Plan** (Planear): esta fase inicial requiere uma análise ao estado atual do processo com o propósito de serem identificados o problema e as causas do mesmo. Posteriormente são desenvolvidas as possíveis soluções;
2. **Do** (Fazer): procede-se à implementação do plano de ação seguindo a documentação dos novos dados e informações. Para além disto, caso surjam eventos inesperados, estes devem ser registados;
3. **Check** (Verificar): nesta fase, é expectável que se analisem os resultados das ações efetuadas na etapa anterior. A comparação entre os dois cenários (real e planeado) permite perceber se os objetivos estabelecidos foram alcançados e se as melhorias previstas foram atingidas. Neste sentido, torna-se crucial quantificar as alterações;
4. **Act** (Agir): após conseguidos os objetivos esperados, procede-se à normalização das melhorias implementadas garantindo o correto cumprimento das mesmas. Caso contrário, deve realizar-se novamente o ciclo com o propósito de aperfeiçoar o que não correu tão bem. Assim, as lições aprendidas e o conhecimento adquirido ajudam a construir uma melhor performance e, por isso, nunca devem ser esquecidos.

2.2 Sistemas de produção

Esta secção começa por abordar os tipos de sistemas de produção, seguindo-se a metodologia de reconfiguração dos Sistema de Produção Orientado ao Produto (SPOP) e, por fim, são referidos alguns indicadores de desempenho.

2.2.1 Tipos de sistemas de produção

Relativamente aos sistemas de produção, estes podem dividir-se em dois grandes grupos no que concerne ao seu arranjo ou implantação organizacional, sendo eles: Sistemas de Produção Orientados à Função (SPOF) e Sistemas de Produção Orientados ao Produto (SPOP).

Uma oficina de produção ou *Job Shop* é considerado um SPOF porque compreende a existência de áreas específicas onde cada uma é responsável por uma função fabril e permite produzir grandes variedades de artigos em pequenos lotes ou apenas em produção unitária. Neste sentido, as propriedades únicas de cada produto pressupõem um investimento em máquinas e equipamentos versáteis e universais que consigam concretizar todas as operações inerentes aos vários tipos de artigos.

Todavia a diversidade de sequências operatórias, derivada da variedade de artigos, causa dificuldades no controlo do fluxo de materiais e provoca ineficiência e ineficácia nos sistemas funcionais. Inevitavelmente, o facto de existirem grandes quantidades de produtos a partilharem, ao mesmo tempo, os recursos do sistema, contribuiu para os tempos de produção longos e imprevisíveis. Assim, surgem dificuldades no cumprimento das entregas nas datas previstas ao cliente final, o que impacta negativamente os níveis de serviço.

As linhas e/ou células de produção estão inseridas nos SPOP uma vez que se concentram na produção coordenada e sincronizada das várias etapas de fabrico e montagem de um produto ou família de produtos similares (isto é, produtos semelhantes que utilizam o mesmo processo de produção). Estas particularidades proporcionam uma melhor adaptação às necessidades de produção tendo em conta a variação da procura e volatilidade dos mercados atuais. Neste seguimento, são conseguidas diversas vantagens que tornam os sistemas mais eficientes, tais como maior rapidez no processo de produção, melhor qualidade e boa utilização dos recursos (Alves, 2007). Assim, os SPOP podem ser reconfigurados para lidar com a diversidade de produtos a serem processados. Tudo isto em virtude da integração de uma série de subsistemas com autonomia e independência (Alves et al., 2017).

A Figura 6 esquematiza as principais diferenças entre os três sistemas mencionados acima, relacionando variedade de artigos e quantidade de produtos produzidos.

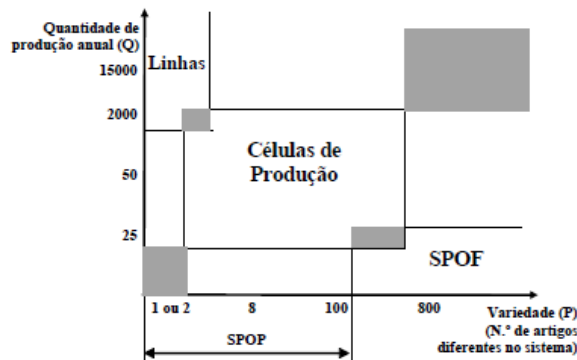


Figura 6 – Posicionamento das linhas, células e oficinas de produção quanto à variedade de artigos e quantidade produzida (Alves, 2007)

As linhas de produção, dedicadas à fabricação ou montagem de um artigo ou mistura de artigos, englobam um conjunto de postos de trabalho dispostos de forma sequencial por forma a cumprir a sequência das operações definidas para a transformação do produto (Alves, 1999).

Segundo os autores Becker & Scholl (2006) e Kumar & Mahto (2013) a classificação das linhas de produção distingue-se pela variedade e sequência de artigos produzidos. Assim, segundo os mesmos autores, existem três tipos de linhas distintas (Figura 7) que condicionam a estratégia de balanceamento, sendo eles:

1. **Single-model line** ou linha de modelo único – este tipo de linha é caracterizado pela produção de apenas um produto em elevadas quantidades;
2. **Mixed-model line** ou linha de modelos misturados – este tipo de linha tem a capacidade de se adaptar à produção de diferentes tipos de produtos. Neste caso, os tempos de *change-over* entre cada modelo são quase desprezáveis e, por isso, a troca durante o processo produtivo é perfeitamente viável e exequível;
3. **Multi-model line** ou linha multimodelo – tal como no tipo de linha de modelos misturados, este tipo de linha também é capaz de produzir diferentes tipos de produtos, todavia os tempos de *change-over* já não são tão reduzidos. Face a este atributo prejudicial, a produção é planeada para pequenos lotes de diferentes modelos.

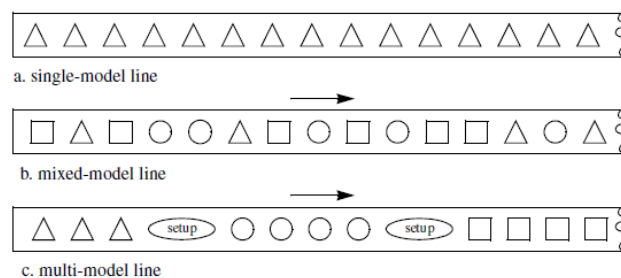


Figura 7 – Classificação dos diferentes tipos de linhas (Becker & Scholl, 2006)

2.2.2 Reconfiguração de SPOP

Tal como referido na secção anterior, a alteração da procura despoleta novas alterações e reconfigurações nos sistemas e, neste sentido, torna-se fundamental efetuar todos os cálculos de capacidade, volume, número de operadores, entre outros, para garantir o correto balanceamento das linhas de produção (Alves et al., 2016; Oliveira, 2018).

De acordo com Alves (2007) para projetar e/ou reconfigurar sistemas de produção é importante seguir uma metodologia que se rege por três fases, sendo elas: 1) Projeto Genérico; 2) Projeto Concetual; 3) Projeto Detalhado. Desta forma, é possível acompanhar o seu processo de formação complexo regido por diferentes níveis hierárquicos (estratégico, tático e operacional). Esta metodologia facilitadora e orientadora, criada com o intuito de complementar lacunas existentes na literatura existente até ao momento, revela ser um instrumento imprescindível para apoiar a reconfiguração de sistemas de produção.

A primeira fase (Projeto Genérico) engloba definir a estratégia de produção e, por isso, compreende perceber a previsão da procura, a posição da empresa relativamente ao mercado, o tipo de recursos tecnológicos, a variedade de produtos, entre outros (Alves, 2007).

Posteriormente, sabendo as quantidades e requisitos dos produtos, segue-se a segunda fase que diz respeito à identificação do tipo de configuração concetual quer das células quer dos postos de trabalho, designando-se Projeto Concetual (Alves, 2007).

Por fim, a última fase, referente ao Projeto Detalhado, revela ser a mais significativa uma vez que trata detalhadamente de todo o processo e funcionamento da linha/célula. Tendo em conta a elevada dependência entre as atividades desta fase, estas são abordadas de forma iterativa e interrelacionada para que seja possível alterar parâmetros conforme os resultados (Alves, 2007). Assim, segundo Carmo-Silva & Alves (2006) compreende a seguinte série de cinco passos cumprida de forma interligada e dependente:

- 1.** Formação do produto/família de produtos;
- 2.** Instanciação de células concetuais;
- 3.** Instanciação de postos de trabalho;
- 4.** Organização intracelular e controlo de cada célula;
- 5.** Arranjo integrado das células para a formação do SPOP.

2.2.2.1 *Formação do produto/família de produtos*

No primeiro passo elaboram-se as famílias de produtos, todavia, caso as quantidades de um produto assim o justifiquem, não é necessário proceder à formação de família, podendo ficar a célula ou sistema dedicado a esse único produto do estudo. Assim, quando existe mistura de artigos no mesmo sistema, este passo revela-se essencial e, neste seguimento, deve ter-se em consideração a similaridade existente entre eles desde tipos de materiais utilizados e configurações físicas e geométricas a parâmetros operatórios e especificações de fabrico e de cliente.

O procedimento de formação de famílias pode tornar-se bastante complexo e, por isso, quer se trate de uma família de produtos simples quer de uma família de produtos compostos, a desagregação das operações genéricas em operações de processamento revela ser um fator necessário.

Neste seguimento, existem várias abordagens e métodos criados por diferentes autores que auxiliam o agrupamento das peças ou produtos em famílias, onde as técnicas constituem o sustento dos mesmos. Na abordagem manual pode referir-se, como exemplo, a *Análise/Inspeção Visual* (Offodile et al., 1994), que se baseia na simples observação direta e na comparação das seguintes informações: forma geométrica, dimensões, material e tipos de processos requeridos, e a *Production Flow Analysis* (Burbidge, 1989) que tem como princípio a utilização de uma matriz que contém a relação entre artigos e máquinas. Ainda de referir a abordagem *Clustering Analysis* que aplica algoritmos de agrupamento (*clustering*), como por exemplo, o algoritmo *Single Clustering Linkage* que se baseia em coeficientes de similaridade (Singh & Rajamani, 1996).

2.2.2.2 *Instanciação de células concetuais*

De seguida, a atividade de instanciação de células concetuais pressupõe um conhecimento mais robusto do processo produtivo, nomeadamente dos produtos e da sua quantidade, dos tempos de operação e da utilização dos equipamentos. Adicionalmente, outras informações como período de produção, capacidade total de máquinas, disponibilidade, custo de duplicação dos equipamentos, turnos de produção, algumas já provenientes de fases anteriores, contribuem para o cálculo dos equipamentos necessários.

Assim, integra quatro etapas, sendo elas: cálculo de máquinas ou equipamentos necessários, identificação da existência de fluxos intercelulares, definição dos fluxos e, por fim, seleção da melhor configuração operacional (células de Tecnologia de Grupo, células JIT, células de resposta rápida, células de produção flexível, células virtuais, entre outras).

2.2.2.3 Instanciação de postos de trabalho

A terceira atividade, instanciar os postos de trabalho, recorre às seguintes etapas: calcular o número de operadores para cada célula, fazer o seu balanceamento e, por último, selecionar e alocar os operadores aos postos. Para além do implícito agrupamento de máquinas, é fundamental ter em consideração a seleção e a repartição dos operadores pela célula, uma vez que a falta das competências adequadas pode impossibilitar a execução de qualquer plano elaborado. Neste sentido, as competências necessárias em cada posto devem ser claras e corretamente registadas e documentadas, afim de robustecerem a formação das equipas de trabalho. Este passo deve ser apoiado com ferramentas visuais que permitam facilmente gerir e interpretar as competências de cada colaborador, salientando, como a exemplo, a matriz de competências.

O correto balanceamento, que contribui para a garantia de uma boa reconfiguração, pode ser multimodelo ou modelos misturados tal como abordado na secção 2.2.1. Deste modo, calcula-se o número de postos de trabalho teórico (Equação 1), incluindo as suas operações, e projeta-se a configuração dos postos de trabalho. Como este projeto incide prontamente na reconfiguração de uma linha de montagem, o balanceamento torna-se uma abordagem essencial para a obtenção da melhor eficiência do sistema de produção, compreendendo um maior aproveitamento dos recursos (mão de obra e equipamentos).

$$N^{\circ} \text{ Postos de trabalho} = \frac{\text{Tempo de processamento}}{\text{Takt Time} \times \text{Eficiência}}$$

Equação 1 – Cálculo teórico do número de Postos de Trabalho

O grande desafio recai na distribuição uniformizada da carga de trabalho pelos vários postos de trabalho por forma a minimizar o seu número e a maximizar a taxa de produção, evitando os *bottlenecks* (Kumar & Mahto, 2013). Também segundo os autores Ghosh & Gagnon (1989) a dificuldade do balanceamento incide na atribuição de tarefas aos postos de trabalho de forma ordenada sem comprometer as relações de precedências imperativas e, ao mesmo tempo, conseguir otimizar alguma medida de desempenho.

A distribuição equilibrada da carga de trabalho está diretamente relacionada com a análise detalhada às tarefas elementares de cada operação e, neste seguimento, é imprescindível que a investigação recaia na forma como podem ser reduzidas, combinadas ou até trocadas de ordem (Becker & Scholl, 2006). Tudo isto envolve um prévio e profundo conhecimento do *layout*, produtos, processos e materiais e do próprio cálculo de indicadores de desempenho como a taxa de produção, tempo de ciclo de cada posto de trabalho e *Takt Time* (TT).

Em termos práticos, é então fundamental analisar as restrições de precedências existentes entre as várias operações e, para isto, pode recorrer-se a um diagrama de precedências que tem como principal objetivo facilitar a visualização das mesmas. Inevitavelmente, certas condicionantes físicas e tecnológicas dos produtos não permitem que algumas operações sejam executadas primeiro que outras e, neste sentido, a ferramenta ilustrada na Figura 8 permite perceber facilmente as precedências a cumprir. De forma sucinta, o gráfico de precedências consiste no uso de nós (representados por círculos) para cada operação do processo, contém ainda informação relativa ao tempo de cada operação (ilustrado no exterior do nó) e, por último, as setas que correspondem à precedência obrigatória entre as operações.

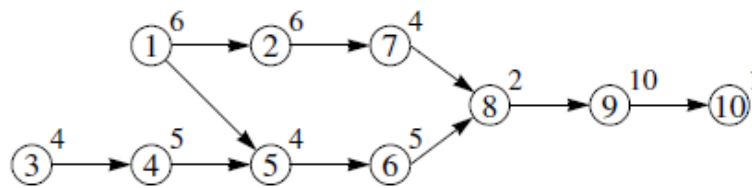


Figura 8 – Exemplo de um gráfico de precedências
(Becker & Scholl, 2006)

Por fim, para verificar se foi elaborado um correto balanceamento é importante certificar que nenhuma precedência foi desrespeitada e que o tempo de ciclo de cada posto de trabalho é o mais próximo possível do TT, sem nunca o exceder (Boysen et al., 2007). O Índice de Planura vem auxiliar neste sentido, uma vez que mede a similaridade da distribuição do conteúdo de trabalho pelos vários postos do sistema. Assim, matematicamente, quanto mais próximo de zero, melhor balanceado se encontra o sistema de produção, onde menor são os desvios de tempo de ciclo entre os postos de trabalho. Este indicador calcula-se a partir da Equação 2.

$$\text{Índice de Planura} = \sqrt{\sum (TC \text{ do Sistema} - TC \text{ dos postos de trabalho})^2}$$

Equação 2 – Fórmula referente ao Índice de Planura

2.2.2.4 Organização intracelular e controlo de cada célula

No quarto passo organizam-se as máquinas e os equipamentos e coordenam-se os operadores de modo a obter o arranjo mais adequado que possibilite a produção de artigos na quantidade e qualidade requeridas ao custo mais baixo e com o mínimo de movimentações. Assim, nesta atividade, são tidos em consideração os seguintes pontos: definição da implantação intracelular, seleção do modo operativo, reorganização dos postos, lançamento dos produtos individualmente (peça a peça) ou em lote e definição do tipo de abastecimento dos materiais. Para o sequenciamentos dos artigos, tal como já descrito na

secção 2.1.2.1, deve ter-se em consideração o *one piece flow*, ou fluxo unitário, uma vez que é um dos princípios intrínsecos à produção JIT.

A implementação intracelular diz respeito ao *layout* da célula, independentemente do seu formato ser em linha, em U ou W, tem como principal objetivo minimizar as distâncias percorridas. Após conhecida a forma do *layout*, são definidos os modos operatórios. Alves (2018) enfatiza cinco modos operatórios, sendo eles:

1. **Working Balance** – o trabalho é distribuído de forma balanceada e cada colaborador tem uma área específica diferente do seu colega e, por isso, cada um é responsável pelo processo da sua zona. Neste sentido, este modo operatório revela algumas limitações, nomeadamente a reduzida polivalência dos trabalhadores.
2. **Toyota Sewing System** – os colaboradores não possuem uma área de trabalho fixa e, por este motivo, quando o operador não tem o produto, move-se até o encontrar. Assim, são promovidas diversas características importantes como trabalho em equipa, entreajuda, responsabilidade e autonomia.
3. **Baton-touch** – este modo operatório apresenta semelhanças com o *Toyota Sewing System*, contudo aqui os operadores podem cruzar a célula, podendo o mesmo colaborador fazer a primeira e a última operação do produto. Para além disto, a existência de um operador com menor ocupação proporciona-lhe a alocação de outras operações, como atividades de abastecimento, substituição de outros operadores, preenchimento de documentação, entre outros.
4. **Bucket-brigades** – os colaboradores são distribuídos do mais lento para o mais rápido, pelo que se regem pela simples regra de levarem o seu trabalho o mais longe possível para poderem ir ao encontro dos colaboradores mais lentos. Neste sentido, é possível equilibrar o balanceamento do sistema. Apenas é avaliada a velocidade dos operadores, negligenciando as outras medidas, sendo esta uma das principais desvantagens deste método.
5. **Rabbit chase** – para este modo operatório a polivalência é um requisito de todos os operadores, uma vez que cada um tem a responsabilidade de percorrer todo o processo de fabrico com o mesmo produto desde início até ao fim. A capacidade produtiva é definida pelo número de trabalhadores existentes e o ritmo é determinado pelo operador mais lento.

Para além destes, salienta-se o tipo de célula designada célula *chaku-chaku* onde um único operador está encarregue de carregar e descarregar as máquinas. A aplicação da solução mais adequada permitirá

eliminar transportes e movimentações desnecessários e, deste modo, incrementar o desempenho da célula.

Outro aspeto a salientar são as folhas de trabalho normalizado, descritas na secção 2.1.6, uma vez que a execução das operações deve ser o mais detalhada possível por forma a minimizar a variabilidade criada pela existência de diferentes operadores.

2.2.2.5 Arranjo integrado das células para a formação do SPOP

Por fim, no quinto passo, é seleccionado o tipo de implementação intercelular (como, por exemplo, rede de células, linhas paralelas, células em cascata, *spine* linear, X e T, entre outras) visto que um dos objetivos passa por eliminar/reduzir os transportes e movimentações. Neste sentido, é definido o modo de relacionamento entre células/linhas. De seguida, é escolhido o tipo de sistema de manuseamento de material intercelular, como por exemplo, sistemas manuais (por exemplo, carinhos de rodas, etc.), sistemas mecanizados (por exemplo, comboios logísticos, empilhadores, etc.), *Automated Guided Vehicle Systems* (AGVS), entre outros.

A coordenação do SPOP é outro aspeto importante a ter em consideração e, por isso, é fundamental providenciar um sistema de controlo da atividade de produção. Existem três tipos de sistemas: sistemas do paradigma do tipo *pull*, sistemas do paradigma do tipo *push* e ainda sistemas híbridos (*push-pull*). Recorrendo à abordagem *Lean Production*, deve dar-se primazia à implementação da produção puxada (*pull*), pelas razões já descritas na secção 2.1.2.1, aplicando, como por exemplo, o sistema de controlo *pull-kanban*.

2.2.3 Indicadores de desempenho

Esta secção aborda os indicadores de desempenho descritos na Tabela 2, uma vez que estes se revelam imprescindíveis para avaliar e monitorizar o comportamento dos sistemas produtivos ao longo do tempo.

Tabela 2 – Indicadores de desempenho

Indicador de desempenho	Descrição	Fórmula de cálculo
<i>Takt Time</i> (TT)	Indica o ritmo produtivo necessário para satisfazer a procura do cliente.	<i>Takt Time</i> = $\frac{\text{Tempo operativo planeado por dia}}{\text{Procura por dia}}$ (seg)
Taxa de produção	Indica a velocidade de processamento com que uma máquina, posto de trabalho ou sistema fornece produtos.	<i>Taxa de produção</i> = $\frac{\text{Produção diária}}{\text{Tempo diário disponível}}$ (uni/h)
Produtividade	Mede a eficiência de utilização dos fatores de produção, podendo ser representada pela razão entre a quantidade de produtos produzidos e a quantidade de recursos necessários para tal. O indicador mão de obra é o mais utilizado.	<i>Produtividade</i> = $\frac{\text{Produção diária}}{\text{Tempo diário disponível} \times n^{\circ} \text{ de operadores}}$ (uni/hora.Homem)
Eficiência	Avalia a utilização de uma linha de produção.	<i>Eficiência</i> = $\frac{\sum T_{\text{processamento}}}{TC \text{ do sistema} \times n^{\circ} PT} \times 100$ (%)
<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (OEE)	Indicador da eficiência na utilização dos equipamentos de um sistema de produção.	<i>OEE</i> = Disponibilidade × Velocidade × Qualidade
<i>Overall Effectiveness</i> (OE)	Indicador utilizado pela APTIV para medir o desempenho do processo produtivo. Indica a relação entre o tempo esperado de produção de uma determinada quantidade de artigos e o tempo real de produção necessário. O objetivo é ter uma monitorização contínua dos valores de OE para perceber eventuais discrepâncias entre turnos e/ou identificar causas que contribuam para o valor abaixo do <i>trigger</i> definido. Assim, é possível atuar e introduzir pequenas melhorias no processo produtivo ao longo do tempo.	<i>OE</i> = $\frac{\text{Tempo de ciclo} \times \text{Quantidade produzida}}{\text{Tempo real de produção}} \times 100$ (%)
<i>First Time Quality</i> (FTQ)	Indicador utilizado pela APTIV que representa a razão entre o número de aparelhos rejeitados e a quantidade total de aparelhos produzidos.	<i>FTQ</i> = $\frac{\text{Quantidade de produtos não conformes}}{\text{Quantidade total produzida}} \times 10^6$ (ppm)
Capacidade	Indica a disponibilidade das linhas de produção.	<i>Capacidade disponível</i> = Tempo do turno × N^o de turnos (seg) <i>Capacidade efetiva</i> = Capacidade disponível – Paragens planeadas <i>Capacidade realizada</i> = Capacidade efetiva – Paragens não planeadas Ou <i>Capacidade realizada</i> = Capacidade efetiva × OE <i>Capacidade esperada</i> = Tempo de ciclo × Produção diária <i>Utilização do sistema</i> = $\frac{\text{Capacidade esperada}}{\text{Capacidade realizada}} \times 100$

3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é feita uma breve apresentação da empresa APTIV uma vez que este projeto de dissertação decorreu nas instalações da mesma. Primeiramente, é feita uma contextualização do Grupo APTIV a nível global, uma explicação da sua origem e, partindo para uma visão mais nacional, é feito um enquadramento da empresa no território português. De seguida, são apresentados os principais clientes e produtos e, por fim, descritas, superficialmente, as áreas produtivas que constituem a fábrica de Braga.

3.1 Grupo APTIV

A APTIV é uma empresa multinacional cuja missão passa por promover soluções tecnológicas mais seguras, ecológicas e conectadas para veículos automóveis, contribuindo para o futuro da mobilidade global. A médio-longo prazo pretende ser o parceiro de escolha dos seus clientes e fornecer aos acionistas resultados superiores. Ambiciona conceber o cérebro e sistema nervoso do veículo, onde veículos autónomos e cidades inteligentes farão parte da nova geração de segurança ativa. Assim, define um conjunto de seis valores para fazer jus à missão e objetivos estabelecidos, sendo eles: “jogar para vencer”, “uma equipa”, “pensar e agir como proprietários”, “agir com sentido de urgência”, “paixão de resultados” e “operar com respeito”.

Esta líder global da tecnologia marca presença em 44 países e tem ao seu cuidado mais de 160 000 colaboradores distribuídos por 126 fábricas e 12 centros de desenvolvimento tecnológico por todo o mundo (Figura 9). A sua sede localiza-se em Dublin, na Irlanda, apesar de ter surgido nos Estados Unidos da América e, por esta razão, é intitulada empresa multinacional americana. Oferece recursos de *software* e plataformas de computação avançadas que têm como objetivo principal contribuir para a mobilidade. Deste modo, focada no desenvolvimento de tecnologias para a indústria automóvel, dedica-se à produção de componentes eletrónicos.



Figura 9 – Grupo APTIV no mundo

A empresa APTIV apareceu em 2017 em virtude da divisão das áreas de negócio do Grupo Delphi Automotive, que resultou em duas empresas distintas: APTIV e Delphi Technologies. A primeira ficou responsável pelas áreas de *Infotainment & User Experience* e *Connectivity & Security*, enquanto que a segunda ficou encarregue pela área *Powertrain* que se foca no desenvolvimento de sistemas de propulsão avançada de automóveis.

Em Portugal, a APTIV situa-se em três cidades (Braga, Castelo Branco e Lumiar) – Figura 10. Por um lado, as cidades de Braga e Castelo Branco dizem respeito a unidades produtivas e, por isso, dedicam-se à produção de componentes elétricos. Por outro lado, no Lumiar existe um centro de desenvolvimento tecnológico de excelência.



Figura 10 – APTIV em Portugal

3.2 APTIV Braga

A fábrica de Braga, apesar de inaugurada em dezembro de 2017 com o nome APTIV, conta uma história desde 1965. Na altura intitulada de Grundig, em homenagem ao seu fundador Max Grundig, dava primazia à produção de autorrádios, sistemas de áudio, dispositivos *HiFi*, televisões, telefones, entre outros produtos.

Atualmente, dedica-se, em geral, à produção de componentes para automóveis e é constituída por 924 colaboradores. Este complexo industrial encontra-se dividido em quatro edifícios, tal como é possível verificar na Figura 11, perfazendo uma área total de 32 921m².



Figura 11 – Complexo produtivo de Braga

Sinteticamente, o Edifício 1 é responsável pela inserção de componentes eletrónicos e pela montagem final dos rádios e o Edifício 2 está encarregue da produção de componentes plásticos, da montagem final de módulos controladores e de alguns rádios mais antigos. Sendo que o Edifício 2 abarca ainda o armazém de produto acabado. O Edifício 3 é um armazém que contém embalagens de cartão, que acondicionam o produto final, e caixas de *repacking* (caixas especiais onde são colocados os materiais provenientes dos fornecedores) e, por último, no Edifício 4 está instalado um centro técnico de investigação e desenvolvimento de produtos.

3.2.1 Principais produtos e clientes

No complexo produtivo de Braga, a APTIV produz uma grande diversidade de produtos que se caracterizam pela sua elevada e avançada tecnologia, bem como estrutura complexa. Neste sentido, classificam-se maioritariamente em quatro categorias, sendo elas: rádios, sistemas de navegação, *displays* e módulos controladores, como é possível verificar pela Figura 12.

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

Figura 12 – Portfólio de produtos APTIV Braga

Como clientes destacam-se algumas marcas reconhecidas mundialmente na área da indústria automóvel, tais como o grupo PSA – Peugeot e Citroen, Audi, Porsche, Fiat, Jaguar, entre outros representados na Figura 13.



Figura 13 – Principais clientes APTIV

3.2.2 Descrição geral do sistema produtivo

A empresa APTIV Braga é constituída por duas áreas produtivas, onde alguns produtos fabricados no complexo produtivo do Edifício 1 seguem para o Edifício 2 com o propósito de completar o seu processo de montagem. Assim, nesta secção é feita uma breve explicação das mesmas.

3.2.2.1 Área Produtiva Edifício 1

A área produtiva do Edifício 1 está dividida em três áreas principais, sendo elas: área de *Surface Mount Technology* (SMT), se a montagem desses componentes eletrónicos for automática, área de *Circuit Board Assembly* (CBA), se a montagem for manual, e área de montagem final designada *Final Assembly* (FA). A Figura 14 ilustra as áreas mencionadas que são brevemente explicadas nas secções seguintes.

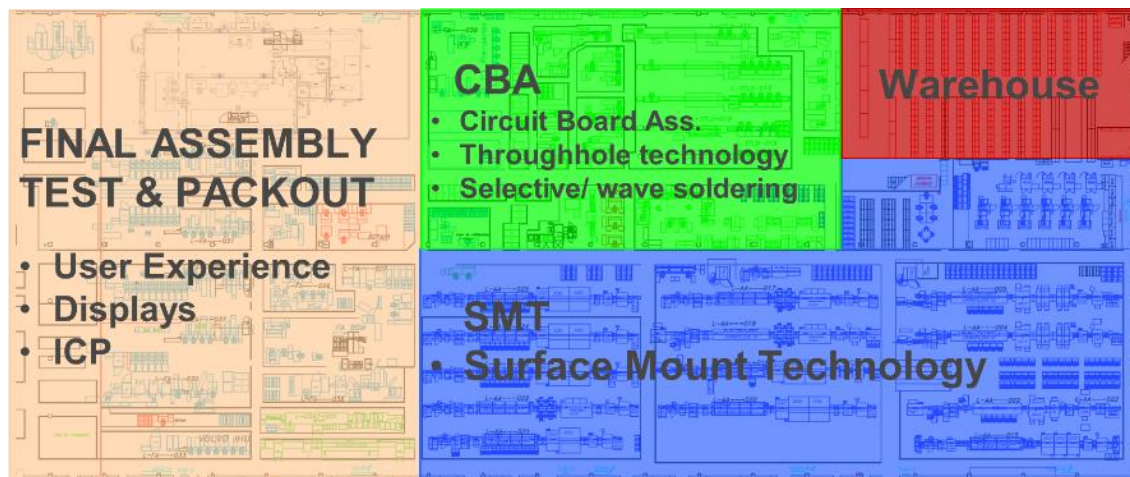


Figura 14 – Layout do Edifício 1

3.2.2.1.1 Surface Mount Technology (SMT)

O processo produtivo começa na área de SMT que se caracteriza pela montagem automática de componentes eletrônicos. Alguns *Integrated Circuits* (IC) requerem programação nas linhas *Offline Programming* para serem posteriormente inseridos nas placas eletrônicas virgens designadas *Printed Circuit Boards* (PCB). Após a programação dos IC, nasce a rastreabilidade dos PCB ao longo de todo o processo produtivo, através da gravação a laser dos códigos *Quick Response Code* (QRC) nas máquinas *Laser Marking*.

Uma vez gravados os QRC, os PCB seguem para as máquinas DEK onde é colocada pasta de solda nos *pads* (sítios específicos) do PCB. Após este processo, é necessário verificar se a solda está corretamente aplicada e, por isso, antes da inserção de componentes, os PCB passam pela *Solder Paste Inspection* (SPI). Finalizado este passo com sucesso, a próxima etapa ocorre nas máquinas *Pick&Place* (P&P) onde são introduzidos os componentes eletrônicos (transistores, condensadores, conetores, resistências, díodos, etc.) nos PCB, incluindo os IC programados. De seguida, as placas vão para a estufa para os componentes serem soldados ao PCB e, por fim, são direcionadas para a *Automated Optical Inspection* (AOI) com o propósito de se verificar a qualidade e a correta colocação dos componentes soldados. Após o sucesso desta operação, as placas são colocadas em *containers* para avançarem para os processos seguintes. As etapas descritas anteriormente encontram-se sintetizadas na Figura 15.

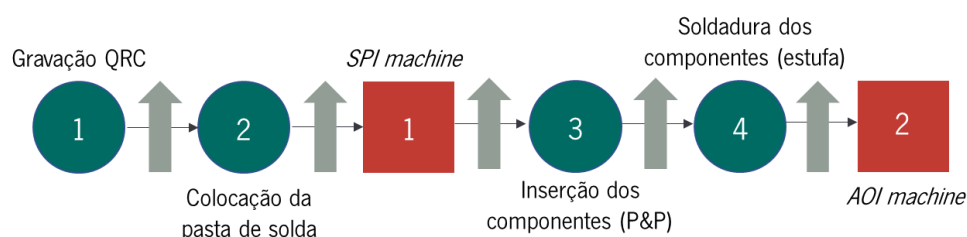


Figura 15 – Fluxograma área de SMT

3.2.2.1.2 Circuit Board Assembly (CBA)

Uma vez realizada a montagem automática em SMT, algumas placas seguem para a montagem manual dos componentes na área de CBA. Tendo em conta a maior dimensão destes componentes e a particularidade de terem de atravessar a placa de um lado ao outro, por esta razão designados *Pin Through Hole* (PTH), não é possível que estes sejam colocados nas linhas de SMT.

A primeira etapa consiste na separação das placas e, consoante o tipo de placa, seguem para um destes três processos: (1) *Milling* – realizado nas fresas; (2) *Blade Singulation* – as máquinas singuladoras eliminam os excessos de placa, designados *arrays* que servem para dar suporte às placas principais provenientes da área de SMT; (3) *Punching* – processo que consiste em separar as placas com a mão.

Após a singulação, algumas placas são conduzidas para a linha de *Sticklead* onde são sujeitas a quatro operações, sendo elas: colocação manual de componentes, fixação mecânica (também chamada *clinch*), soldadura por onda e, por último, inspeção visual às placas que permite inspecionar a conformidade quer da montagem quer da soldadura.

Para além disto, existe uma zona de *sub-assembly* onde se realiza a pré-montagem de componentes referentes a determinados modelos e ainda uma zona com máquinas de *Coating* cuja função passa por colocar uma camada líquida protetora que, quando seca, protege as placas contra vários fatores, nomeadamente variações de humidade e temperatura.

Por último, encontra-se também a área dos *In Circuit Test* (ICT) onde são realizados testes elétricos com o propósito de verificar a existência de curto-circuitos nas placas. A Figura 16 sumariza o fluxo produtivo da área de CBA.

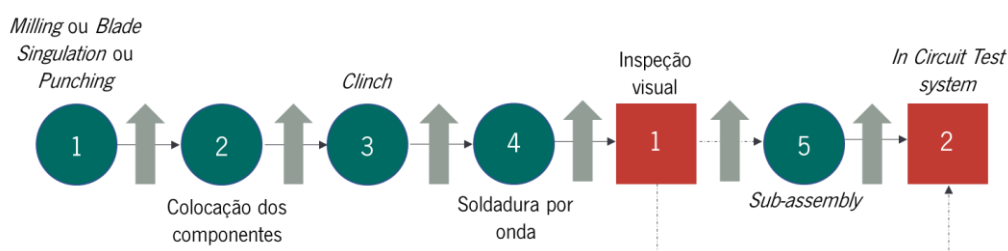


Figura 16 – Fluxograma da área de CBA

3.2.2.1.3 Final Assembly (FA)

A última área diz respeito à montagem final que tanto pode ocorrer no Edifício 1 como no Edifício 2, dependendo do tipo de produto. Nas zonas de montagem final são montados os vários materiais nas placas eletrónicas que permitem dar forma ao produto final.

Após a montagem, os produtos finais são encaminhados para a zona de testes para ser verificada a qualidade do aparelho. Caso não se verifique nenhum defeito, o produto é embalado e armazenado no local específico.

3.2.2.2 Área Produtiva Edifício 2

O Edifício 2 encontra-se dividido em três áreas, nomeadamente a área de *Infotainment Final Assembling*, onde foi desenvolvido o projeto, *Connectivity & Security* que diz respeito à produção de módulos eletrónicos e *Plastic Production* associada à produção de componentes plásticos, conforme representado na Figura 17.

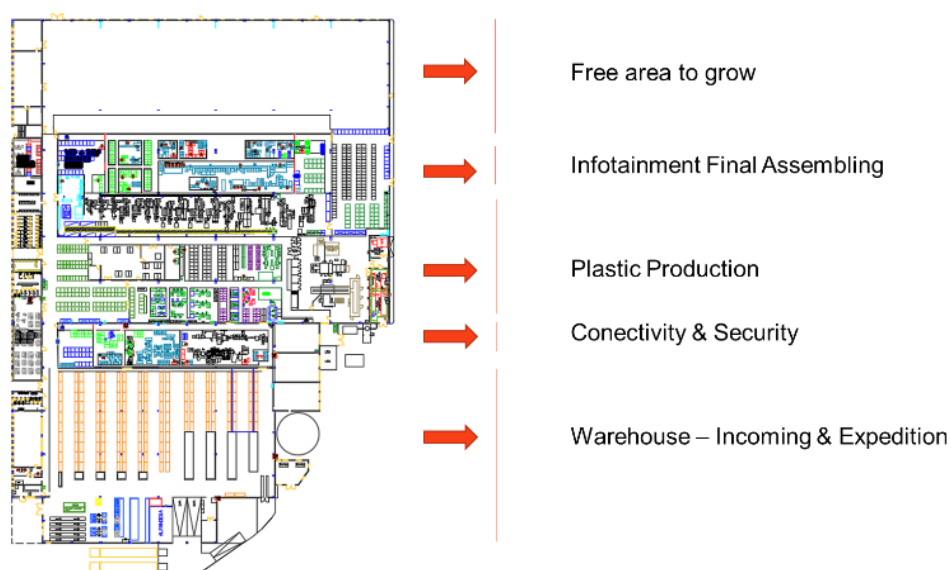


Figura 17 – *Layout* do Edifício 2

3.2.2.2.1 *Conectivity & Security*

Esta área produtiva dedica-se à produção de módulos eletrónicos mais recentes, sendo a sua estrutura formada por duas placas, uma placa eletrónica e uma placa *Power*. A placa eletrónica inicia o seu processo produtivo no Edifício 1 onde passa pelos processos de SMT e ICT. Quando dá entrada no Edifício 2 passa pelos processos de programação, limpeza e, posteriormente, *coating*. De seguida, as duas placas são unidas através de um processo designado *press-fit*, a partir do qual seguem para a montagem do *housing*. Após montados e etiquetados, os módulos são sujeitos a um teste funcional e um de programação. Segue-se um teste de visão na *Customer Mechanical Interface* (CMI) e, por fim, o módulo é embalado e armazenado. A Figura 18 ilustra sumariamente o fluxo produtivo da área *Conectivity & Security*.

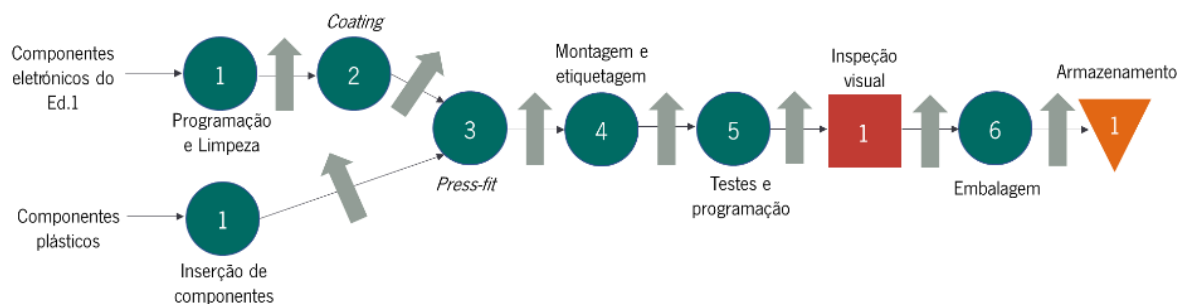


Figura 18 – Fluxograma da área *Connectivity & Security*

3.2.2.2.2 Plastic Production

A área produtiva dos plásticos destina-se à produção de componentes plásticos, tais como blendas, botões, teclas entre outros, que integram os produtos finais em conjunto com os componentes eletrónicos. Esta área é constituída pelas seguintes três zonas: Injeção, Pintura e Montagem Final.

O processo produtivo inicia-se com a injeção onde a matéria-prima (granulados e resinas plásticas) ganha forma a partir do molde utilizado. Após esta etapa, algumas peças são direcionadas para a pintura. Este processo inicia-se com a colocação das mesmas em *jigs* (base de suporte específica que permite a correta colocação das peças). De seguida, é feita uma limpeza que permite eliminar impurezas e sujidades capazes de comprometer a qualidade da pintura.

Terminado este processo, todas as peças são inspecionadas visualmente e, caso não apresentem defeitos, são direcionadas para a montagem final. Todavia, consoante determinadas especificações dos clientes, algumas peças, antes da montagem final, efetuam gravação a laser e/ou *Pad Print* de elementos particulares (ou tampografia que consiste na estampagem de símbolos). Tal como anteriormente, é feita uma inspeção visual aos produtos antes de prosseguirem para a etapa final.

Assim, na área da montagem final, decorre a montagem manual de blendas e botões e, por fim, o produto final é distribuído pelas áreas de produção do Edifício 1 e 2.

Na Figura 19 encontra-se sinteticamente representado o fluxo produtivo da área de Componentes Plásticos.

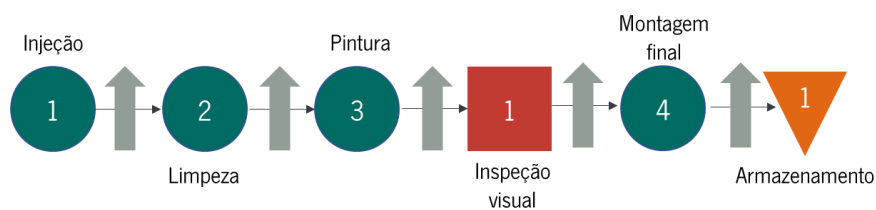


Figura 19 – Fluxograma da área *Plastic Production*

3.2.2.2.3 Infotainment Final Assembly

A área de montagem final do Edifício 2 é constituída por várias zonas, nomeadamente a linha de montagem final dos rádios, onde incidiu este projeto de dissertação, as zonas de pré-montagem de mecanismos e blendas, a zona de produção de módulos eletrónicos mais antigos e ainda uma pequena área dedicada à montagem de chaves designada *keyfobs*.

Relativamente à linha de montagem final, são realizadas várias operações de aparafusamento e montagem para dar forma ao produto final e, por isso, as placas eletrónicas, provenientes do Edifício 1, e os componentes plásticos, vindos da área ao lado, constituem os principais *inputs*. Finalizada a montagem, o rádio é sujeito a uma série de testes mecânicos e elétricos para garantir a qualidade do produto, passando ainda pelos testes de programação. Caso o produto não apresente defeitos, segue-se a embalagem e o armazenamento do mesmo (Figura 20).

Quanto aos módulos eletrónicos, apesar de mais antigos, a sua estrutura é semelhante à descrita anteriormente e, por isso, são também formados por duas placas, uma eletrónica e outra *Power*. O processo inicia-se, para a primeira, com a colocação de fusíveis e, para a segunda, com o processo de *Potting*. Este consiste na colocação de um composto líquido e espesso sobre a placa, concedendo-lhe maior proteção e resistência. Uma vez terminada esta etapa inicial, as duas placas são juntas para darem origem a um único módulo. Por fim, é programado, testado e etiquetado e, caso não apresente defeitos, procede-se ao embalamento do produto final.

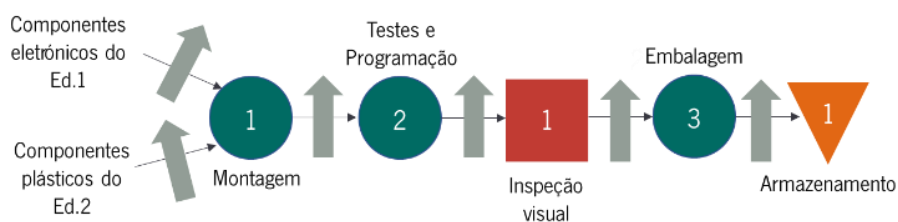


Figura 20 – Fluxograma da *Infotainment Final Assembly*

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE CRÍTICA DA SITUAÇÃO ATUAL

Este capítulo descreve a situação atual da linha de montagem final da área de *Infotainment*, espaço indicado pela empresa para ser intervencionado. Primeiramente, são apresentados os produtos finais e os materiais que os constituem e, de seguida, são descritos os fluxos de materiais e pessoas e é explicado o processo produtivo. Após conhecidas e compreendidas as condições atuais, através da classificação ABC, medição de tempos, gráficos de sequência e cálculo do TT, são identificados os problemas.

4.1 Descrição da linha de montagem final

Esta secção apresenta a linha de montagem final, ilustrada na Figura 21, os produtos acabados nela produzidos, a lista de materiais que compõe estes produtos e ainda os respetivos fluxos produtivos, bem como a explicação da função de cada posto de trabalho. Estes dados e informações foram recolhidos com base em documentação existente e interação com os colaboradores da fábrica.



Figura 21 – Linha de montagem final

4.1.1 Produtos da linha de montagem final

Na linha de montagem final em estudo são produzidos seis tipos de produtos diferentes, ilustrados na Tabela 3, realçando que, por uma questão de confidencialidade de dados, os rádios serão representados por uma letra e não pelo seu nome real. As maiores diferenças residem no aspeto visual dos principais constituintes de cada rádio, com especial ênfase na blenda (parte frontal do rádio que fica visível no automóvel) e em alguns componentes colocados aquando do seu processo de montagem final.

Tabela 3 – Rádios produzidos na linha de montagem final

Modelo	Foto do modelo de rádio
A	
B	
C	
D	
E	
F	

Apesar da variedade de rádios produzidos na linha, a sua estrutura principal pode ser definida pelos seguintes quatro artigos: placa principal, caixilho e tampas inferior e superior. Na Tabela 4 estão listados, em forma de *Bill of Materials* (BOM), todos os componentes e materiais que constituem os rádios.

Tabela 4 – Lista dos componentes dos rádios

Nível	Descrição	Unidade	Qtd	Embalagem de abastecimento	Modelo	Foto
0	Rádio	Peça	1	-	-	-
.1	Placa Principal	Peça	1	Tabuleiro 45x45cm 4cav	Todos	
..2	<i>Gap Pad</i>	Peça	1	Caixa 25x15x12cm	A,B,C	
.1	Suporte do condensador	Peça	1	Caixa 20x15x12cm	A,B,C	

Nível	Descrição	Unidade	Qtd	Embalagem de abastecimento	Modelo	Foto
.1	Caixilho	Peça	1	Rampa 165x16cm	Todos	
..2	Parafuso Tipo A	Peça	1	Caixa 12x10x8cm	A,B,C	
..2	Parafuso Tipo D	Peça	2	Caixa 12x10x8cm	D,E	
			4		F	
..2	Mola de montagem	Peça	2	Caixa 40x30x18cm	D,E,F	
...3	Parafuso Tipo C	Peça	2	Caixa 12x10x8cm	D,E,F	
..2	<i>Pivot</i>	Peça	1	Caixa 20x15x10cm	D,E,F	
..2	<i>Bullet</i>	Peça	1	Caixa 20x15x10cm	A,B,C	
..2	Chapa de refrigeração	Peça	1	Caixa 25x15x12cm	D,E,F	
...3	Parafuso Tipo D	Peça	3	Caixa 12x10x8cm	D,E,F	
...3	Massa <i>T-Grease</i>	g	0,525	Dispensador	D,E,F	-
.1	Tampa inferior	Peça	1	Caixa 20x20x20cm	Todos	
..2	Parafuso Tipo A	Peça	5	Caixa 12x10x8cm	A,B,C	
..2	Parafuso Tipo D	Peça	1	Caixa 12x10x8cm	D,E,F	
..2	Parafuso Tipo E	Peça	2	Caixa 12x10x8cm	F	
.1	Tampa superior	Peça	1	Caixa 40x30x20cm	Todos	
..2	Parafuso Tipo A	Peça	4	Caixa 12x10x8cm	A,B,C	
..2	Massa <i>T-Grease</i>	g	3,200	Dispensador	F	-
.1	Blenda	Peça	1	Tabuleiro 40x30cm 3cav	A,B	
				Tabuleiro 60x40cm 3cav	C	
				Tabuleiro 40x30cm 4cav	D,E,F	
..2	Parafuso Tipo B	Peça	3	Caixa 12x10x8cm	C	
.1	Mecanismo	Peça	1	Tabuleiro 49x41cm 4cav	D,E	
..2	Parafuso Tipo D	Peça	4	Caixa 12x10x8cm	D,E	
.1	Etiqueta final	Peça	1	-	Todos	
.1	Etiqueta intermédia	Peça	1	-	Todos	

Nível	Descrição	Unidade	Qtd	Embalagem de abastecimento	Modelo	Foto
.1	Passaporte	Peça	1	-	A,B,C	
.1	Selo de garantia	Peça	1	-	A,B	
.1	<i>Sleeve mounting</i>	Peça		Caixa 40x30x20cm	D,E,F	
.1	Arco desmontagem	Peça	1	Caixa 40x30x16cm	F	

4.1.2 Fluxo de materiais e postos de trabalho

Alguns componentes utilizados pela linha de montagem final requerem pré-montagens em áreas específicas perto da linha em estudo e, por isso, esta secção dedica-se à descrição do fluxo produtivo dos produtos finais, fazendo referência aos respetivos postos de trabalhos. Neste sentido, através do *layout*, são representados os diferentes percursos dos vários rádios, por ordem sequencial, desde o local onde se encontram armazenados os diversos componentes até à linha de montagem final. De realçar que todas as movimentações feitas entre os diferentes postos de trabalho estão a cargo da equipa de *Planning Control & Logistics* (PC&L).

Para melhor compreensão e explicação do fluxo produtivo dos rádios, foi possível agrupá-los em três categorias, em virtude das suas características, materiais, operações e tarefas semelhantes. Assim, a primeira categoria diz respeito aos rádios A, B e C, a segunda aos modelos D e E e a terceira compreende o modelo F. A Figura 22 sintetiza o fluxo produtivo de todos os modelos dos rádios.

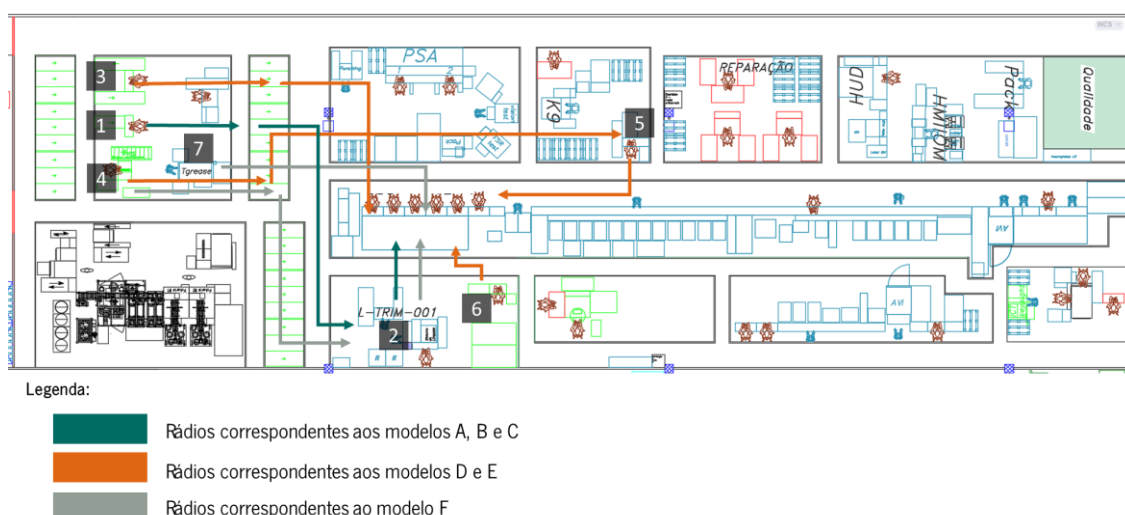


Figura 22 – Fluxo produtivo de todos os modelos de rádios

Relativamente ao fluxo produtivo dos modelos A, B e C, primeiramente, as placas de serviço provenientes do *buffer* intermédio são encaminhadas para o posto (1) onde o *display* é montado com a placa de

serviço. Depois, este semiacabado, denominado “serviços”, é armazenado no *buffer*. De seguida, seguem para o *sub-assembly* de blendas 1 (2) para serem inseridos nas respetivas blendas que, posteriormente, abastecem a linha de montagem final. As placas principais saem do *buffer* intermédio e são abastecidas diretamente na linha.

O fluxo produtivo dos rádios D e E possuiu atividades que decorrem em paralelo. No posto (3) são montados os mecanismos, correspondentes aos leitores de CD, e armazenados no *buffer* intermédio. As placas de serviço são cortadas no posto de trabalho da singulação (4) e seguem para o *buffer* intermédio para depois serem abastecidas no *sub-assembly* de blendas 2 (5) onde são aparafusadas à respetiva blenda e, assim, prontas para seguirem para a linha de montagem final. As placas principais encontram-se no *buffer* para serem consumidas diretamente pela linha de montagem final e no posto de trabalho (6) são colocados um material isolante e um protetor contra poeiras na tampa inferior e no caixilho, respetivamente, antes de seguirem para a linha.

Por fim, o fluxo produtivo do rádio correspondente ao modelo F, começa no posto de trabalho (7) onde é colocada uma massa designada *T-Grease* na tampa superior correspondente a este produto final, antes de seguir para a linha de montagem final. As placas de serviço do *buffer* seguem para o posto da singulação (4) para serem cortadas. De seguida, são colocadas no *buffer* intermédio para serem utilizadas pelo *sub-assembly* de blendas 1 (2). Por fim, abastecem a linha de montagem final e as placas principais são colocadas diretamente na linha.

A linha de montagem final, cujo *layout* se encontra representado na Figura 23, ocupa uma área total de, aproximadamente, 144m². Os seis postos de trabalho iniciais, as doze máquinas de testes objetivo elétrico e as seis máquinas de testes de programação são os principais contribuidores para o elevado comprimento da linha.

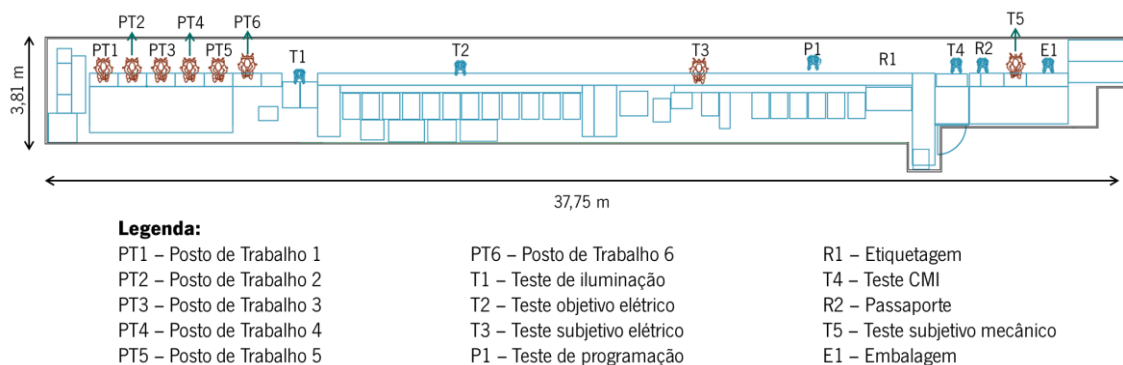


Figura 23 – *Layout* da linha de montagem final

Atualmente, é uma linha que conta com o trabalho de treze operadores distribuídos pela forma representada na Tabela 5. Esta tabela compreende ainda o tipo de equipamentos existente em cada posto de trabalho para cada produto. Os dispositivos específicos de cada modelo, que garantem a versatilidade e flexibilidade da linha, encontram-se representados no Anexo 1.

Tabela 5 – Tipo e número de equipamentos de cada posto de trabalho e distribuição dos operadores da linha de montagem final

		Equipamentos								Número de operadores	
Modelo	Posto	A,B		C		D,E		F		A,B,C	D,E,F
PT1	1	Disp.ABC.01	1	Disp.ABC.01	1	Disp.DE.01	1	Disp.F.01	1	1	
			2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora			
PT2	1	Disp.ABC.02	1	Disp.ABC.02	1	Disp.DE.02	1	Disp.F.02	1	1	
	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora			
PT3	3	Impressora	3	Impressora	3	Impressora	3	Impressora	1	1	
	1	Disp.AB.03	1	Disp.C.03	1	Disp.DE.03	1	Disp.F.03			
PT4	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora			2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	1
	1	Disp.ABC.04	1	Disp.ABC.04	1	Disp.DEF.04	1	Disp.DEF.04			
PT5	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	1	1	
	1	Disp.ABC.05	1	Disp.ABC.05	1	Disp.DEF.05	1	Disp.DEF.05			
PT6	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	2	Aparafusadora	1	1	
	1	Disp.ABC.06	1	Disp.ABC.06	1	Disp.DEF.06	1	Disp.DEF.06			
T1	2 máquinas de teste								1	1	
T2	12 máquinas de teste								1	1	
T3	2 máquinas de teste								1	1	
P1	6 máquinas de teste								0,5	0,5	
R1	1 impressora								0,5	0,5	
T4	1 máquina de teste								0,5	1	
R2	1 impressora				-				0,5	-	
T5	1 máquina de teste								1	1	
E1	1 scanner de leitura								1	1	
Total	-								13		

As seguintes secções pretendem descrever as tarefas e operações realizadas em cada posto de trabalho da linha, sendo que, para facilitar a explicação, continuou-se com o agrupamento dos modelos em três categorias definido anteriormente.

Primeiramente, são apresentados os seis primeiros postos de montagem manual. De realçar que as operações são maioritariamente comuns a todos os modelos de rádios, contudo existem algumas diferenças nomeadamente na ordem de montagem. De seguida, são descritos os postos referentes aos testes onde estão incluídos a etiquetagem e embalagem.

4.1.2.1 Posto de Trabalho de montagem manual 1

A linha de montagem final tem início no posto de trabalho 1. Este posto é caracterizado pelas operações de montagem da placa principal com o caixilho e da tampa superior, com exceção do modelo F. De notar que a tarefa “Inserir *bullet* com aparafusadora” é exclusiva do modelo C neste posto, pois os modelos A e B apenas realizam esta operação no posto de trabalho 3. Para o modelo F são apenas inseridas e aparafusadas as duas molas de montagem no caixilho. Na Tabela 6 está representada a gama operatória de todos os modelos de uma forma mais esquemática e por ordem sequencial de acontecimentos.

Tabela 6 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 1 e dos produtos intermédios

Tabela 6 – Gama operacional, foto do posto de trabalho 1 e dos produtos intermédios						
PT	Modelo	Operação		Material	Foto	Produto intermédio
1	A, B, C	1	Colocar o <i>Gap Pad</i> no IC da placa principal	Placa principal		
		2	Inserir a placa principal no caixilho			
		3	Colocar a tampa inferior	Tampa inferior		
	C	4	Inserir a <i>bullet</i> com aparafusadora	<i>Bullet</i>		
	D, E	1	Inserir a placa principal no caixilho	Placa principal		
		2	Aparafusar 2x na placa principal			
		3	Colocar a tampa inferior	Tampa inferior		
	F	1	Pegar no caixilho	Caixilho		
		2	Inserir e aparafusar as molas de montagem 2x			

4.1.2.2 Posto de Trabalho de montagem manual 2

No posto de trabalho 2 são coladas as etiquetas intermédias de todos os modelos. Para além disto, para os modelos A, B e C são feitos dois aparafusamentos nas tampas inferiores. Nos rádios D e E são inseridas e aparafusadas as duas molas de montagem. A colocação da placa principal no caixilho é realizada neste posto para o modelo F. Na Tabela 7 está representada a gama operatória de todos os modelos.

Tabela 7 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 2 e dos produtos intermédios

PT	Modelo	Operação		Material	Foto	Produto intermédio
2	A, B, C	1	Aparafusar 2x na tampa inferior	Tampa inferior		
		2	Aparafusar 1x na caixa de ligação			
		3	Colar a etiqueta intermédia			
	D, E	1	Inserir e aparafusar as molas de montagem 2x	Molas de montagem		
		2	Colar a etiqueta intermédia			
	F	1	Inserir a placa principal no caixilho	Placa principal		
		2	Aparafusar 2x na placa principal			
		3	Colar a etiqueta intermédia			

4.1.2.3 Posto de Trabalho de montagem manual 3

O posto de trabalho 3 é caracterizado pela colocação das blendas dos modelos A, B e C (provenientes do *sub-assembly* de blendas 1). A tarefa “Inserir *bullet* com aparafusadora” ocorre neste posto somente para os modelos A e B, visto que o rádio C já a possui. Para os modelos D e E são colocados o *pivot* e o mecanismo. Nos rádios F são colocadas as tampas inferiores e é inserido o *pivot*. Na Tabela 8 está representada a gama operatória de todos os modelos.

Tabela 8 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 3 e dos produtos intermédios

Tabela 3 – Gama operacional, foto do posto de trabalho 3 e dos produtos intermédios											
PT	Modelo	Operação		Material	Foto	Produto intermédio					
3	A, B, C	1	Pegar na blenda e inseri-la no dispositivo	Blenda							
		2	Realizar o teste de visão à blenda								
		3	Pegar no aparelho e encaixá-lo na blenda								
	C	4	Aparafusar 3x na blenda	Bullet							
	A, B	4	Inserir a <i>bullet</i> com aparafusadora								
	D, E	1	Inserir o <i>pivot</i> com aparafusadora					Mecanismo			
		2	Colocar o mecanismo e ligar o cabo								
	F	1	Aparafusar 2x na placa principal	Tampa inferior							
		2	Colocar a tampa inferior								
3		Inserir o <i>pivot</i>									

4.1.2.4 Posto de Trabalho de montagem manual 4

O posto de trabalho 4 é responsável pelas tarefas de fecho das molas das placas principais, colocação dos suportes do condensador e operações de aparafusamento alocadas aos modelos A, B e C. Para os rádios D e E são colocados e aparafusados os mecanismos aos aparelhos (montados previamente no *sub-assembly* de mecanismos) e colocadas as tampas superiores. A colocação da tampa superior também é comum para o rádio F, todavia esta função em específico é previamente submetida a um processo de colocação de massa *T-Grease* num posto próprio para esta função. Na Tabela 9 está representada a gama operatória de todos os modelos.

Tabela 9 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 4 e dos produtos intermédios

PT	Modelo	Operação		Material	Foto	Produto intermédio
4	A, B, C	1	Fechar a mola do IC da placa principal	Suporte do condensador		
		2	Inserir o suporte do condensador			
		3	Aparafusar 2x na tampa inferior			
	D, E	1	Aparafusar 4x no mecanismo	Tampa superior		
		2	Colocar a tampa superior			
	F	1	Aparafusar 1x na tampa inferior			
		2	Colocar a tampa superior			

4.1.2.5 Posto de Trabalho de montagem manual 5

No posto de trabalho 5 são realizadas operações de aparafusamento para todos os modelos. Adicionalmente, por um lado, para os modelos A, B e C, são colocadas as tampas superiores e, por outro lado, para os restantes rádios (D, E e F), são inseridas as blendas. Para os modelos D e E as blendas provêm do *sub-assembly* de blendas 2, enquanto que para o modelo F são provenientes do *sub-assembly* de blendas 1. Na Tabela 10 está representada a gama operatória de todos os modelos.

Tabela 10 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 5 e dos produtos intermédios

PT	Modelo	Operação		Material	Foto	Produto intermédio
5	A, B, C	1	Colocar visto a confirmar suporte do condensador	Tampa superior		
		2	Inserir a tampa superior			
		3	Aparafusar 2x na tampa superior			
	D, E	1	Aparafusar 1x na tampa inferior	Blenda		
		2	Colocar a blenda no aparelho			
	F	1	Aparafusar 2x na tampa inferior			
		2	Colocar a blenda no aparelho			

4.1.2.6 Posto de Trabalho de montagem manual 6

O posto de trabalho 6 é caracterizado pelas operações de aparafusamento finais quer na tampa inferior quer na superior para os rádios que correspondem aos modelos A, B e C. Já para os produtos D, E e F é colocada a massa *T-Grease* na parte lateral do aparelho e, posteriormente, são aparafusadas as chapas de refrigeração. Na Tabela 11 está representada a gama operatória de todos os modelos.

Tabela 11 – Gama operatória, foto do posto de trabalho 6 e dos produtos intermédios

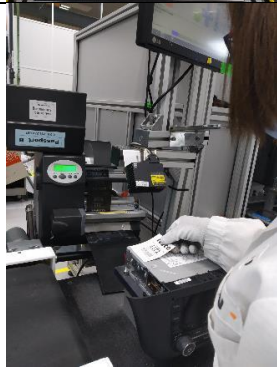
Tabela 11 – Ganha operacional, foto do posto de trabalho 6 e dos produtos intermédios							
PT	Modelo		Operação	Material	Foto	Produto intermédio	
6	A, B, C	1	Aparafusar 1x na tampa inferior	Parafusos			
		2	Aparafusar 2x na tampa superior				
	D, E	1	Colocar massa na base lateral do aparelho	Chapa de refrigeração			
		2	Inserir e aparafusar 3x na chapa de refrigeração				
	F	1	Colocar massa na base lateral do aparelho				
		2	Inserir e aparafusar 3x na chapa de refrigeração				

4.1.2.7 Postos de Trabalho dos Testes

Quando os rádios finalizam a sua montagem, saindo do posto de trabalho 6, são submetidos a um conjunto de testes com o propósito de ser verificada a sua funcionalidade e viabilidade. Assim, é possível verificar se existem problemas no funcionamento do rádio e defeitos quer no *display* da blenda, quer nos botões. Os produtos são testados uma vez, mas caso haja alguma falha, voltam a ser testados e aí, se falharem novamente, é que se procede à rejeição do rádio, colocando-o para a análise no local devidamente sinalizado. A Tabela 12 descreve resumidamente a função dos restantes postos de trabalho.

Tabela 12 – Descrição da função dos postos de trabalho referentes aos testes

Posto	Descrição	Foto
T1	O primeiro posto de trabalho da linha dos testes é responsável pela realização dos testes de iluminação. O colaborador coloca um rádio em cada máquina e aguarda pelo resultado. Aqui são testadas características como o bom funcionamento da luminosidade de teclas, botões e <i>display</i> . Além disto, é possível detetar defeitos a nível de impressão e, por vezes, sujidades no <i>display</i> chamados <i>dark spots</i> . Após terminado o tempo de teste, e estando o produto em conformidade, o aparelho é colocado no posto de trabalho seguinte.	
T2	O segundo posto tem como finalidade testar as funções elétricas do aparelho e, por isso, é designado “Teste Objetivo Elétrico”. Neste seguimento, são inseridos uma <i>Pen USB</i> ou um CD para serem testados o seu acesso e são sincronizadas as frequências AM e FM, bem como verificado o funcionamento do <i>bluetooth</i> . Existem doze máquinas de testes objetivos, alinhadas em paralelo.	
T3	No terceiro posto está inerente o teste “Subjetivo Elétrico” onde o colaborador, estando em interação com a máquina, realiza uma série de testes elétricos e mecânicos às teclas e botões do rádio. Ao mesmo tempo, também é feita uma inspeção visual às questões de luminosidade inerentes ao aparelho.	
P1	O quarto posto de trabalho diz respeito à “Programação” onde os rádios são submetidos ao registo de dados na sua memória consoante a marca e o modelo. Aqui, encontram-se alocadas seis máquinas de teste de programação.	

Posto	Descrição	Foto
R1	Na etiquetagem, o colaborador procede à colocação da etiqueta no produto, sendo que cada uma contém informações personalizadas da marca, modelo, número e local de fabrico.	
T4	A <i>Customer Mechanical Interface</i> (CMI) diz respeito à inspeção visual do rádio, sendo analisadas as partes superiores e laterais do aparelho. O colaborador, a partir da resposta da máquina, consegue perceber se o aparelho está visualmente conforme ou não. Em virtude da alta resolução das câmaras e dos algoritmos de processamento de imagem contidos no equipamento CMI, é possível realizar uma inspeção visual muitíssimo mais precisa e com menor probabilidade de erro quando comparada com o trabalho humano.	
R2	Caso se trate de um rádio correspondente ao modelo A, B ou C é necessário proceder à colocação do passaporte e, por isso, há uma paragem obrigatória neste posto. Assim, o colaborador da máquina CMI, nestes casos, fica também responsável por proceder à impressão e fixação desta informação complementar.	
T5	No “Subjetivo Mecânico”, o colaborador faz um controlo visual de uma série de itens e testa algumas funcionalidades mecânicas inerentes aos rádios. Verifica também se a blenda apresenta riscos e se as teclas e botões estão conformes. Posteriormente, o operador limpa a blenda e o display para eliminar eventuais partículas de sujidade e gordura. Nos modelos D, E e F monta ainda no aparelho o suporte designado <i>Sleeve mounting</i> , além disto, ao rádio F é adicionado o arco de desmontagem.	
E1	No último posto da linha, referente à “Embalagem”, o colaborador embala o produto final consoante os requisitos da marca e do modelo do rádio. Após completarem uma caixa, os produtos finais são colocados em paletes no armazém para depois se proceder à sua expedição.	

4.1.3 Planeamento e controlo da produção

O planeamento e controlo da produção da APTIV divide-se em três níveis de agregação temporal: o curto, o médio e o longo prazo e assim tem-se, respetivamente, o Plano Tático, o Plano Operacional e o Plano Estratégico. Desta forma, é possível planejar e controlar as atividades de produção por forma a satisfazer a procura dos clientes.

O Plano Estratégico, realizado pelo departamento de Engenharia, tem como propósito preservar a capacidade competitiva da empresa, assegurando a utilização eficaz dos recursos e a introdução de novos produtos. Neste sentido, cálculos relativos à capacidade de novos projetos, nomeadamente se a fábrica está apta, quer em espaço fabril quer em equipamentos, para os receber, estão incorporados nesta estratégia. Por sua vez, é feita também uma comunicação com o cliente para identificar os requisitos, necessidades e quantidades do novo produto. Este envolvimento permite à empresa produzir com maior qualidade e valor.

O Plano Operacional é responsabilidade do departamento PC&L que o elabora para um horizonte temporal de um ano, apesar de o rever diariamente para reajustar eventuais atualizações de encomendas dos clientes. Assim, numa primeira fase, correspondente aos primeiros cinco meses de cada ano, a produção é planeada com base nos pedidos já existentes e, numa segunda fase, é planificada consoante as previsões de vendas.

Por último, o Plano Tático é realizado diariamente pelo PC&L e pelos chefes de linha. Assim, no início de cada dia de trabalho são definidas as sequências de produção e lançadas as respetivas ordens de produção através de manifestos (Figura 24). Às vezes, estas podem ser alvo de alteração por causa de imprevistos, como por exemplo, faltas de material e/ou problemas graves de qualidade.



Figura 24 – Exemplo de um manifesto

Para que seja assegurado um correto controlo da produção, é mantida uma comunicação eficaz entre Engenharia, PC&L, chefes de linha e colaboradores, todos os dias, através de reuniões diárias no *Gemba*, que incluem análises dos indicadores de desempenho.

4.2 Análise crítica e identificação de problemas

Uma vez descrito o processo produtivo, segue-se a análise crítica ao estado atual da linha de montagem com o propósito de serem identificados os problemas existentes para, posteriormente, se proceder às sugestões de melhoria. Primeiramente, com o intuito de definir o foco de investigação, identificaram-se os modelos mais produzidos utilizando a análise ABC através da informação fornecida pelo plano. De seguida, realizou-se um estudo de tempos para auxiliar o futuro balanceamento da linha, onde se recorreram a gráficos de análise de processo para facilitar a visualização das diferenças existentes entre os modelos *high runners*. Foi também avaliada a ocorrência de defeitos onde, após a aplicação do Gráfico de Pareto com o intuito de priorizar o tipo de defeito mais ocorrente, se utilizou o Diagrama de *Ishikawa* para englobar tudo o que tem impacto no sistema e, de seguida, o *5Whys* para apurar as causas raiz.

4.2.1 Seleção e estudo dos modelos *high runners*

A linha de montagem final, para além de ser considerada a linha mais longa (38 m), é identificada como sendo das linhas mais antigas da fábrica, sendo que os seus produtos têm vindo a ser substituídos por aparelhos mais tecnológicos e modernos. Como consequência, os seus volumes de produção têm sofrido um decréscimo ao longo do tempo. Analisando o Plano de Produção previsto para o ano de 2021, ilustrado na Tabela 13, é possível constatar que os modelos D e E vão deixar de ser produzidos de forma contínua, passando a *after-sales*. Desta forma, estimou-se uma quebra de cerca de 21% dos volumes de produção desde janeiro até dezembro.

Tabela 13 – Plano de Produção 2021

Dias de trabalho	21	19	22	21	20	19	23	21	22	21	20	13
Family	jan/21	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21	out/21	nov/21	dez/21
A	234,72	169,77	164,95	104,16	231,00	243,16	200,87	80,00	210,00	220,00	210,00	323,08
B	278,72	185,15	155,78	150,72	231,00	243,16	200,87	60,00	190,91	200,00	210,00	323,08
C	268,80	196,29	212,60	194,88	231,00	243,16	164,35	12,00	133,64	132,00	126,00	161,54
D	192,44	185,68	144,79	64,32	69,05	80,91	182,61	200,00	190,91	0,00	0,00	0,00
E	59,36	35,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	72,08	60,48	57,27	50,40	53,93	69,23	10,74	43,92	56,81	56,00	54,60	64,62
Soma volume/dia (unid)	1 106	832	735	564	816	880	759	396	782	608	601	872

Tal como referido na secção 4.1, na linha de montagem final são produzidos vários modelos de rádios que possuem operações e fluxos de materiais com ligeiras diferenças e, por esta razão, realizou-se uma análise ABC para priorizar os modelos com maior volume de produção. Assim, o estudo detalhado deste

projeto incide nos produtos mais representativos do fluxo produtivo, que se traduzem num maior valor acrescentado para a empresa.

A análise ABC, representada na Tabela 14, mostra a quantidade total prevista para o ano de 2021 de cada um dos modelos, as respetivas percentagens e a acumulada.

Tabela 14 – Análise ABC dos modelos da linha de montagem final

Modelo	Quantidade de rádios prevista para 2021	% de artigos	% acumulada	Classe
B	47 883	26,72%	26,72%	A
A	47 151	26,31%	53,03%	A
C	41 748	23,29%	76,32%	A
D	27 623	15,41%	91,73%	B
F	12 902	7,20%	98,93%	C
E	1 912	1,07%	100,00%	C
Total	179 219	100,00%		

Na Figura 25 encontra-se representada a curva ABC dos modelos conseguida a partir dos dados da Tabela 14, onde é possível constatar que os modelos A, B e C, no seu somatório, representam 76% da produção da linha, enquadram-se na Classe A e, por este motivo, são o foco de análise crítica das próximas secções.

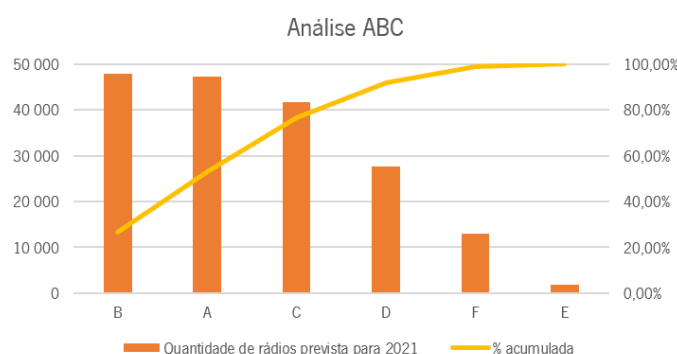


Figura 25 – Análise ABC para os modelos da linha de montagem final

4.2.1.1 Estudos de tempos e gráficos de sequência

Após a identificação dos modelos mais produzidos na linha, procedeu-se à realização de um estudo de tempos com a finalidade de determinar os tempos de ciclo e elaborar gráficos de análise de processo para facilitar a visualização da sequência operatória, bem como as diferenças existentes entre os modelos.

Neste seguimento, as medições dos tempos necessárias para realizar as operações, definidas em cada posto de trabalho, foram feitas recorrendo à técnica da cronometragem. Este método revelou ser o mais adequado uma vez que se tratam de tarefas manuais e com ciclos curtos e repetitivos. Assim, partiu-se para a observação direta aos operadores no *Gemba*.

A Tabela 15 contém os tempos relativos aos postos de trabalho manual, como é o caso dos seguintes: Posto de Trabalho 1 (PT1); Posto de Trabalho 2 (PT2); Posto de Trabalho 3 (PT3); Posto de trabalho 4 (PT4); Posto de Trabalho 5 (PT5); Posto de Trabalho 6 (PT6); Etiquetagem (R1); Passaporte (R2); Teste subjetivo mecânico (T5); Embalagem (E1). O Apêndice 1 contém o estudo de tempos completo.

Tabela 15 – Tempos de ciclo dos postos de trabalho manual

	Tempo de ciclo (seg)									
Modelo	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	R1	R2	T5	E1
B	14,1	16,0	19,0	15,3	12,9	11,1	8,8	11,0	13,8	10,1
A	15,3	17,0	19,1	16,3	14,0	11,3	9,3	11,6	14,1	10,3
C	20,1	16,5	21,3	15,3	13,6	12,5	9,0	11,7	15,8	13,9

A Tabela 16 diz respeito aos tempos dos postos das máquinas, como é o caso dos seguintes: Teste de iluminação (T1); Teste objetivo elétrico (T2); Teste subjetivo elétrico (T3); Programação (P1); Teste CMI (T4). No Apêndice 2 estão presentes todas as medições utilizadas para chegar aos valores da Tabela 16.

Tabela 16 – Tempos de ciclo dos postos das máquinas

	Tempo de ciclo (seg)				
Modelo	T1	T2	T3	P1	T4
B	18,4	13,2	20,0	16,8	17,2
A	18,5	19,4	19,3	20,6	17,6
C	18,9	23,0	22,8	24,6	17,9

De notar que, para esta situação, já não se procedeu a um estudo de tempos tendo em conta que se tratam de equipamentos cujos tempo de teste não apresentam grande variabilidade. Desta forma, foram medidos dez tempos de teste para cada modelo e definidos tempos de manuseamento, deslocação e movimentação que englobam as tarefas de colocar e tirar o rádio das máquinas de teste.

Assim, para o teste de iluminação considerou-se 3,5 segundos por rádio, para o teste objetivo elétrico 2,0 segundos, para o teste subjetivo elétrico 5 segundos, para a programação 4,8 segundos e para a CMI 7 segundos. A Tabela 17 contém os valores do tempo de ciclo de cada posto de trabalho.

Tabela 17 – Tempo de ciclo de cada posto de trabalho

	Tempo de ciclo (seg)														
Mod	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	T1	T2	T3	P1	R1	T4	R2	T5	E1
B	14,1	16,0	19,0	15,3	12,9	11,1	18,4	13,2	20,0	16,8	8,8	17,2	11,0	13,8	10,1
A	15,3	17,0	19,1	16,3	14,0	11,3	18,5	19,4	19,3	20,6	9,3	17,6	11,6	14,1	10,3
C	20,1	16,5	21,3	15,3	13,6	12,5	18,9	23,0	22,8	24,6	9,0	17,9	11,7	15,8	13,9

Determinados os tempos do ciclo para cada posto de trabalho, foram elaborados gráficos de análise de processo para os dois *high runners* da linha com o propósito de se obter a sequência do processo completo de produção destes dois produtos.



Figura 26 – Gráficos de análise de processo: a) modelo B; b) modelo A; c) modelo C

Tal como é possível verificar pela Figura 26, as sequências operatórias dos dois maiores *high runners* são muito semelhantes, pois apenas variam nos tempos, nomeadamente no teste objetivo elétrico e na programação. Para estes casos, o modelo B destaca-se pela posse de valores inferiores comparativamente ao modelo A.

4.2.1.2 Falta de balanceamento e cálculo da capacidade

Primeiramente, com o intuito de determinar o TT, efetuou-se a média diária dos volumes de produção, tendo por base as quantidades diárias descritas no início da secção 4.2.1, obtendo-se o valor de 746 rádios por dia. De seguida, calculou-se o tempo disponível para um turno de trabalho (27 420 segundos) e, por fim, recorrendo à fórmula do TT presente na secção 2.2.3, determinou-se o valor de 36,8 segundos. No Apêndice 3 estão representados os cálculos intermédios realizados para obter a Tabela 18.

Tabela 18 – Cálculo do *Takt Time*

Cálculo <i>Takt Time</i>	
Número de turnos	1
Tempo disponível por turno (min)	457
Tempo disponível por turno (seg)	27 420
Procura diária (rádios)	746
<i>Takt Time</i> (seg)	36,8

Após o estudo de tempos e do cálculo do TT, a falta de balanceamento entre os postos da linha foi um dos problemas identificados, onde os gráficos da Figura 27 comprovam o que fora mencionado.

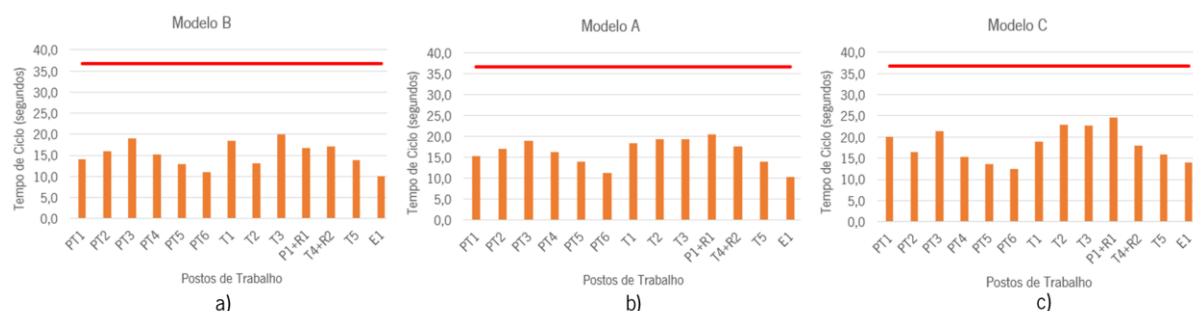


Figura 27 – Gráfico do balanceamento dos tempos de ciclo de cada posto: a) modelo B, b) modelo A e c) modelo C

A partir da análise dos gráficos da Figura 27 e relativamente aos seis primeiros postos de montagem manual, pode concluir-se que, para os três modelos, o posto de trabalho 3 sobressai negativamente, pois revela sempre um valor elevado. Isto poderá indicar que este posto tem demasiadas operações. Relativamente aos restantes postos, para o modelo B, destacam-se o teste de iluminação e o teste subjetivo elétrico com um elevado tempo de ciclo. Os testes objetivo elétrico, subjetivo elétrico e programação e etiquetagem revelam ser os grandes contribuidores dos elevados tempos para os modelos A e C, com o acréscimo do teste de iluminação para o modelo A.

Para além disto, é possível constatar que os três modelos apresentam um elevado desfasamento entre o TC e TT, sendo que o modelo B é o que mais se destaca com um valor de 16,8 segundos. Isto indica o sobredimensionamento da linha para o tempo definido, o que resulta em desperdícios de recursos.

Em suma, a falta de balanceamento resulta em grandes variações entre os TC de cada posto de trabalho, elevados desfasamentos entre os TC e TT, elevados tempos de esperas e faltas de sincronismo e existência de WIP entre postos, entre outros.

Por fim, foram realizados cálculos de capacidade produtiva da linha com o propósito de analisar a diferença entre a capacidade necessária para produzir e a que está atualmente implementada. No Apêndice 4 encontram-se os cálculos intermédios utilizados para construir a Tabela 19 que contém a síntese dos valores obtidos. Assim, pode constatar-se que a capacidade esperada é bastante inferior à capacidade realizada, completando aproximadamente duas horas de produção a mais do que é efetivamente necessário para cumprir a procura diária.

Tabela 19 – Cálculo da capacidade da linha

Capacidade disponível	Capacidade efetiva	Capacidade realizada	Capacidade esperada	Utilização
28 800 seg	27 420 seg	24 678 seg	18 352 seg	74,4%

4.2.1.3 Ocorrência de defeitos

A satisfação do cliente é uma das premissas básicas da APTIV e, neste sentido, a inexistência de defeitos e reclamações é o patamar para o qual a empresa trabalha diariamente. Assim, no final do mês de maio, fez-se um estudo dos defeitos mais ocorrentes na linha de montagem final através de um ficheiro Excel que é alimentado pela base de dados PYMS (*Production & Yield Monitoring System*). Este sistema de informação permite rastrear qualquer produto produzido na APTIV e, por isso, contém informações detalhadas como o dia e horas a que passou nos vários postos de trabalho e, assim, caso falhe num dos testes, consegue-se rastrear o tipo de defeito ocorrido. Para além disto, caso se pretenda uma visão mais alargada do processo, é possível agrupar os dados consoante um intervalo de tempo definido pelo utilizador, tendo-se ainda acesso às quantidades totais produzidas.

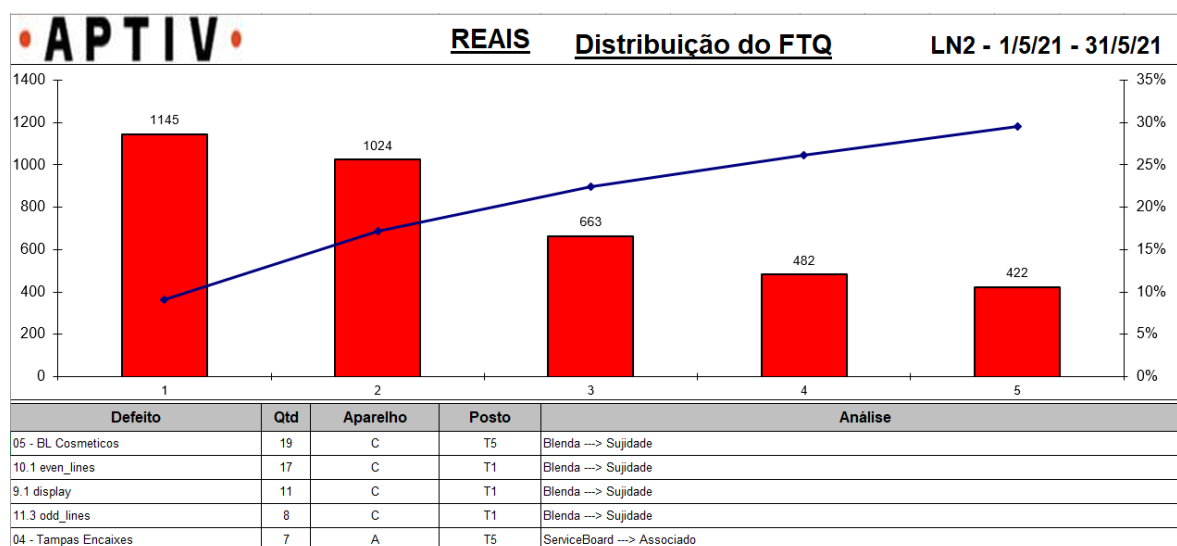


Figura 28 – Gráfico de Pareto de defeitos registados no mês de maio

A partir do gráfico da Figura 28, é possível constatar que o Top 4 totaliza um valor de 55 defeitos relativos às sujidades na blenda do rádio do modelo C, ao longo do mês de maio, num total de 16 598 rádios montados. Os postos referentes ao subjetivo mecânico e teste de iluminação foram as estações onde os defeitos foram detetados. O *First Time Quality* (FTQ) apresentou assim um valor de 3 314 ppm.

Uma vez comprovada a elevada ocorrência, representado 26% da quantidade de defeitos reais, o foco incidiu na identificação da causa raiz deste defeito. Neste seguimento, efetuou-se uma sessão de *brainstorming* com a utilização da ferramenta Diagrama de *Ishikawa* (Figura 29), segundo a categorização 5M1E (*Machine, Men, Management, Material, Method e Environment*), com a finalidade de descobrir as possíveis causas das sujidades das blendas.

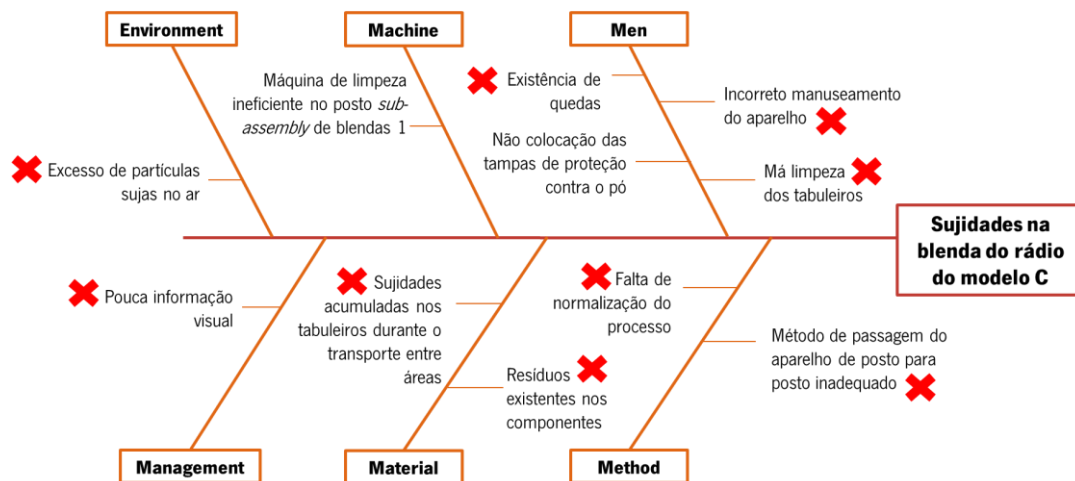


Figura 29 – Diagrama de *Ishikawa* relativo às sujidades da blenda do rádio do modelo C

Após a realização do diagrama de *Ishikawa*, procedeu-se à análise das causas identificadas no processo com consecutivas observações no *Gemba*, onde foram verificadas apenas duas causas. Relativamente às restantes, que não foram observadas optou-se por considerar que não têm impacto no problema.

De seguida, procedeu-se para a origem das causas verificadas, sendo elas: “Máquina de limpeza ineficiente” e “Não colocação das tampas de proteção contra o pó”.

Causa 1: Máquina de limpeza ineficiente no posto *sub-assembly* de blendas 1

Na Figura 30 está representada a máquina de limpeza do posto *sub-assembly* de blendas 1.

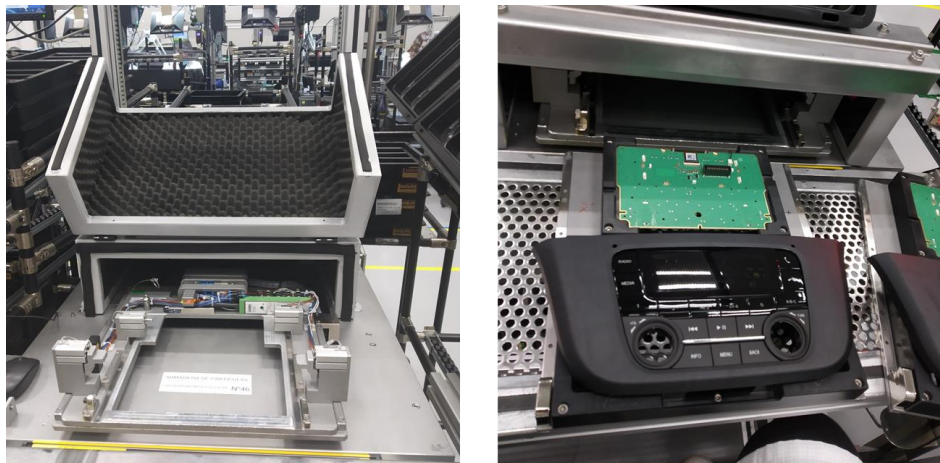


Figura 30 – Máquina de limpeza do posto *sub-assembly* de blendas 1

Com o propósito de aprofundar a causa raiz do problema, optou-se pela utilização da ferramenta *5W/hys*, visível na Figura 31.

WHY (1): Porque é que a máquina de limpeza não limpa eficientemente?

A máquina de limpeza não limpa eficientemente porque a blenda sai eletricamente carregada.

WHY (2): Porque é que a blenda sai eletricamente carregada?

A blenda sai eletricamente carregada porque as ponteiras ionizadoras estão queimadas/danificadas.

WHY (3): Porque é que as ponteiras estão danificadas?

As ponteiras estão danificadas porque não foram substituídas atempadamente pela equipa de manutenção.

WHY (4): Porque é que as ponteiras não foram substituídas pela manutenção?

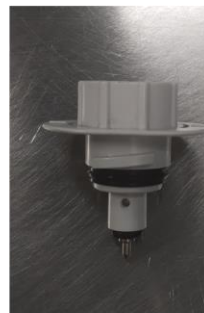
As ponteiras não foram substituídas porque essa ação não está definida no plano de manutenção preventiva da máquina de limpeza.

Figura 31 – *5Whys*: Máquina de limpeza ineficiente no posto *sub-assembly* de blendas 1

Como resultado dos *5Whys* pode constatar-se que a máquina de limpeza continha as ponteiras ionizadoras danificadas devido à não substituição das mesmas. Assim, como ação surge a inclusão da verificação do estado deste material no plano de manutenção preventiva relativo a este posto de trabalho. Na Figura 32 estão ilustradas a barra ionizadora e as respetivas ponteiras ionizadoras.



a)



b)

Figura 32 – a) Barra ionizadora; b) Ponteiras ionizadoras

Causa 2: Não colocação das tampas de proteção contra o pó

Após consecutivas observações das rampas, verificou-se que nem sempre é cumprido o *standard* definido de colocação das tampas de proteção contra o pó nos tabuleiros que contêm blendas no seu interior.

WHY (1): Porque é que os colaboradores não colocam as tampas de proteção contra o pó em cima dos tabuleiros?
Os colaboradores não colocam as tampas de proteção porque não cumpre o *standard* definido.

WHY (2): Porque é que os colaboradores não cumprem o *standard* definido?
Os colaboradores não cumpre o *standard* definido porque se esquecem.

WHY (3): Porque é que existe esquecimento por parte dos colaboradores?
Os colaboradores esquecem-se porque não existe nenhuma informação visual adicional que os relembre e reforce a informação.

Figura 33 – *5Whys*: Não colocação das tampas de proteção contra o pó

Como resultado dos *5Whys* (Figura 33) realizou-se um *Quality Alert* ou chamada de atenção, ilustrado no Apêndice 5, para reforçar a importância da colocação das tampas de proteção contra o pó em cima dos tabuleiros e, deste modo, foi afixado no posto *sub-assembly* de blendas 1 aquando da saída dos tabuleiros.

4.2.1.4 Instruções de Trabalho desatualizadas

As Instruções de Trabalho (IT) são documentos existentes em cada posto de trabalho que contêm as operações de forma sequenciada e cronometrada relativas aos vários modelos, assegurando a qualidade e estabilidade dos processos, tal como abordado na secção 2.1.6. Esta ferramenta, ilustrada no Anexo 2, é de grande relevância uma vez que permite orientar e guiar os operadores para que estes saibam o que devem fazer, nomeadamente quando são contratados novos colaboradores.

Assim, no decorrer da análise à linha de montagem final, verificou-se que a IT do posto de trabalho da etiquetagem (R1) estava desatualizada para os modelos A/B/C e que, por isso, o seu conteúdo já não corresponde ao que acontece no estado atual (Figura 34). Identificaram-se que as seguintes tarefas já não se realizavam:

- Task 8: “Pega etiqueta de cartão e dobra a meio”;
- Task 9: “Coloca etiqueta de cartão dentro do saco”;
- Task 10: “Coloca e cola saco no aparelho”;
- Task 11: “Pega aparelho e coloca no carrinho”.

DELPHI ELECTRONICS & SAFETY		Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho		BRAG WI 1155.00.04 Ver:01																																																																																																																														
Effective Date / Data Efectiva: 01-02-2008		Content Reviewed Date / Data de Revisão: 30-01-2008		Page 1 de 2																																																																																																																														
Processo / Modelo: ETIQUETAGEM Lugar: 1* Ref. Doc.: SOS.ETIQUETAGEM Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>				Notas Importantes: SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TEM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Seq. Item</th> <th>Elemento</th> <th>Quant. Time</th> <th>Material</th> <th>Work Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>MOVE TABULEIRO PARA ENTRADA DA ETIQUETAGEM (FOTO 1)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>SE ESTIVER TUDO OK COM O APARELHO SAI ETIQUETA TIPO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>PEGA E COLA ETIQUETA TIPO NO APARELHO (FOTO 2)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>CARREGA NO BOTÃO VERDE (FOTO 3)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>SE ESTIVER TUDO OK COM O APARELHO SAI ETIQUETA LASER</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>PEGA E COLA ETIQUETA LASER NO APARELHO (FOTO 3)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>CARREGA NO BOTÃO VERDE (FOTO 3)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>PEGA ETIQUETA DE CARTÃO E DOBRA A MEIO (FOTO 4)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>COLOCA ETIQUETA DE CARTÃO DENTRO DO SACO (FOTO 5)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>COLOCA E COLA SACO NO APARELHO (FOTO 6)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>PEGA APARELHO E COLOCA NO CARRINHO</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>21</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>23</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Seq. Item	Elemento	Quant. Time	Material	Work Time	1	MOVE TABULEIRO PARA ENTRADA DA ETIQUETAGEM (FOTO 1)				2	SE ESTIVER TUDO OK COM O APARELHO SAI ETIQUETA TIPO				3	PEGA E COLA ETIQUETA TIPO NO APARELHO (FOTO 2)				4	CARREGA NO BOTÃO VERDE (FOTO 3)				5	SE ESTIVER TUDO OK COM O APARELHO SAI ETIQUETA LASER				6	PEGA E COLA ETIQUETA LASER NO APARELHO (FOTO 3)				7	CARREGA NO BOTÃO VERDE (FOTO 3)				8	PEGA ETIQUETA DE CARTÃO E DOBRA A MEIO (FOTO 4)				9	COLOCA ETIQUETA DE CARTÃO DENTRO DO SACO (FOTO 5)				10	COLOCA E COLA SACO NO APARELHO (FOTO 6)				11	PEGA APARELHO E COLOCA NO CARRINHO				12					13					14					15					16					17					18					19					20					21					22					23					Total					     	
Seq. Item	Elemento	Quant. Time	Material	Work Time																																																																																																																														
1	MOVE TABULEIRO PARA ENTRADA DA ETIQUETAGEM (FOTO 1)																																																																																																																																	
2	SE ESTIVER TUDO OK COM O APARELHO SAI ETIQUETA TIPO																																																																																																																																	
3	PEGA E COLA ETIQUETA TIPO NO APARELHO (FOTO 2)																																																																																																																																	
4	CARREGA NO BOTÃO VERDE (FOTO 3)																																																																																																																																	
5	SE ESTIVER TUDO OK COM O APARELHO SAI ETIQUETA LASER																																																																																																																																	
6	PEGA E COLA ETIQUETA LASER NO APARELHO (FOTO 3)																																																																																																																																	
7	CARREGA NO BOTÃO VERDE (FOTO 3)																																																																																																																																	
8	PEGA ETIQUETA DE CARTÃO E DOBRA A MEIO (FOTO 4)																																																																																																																																	
9	COLOCA ETIQUETA DE CARTÃO DENTRO DO SACO (FOTO 5)																																																																																																																																	
10	COLOCA E COLA SACO NO APARELHO (FOTO 6)																																																																																																																																	
11	PEGA APARELHO E COLOCA NO CARRINHO																																																																																																																																	
12																																																																																																																																		
13																																																																																																																																		
14																																																																																																																																		
15																																																																																																																																		
16																																																																																																																																		
17																																																																																																																																		
18																																																																																																																																		
19																																																																																																																																		
20																																																																																																																																		
21																																																																																																																																		
22																																																																																																																																		
23																																																																																																																																		
Total																																																																																																																																		
Data: 01-02-2008 Função: Nome: Verificado por: Nome: Aprovado por: Nome:																																																																																																																																		

Figura 34 – Instrução de Trabalho desatualizada para o posto de trabalho da etiquetagem para os modelos A, B e C

4.2.1.5 Falta de organização para os materiais e dispositivos

O carrinho de apoio ao *change-over* encontra-se localizado atrás dos seis primeiros postos de trabalho da linha de montagem final e contempla o armazenamento de alguns dispositivos e parafusos que não cabem no armário de armazenamento (Figura 35).

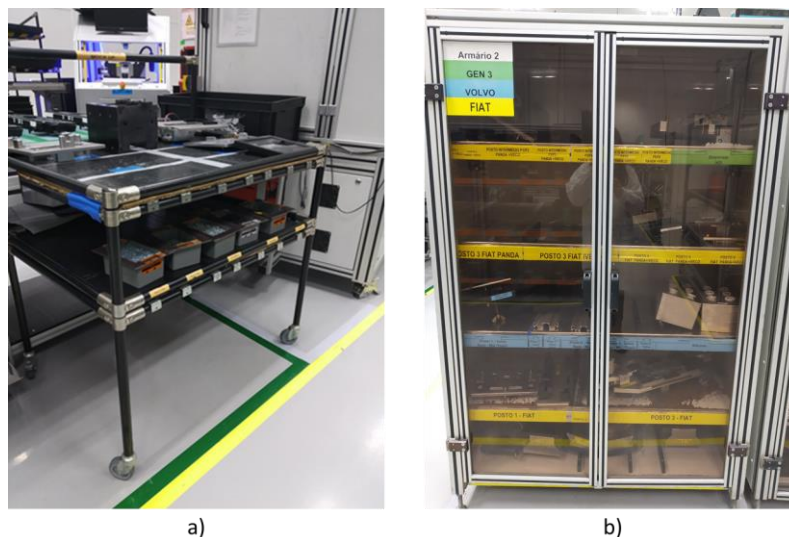


Figura 35 – a) Carrinho de apoio ao *change-over*; b) Armário de armazenamento

A desorganização, nomeadamente a falta de arrumação e limpeza, observada nesta estrutura de apoio, revelou contribuir negativamente para o bom desempenho e rendimento dos operadores. Assim sendo, esta constatação evidencia a necessidade de fazer uma auditoria 5S.

Na prateleira superior do carrinho verificou-se que não existe espaço suficiente e que, por isso, os locais específicos para os dispositivos coincidem uns com os outros. Para além disto, a respetiva identificação

fica pouco/nada visível aquando da colação do dispositivo no respetivo local. A falta de identificação visível causa desperdícios como esperas (à procura dos materiais), deslocações desnecessárias e ainda incrementa a possibilidade de erros.

4.2.2 Outros problemas identificados na área

Após a identificação dos problemas na linha de montagem final, foi possível observar que dentro da área de *Infotainment* existiam outros problemas e desperdícios associados à falta de organização e atividades 5S. Neste seguimento, as próximas secções retratam e descrevem as situações encontradas.

4.2.2.1 Existência de elevados níveis de stock

Um dos grandes exemplos de desperdícios *Lean* são os *stocks* excessivos, pois para além de estarem a ocupar espaço, são sinónimo de custos acrescidos. Na análise crítica ao chão de fábrica foram encontrados elevados níveis de *stock*, tal como ilustrado na Figura 36. Isto poderá indicar que existe falta de comunicação entre áreas e/ou necessidade de serem realizados novos cálculos de componentes necessários.



Figura 36 – Excesso de *stock*

4.2.2.2 Necessidade de atualização dos 5S na área

Frequentemente, são feitas auditorias 5S para garantir que esta técnica está a ser cumprida. Deste modo, o departamento de Engenharia Industrial é responsável por manter a disciplina (*Shitsuke*) e o cumprimento das regras definidas, cujas vantagens estão mencionadas na secção 2.1.6.2. Exemplo da utilização dos 5S são as identificações dos equipamentos, materiais, lugares e objetos, bem como o seu correto posicionamento. Para além disto, a APTIV utiliza um código de cores *standard*, presente no Anexo 3, com o intuito de marcar e identificar corredores, zonas de materiais, produtos acabados e resíduos e zonas restritas aos equipamentos de segurança no *shop floor*. Na auditoria 5S realizada foram identificados alguns dispositivos e respetivas prateleiras sem devida marcação e identificação, tal como ilustrado na Figura 37.

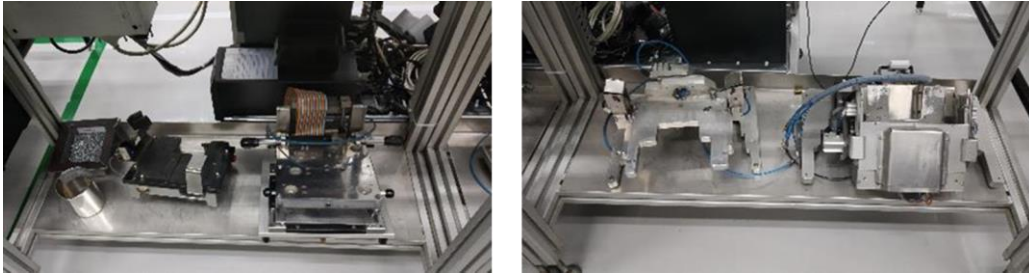


Figura 37 – Dispositivos e prateleiras sem identificação

Toda esta desordem e desarrumação, para além de contribuir acentuadamente na perda de energia por parte do colaborador à procura dos materiais, gera um ambiente mal organizado que tem consequências negativas aquando de auditorias externas ou visitas de clientes. Em alguns casos, podia potenciar à ocorrência de acidentes de trabalho.

4.2.2.3 *Existência de bancadas de trabalho não utilizadas*

A bancada do posto de trabalho, ilustrada na Figura 38, encontra-se inutilizada e, por isso, está a ocupar área útil produtiva sem qualquer retorno monetário. Assim, identificou-se a necessidade de remover este posto cuja área de ocupação era de 8m².



Figura 38 – Posto de Trabalho de montagem

4.3 **Síntese dos problemas encontrados**

Após a identificação dos problemas supramencionados, a Tabela 20 compreende um resumo desses problemas, o seu local de origem, bem como as consequências e o tipo de desperdício correspondente.

Tabela 20 – Síntese dos problemas encontrados, local, consequências e tipo de desperdício

Problema	Local	Consequências	Tipo de desperdício
Falta de balanceamento	Linha de montagem final	Perdas de eficiência; Aumento do tempo improdutivo	Sobreprodução; Esperas; <i>Stock</i> .
Desajuste da capacidade produtiva		Baixa utilização dos recursos; Baixa produtividade; Elevado desfasamento entre os TC e TT.	
Sujidades nas blendas	<i>Sub-assembly</i> de blendas 1	Aumento dos defeitos; Necessidade de retrabalho	Defeitos; Sobreprocessamento.
Instruções de trabalho desatualizadas	Linha de montagem final	Aumento da ocorrência de erros no processo produtivo; Incorreto manuseamento do produto; Tempo improdutivo à descoberta da execução da tarefa.	Processamento incorreto; Defeitos; Esperas.
Existência de uma elevada quantidade de <i>stock</i>	Área de <i>Infotainment</i>	Ineficiência no sistema produtivo; Área produtiva obstruída com excesso de material.	Sobreprodução; <i>Stock</i>
Necessidade de atualização dos 5S	Área de <i>Infotainment</i>	Falta de identificação de dispositivos; Perdas de ineficiência; Perturbação no processo produtivo.	Esperas; Movimentações.
Ineficiente ocupação do espaço produtivo	Área de <i>Infotainment</i>	Área útil produtiva mal aproveitada.	Transportes; Movimentações.

5 APRESENTAÇÃO DAS PROPOSTAS DE MELHORIA

Este capítulo aborda as propostas de melhoria realizadas com o intuito de resolver os problemas identificados no capítulo anterior. A Tabela 21, que tem por base a ferramenta 5W2H, descreve sumariamente o plano de ações.

Tabela 21 – 5W2H: Plano de ações

<i>What</i>		<i>Why</i>	<i>How</i>	<i>Who</i>	<i>When</i>	<i>Where</i>	<i>How much</i>
<i>Problem</i>	<i>Action</i>						
Falta de balanceamento e desajuste da capacidade produtiva	Balanceamento dos postos de montagem manual	Número elevado de recursos tendo em conta a quantidade de volumes prevista; Necessidade de aproximar o TC ao TT.	Diagrama de precedências; WCT para a distribuição das tarefas de forma equilibrada pelos postos de trabalho; Cálculos de capacidade.	Rita; Xavier	2021	Linha de Montagem Final	15mil €
	Balanceamento dos postos de teste	Necessidade de equilibrar os tempos de ciclo dos restantes postos.					
	Distribuição dos operadores	Necessidade de alocar os operadores.					
Sujidades nas blendas dos rádios do modelo C	Colocação da “verificação e limpeza das ponteiros ionizadoras” no <i>checklist</i> da manutenção	Reduzir o TOP de defeitos verificados através do Gráfico de Pareto	Diagrama de Ishikawa; 5Whys	Rita; Xavier; Eduardo; Manutenção	2021	Posto <i>Sub-assembly</i> de blendas 1	400€
	Colocação de uma chamada de atenção no posto de trabalho						
Instruções de trabalho desatualizadas	Atualização das instruções de trabalho	Instruções de trabalho desatualizadas comprometem o trabalho conforme e a correta formação dos operadores.	Observação das tarefas e documentação do processo	Rita	2021	Linha de Montagem Final	Não aplicável
Necessidade de 5S	Auditoria 5S e concretização do plano de ações	Um ambiente limpo, arrumado e organizado leva a uma maior eficiência; Melhorar a gestão visual.	Implementação do conceito 5S	Rita; Chefe de linha.	2021	Área de <i>Infotainment</i>	Não aplicável
Área produtiva mal aproveitada	Remoção do posto de trabalho de montagem	Necessidade de espaço produtivo livre.	Movimentação do posto para o desativado	Rita; Xavier.	2021	Área de <i>Infotainment</i>	Não aplicável

5.1 Balanceamento da linha de montagem final

Na secção 4.2.1 foi feita uma análise à capacidade produtiva da linha de montagem final onde se concluiu que durante o ano de 2021 a sua utilização seria bastante reduzida, apresentando o valor de 74%. Com o intuito de aumentar a utilização da linha, e tendo em conta o decréscimo dos volumes de produção de, aproximadamente, 21% (desde janeiro a dezembro), decidiu-se aumentar o tempo de ciclo dos produtos. Assim, são previstas melhorias quer ao nível do espaço produtivo quer em termos de produtividade e utilização dos recursos disponíveis.

5.1.1 Balanceamento dos postos de montagem manual

Inicialmente, foi calculado o número de postos de trabalho que seriam necessários para a montagem manual dos rádios, onde o TT provém do Apêndice 3 e o tempo total de atravessamento (Tabela 22) do estudo de tempos realizado presente no Apêndice 1.

Tabela 22 – Tempos de processamento dos seis postos de montagem manual

Modelos	A	B	C
Tempo de processamento da montagem manual (seg)	93,0	88,4	99,3

Considerando uma eficiência de 90% e o valor mais elevado do tempo de processamento (rádio do modelo C), aplicou-se a equação descrita na secção 2.2.2.3 e obteve-se o valor de três postos de trabalho.

$$N^{\circ} PT = \frac{99,3}{36,8 \times 0,90} = 3 \text{ Postos de Trabalho}$$

Assim, pode constatar-se que eram necessários três postos de trabalho de montagem manual para garantir que o tempo de ciclo não excedia o TT e para que fosse possível cumprir o plano de produção definido no início do ano.

A realização do balanceamento das tarefas para os três postos de trabalho de montagem manual contou, inicialmente, com o auxílio do chefe de equipa e dos diagramas de precedências ilustrados na Figura 39 com o propósito de garantir o cumprimento das sequências de montagem.

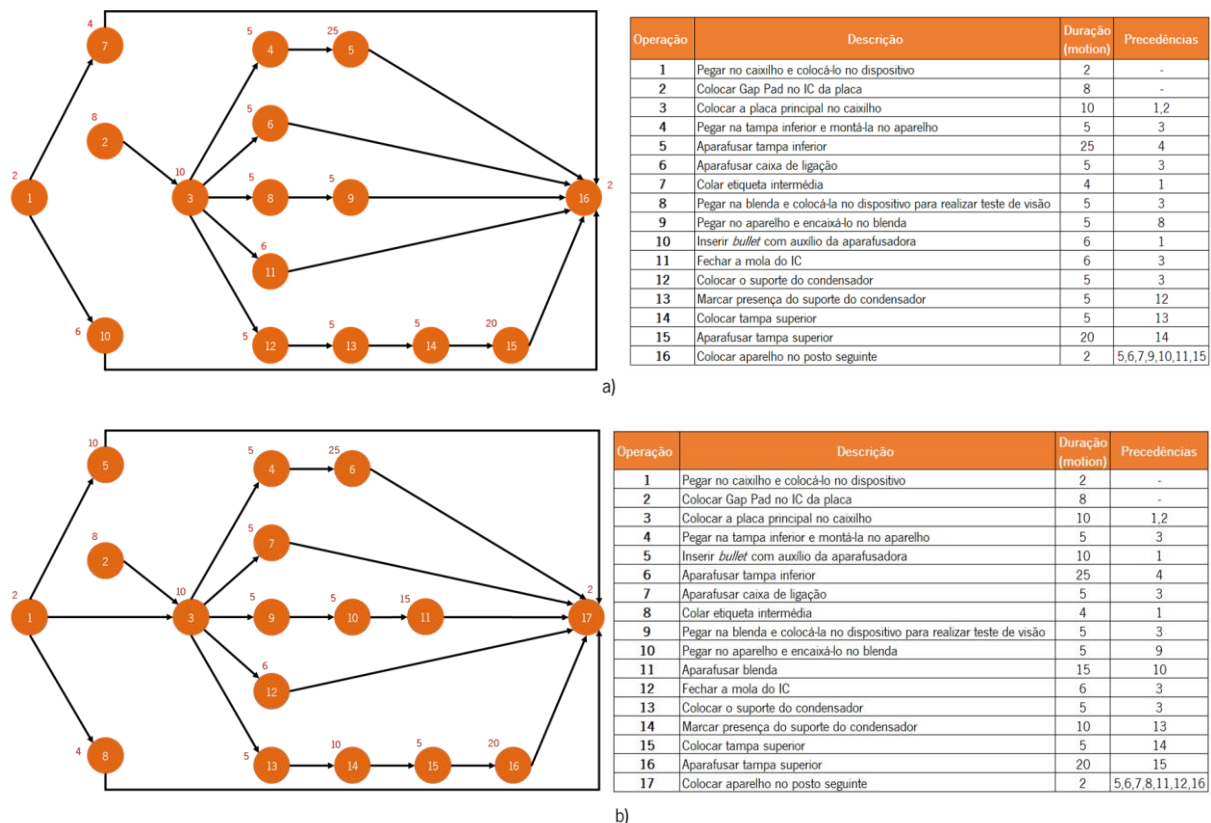


Figura 39 – Diagrama de precedências: a) referente aos modelos A e B; b) referente ao modelo C

De referir que para além do cumprimento das precedências, foram também tidas em consideração as seguintes nuances no agrupamento das tarefas aos postos de trabalho: tipos de parafusos, dispositivos *poka-yoke* e tipo de abastecimento de materiais.

Por fim, avançou-se para o preenchimento das *Work Combination Table* (WCT) que se encontram no Apêndice 6. Esta ferramenta, cuja base integra um ficheiro Excel, permite facilmente visualizar as tarefas de cada posto de trabalho, a respetiva duração e contempla ainda um diagrama onde é possível observar a diferença entre os tempos de processamento de cada tarefa. É um ficheiro onde se inserem as tarefas realizadas e os respetivos *motions* (movimentos). Cada *motion* corresponde a um movimento que é convertido para segundos (1motion equivale 0,6 segundos).

Para além disto, para confirmar que a alteração teórica das tarefas era realmente fazível na prática, efetuou-se uma simulação que se encontra ilustrada no Apêndice 7. A Tabela 23 representa as novas distribuições das tarefas dos modelos A, B e C.

Tabela 23 – Nova distribuição das tarefas pelos três postos de montagem manual dos modelos A, B e C

Modelo A e B			Modelo C		
Posto ANTES	Tarefas	Posto DEPOIS	Posto ANTES	Tarefas	Posto DEPOIS
Posto 1	Colocar <i>Gap Pad</i> no IC da placa	Posto 1	Posto 1	Colocar <i>Gap Pad</i> no IC da placa	Posto 1
	Inserir placa principal no caixilho			Inserir placa principal no caixilho	
	Colocar a tampa inferior			Colocar a tampa inferior	
Posto 2	Aparafusar 2x na tampa inferior	Posto 2	Posto 2	Inserir <i>bullet</i> com auxílio da aparafusadora	Posto 2
	Aparafusar 1x na caixa de ligação			Aparafusar 2x na tampa inferior	
	Colar etiqueta intermédia			Aparafusar 1x na caixa de ligação	
Posto 3	Pegar na blenda e inseri-la no dispositivo para teste de visão	Posto 2	Posto 3	Colar etiqueta intermédia	Posto 2
	Pegar no aparelho e encaixá-lo na blenda			Pegar na blenda e inseri-la no dispositivo para teste de visão	
	Inserir <i>bullet</i> com aparafusadora			Pegar no aparelho e encaixá-lo na blenda	
Posto 4	Fechar a mola do IC	Posto 3	Posto 4	Aparafusar 3x na blenda	Posto 3
	Inserir suporte do condensador			Fechar a mola do IC	
	Aparafusar 2x na tampa inferior			Inserir suporte do condensador	
Posto 5	Marcar presença do suporte do condensador	Posto 3	Posto 5	Aparafusar 2x na tampa inferior	Posto 3
	Inserir tampa superior			Marcar presença do suporte do condensador	
	Aparafusar 2x na tampa superior			Inserir tampa superior	
Posto 6	Aparafusar 1x na tampa inferior	Posto 1	Posto 6	Aparafusar 2x na tampa superior	Posto 1
	Aparafusar 2x na tampa superior	Posto 3		Aparafusar 1x na tampa inferior	Posto 3

A Figura 40 contém os gráficos que comparam os tempos de ciclo dos atuais seis postos de trabalho com os propostos três postos de trabalhos e ainda a linha referente ao TT. No Apêndice 8 está representado o esboço final dos postos propostos.

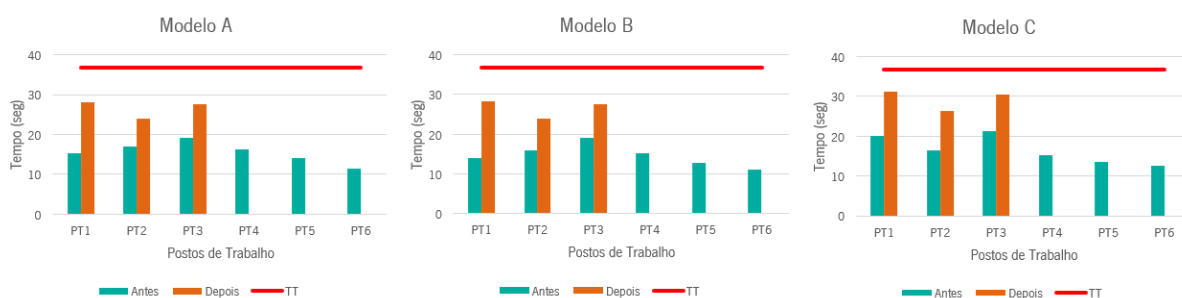


Figura 40 – Comparação dos tempos de ciclo antes e depois do balanceamento dos postos de montagem manual

Para além da divisão das tarefas pelos postos, foram definidos os materiais, tipo de parafusos, equipamentos e dispositivos dos três postos de trabalho representados na Tabela 24.

Tabela 24 – Características dos três postos de trabalho

Posto de Trabalho		Posto 1	Posto 2	Posto 3
Caraterísticas				
Materiais	Material 1	Caixilho	Blenda	Tampa superior
	Material 2	Placa principal	Suporte do condensador	-
	Material 3	Tampa inferior	<i>Bullet</i>	-
	Material 4	<i>Bullet</i>	-	-
Parafusos		Tipo A	Tipo A	Tipo A
			Tipo B	
Equipamentos		2 aparafusadoras	2 aparafusadoras	1 aparafusadora
		1 impressora	Disp.AB.03	Disp.ABC.04
		Disp.ABC.02	Disp.C.03	-

Outro aspeto a realçar são os mecanismos *Poka-Yoke* que existem em praticamente todos os postos de trabalho da APTIV com o intuito de prevenirem a ocorrência de potenciais defeitos, corrigindo ou chamando à atenção dos erros humanos tal como abordado na secção 2.1.6.3. Deste modo, é possível reduzir consideravelmente a ocorrência de acontecimentos indesejados, impedindo que o produto passe para o próximo posto com defeito.

A linha de montagem final não é exceção e tem alguns dispositivos que previnem a ocorrência de erros de montagem e aparafusamento através de sensores de movimento e detetores de presença que garantem a correta posição e movimentação do aparelho. Adicionalmente, estes dispositivos são capazes de evitar danos nas áreas críticas dos rádios e contêm ainda proteções para impedir a entrada de componentes indesejados.

Os *scanners* de leitura (Figura 41) são mantidos uma vez que garantem que o rádio passou no posto anterior e, assim, é possível evitar que produtos incompletos passem para os próximos postos.

Figura 41 - *Scanners* de leitura dos postos de montagem manual

A montagem do rádio correspondente ao modelo F contempla dois exemplos dos mecanismos *Poka-Yoke* (Figura 42) supramencionados. O primeiro garante a correta posição do rádio no dispositivo para que sejam impedidas colocações erradas dos componentes (*Poka-Yoke* de contacto) e o segundo é utilizado numa operação de aparafusamento com o propósito de garantir que os parafusos são colocados

nos sítios apropriados. Desta forma, se o operador colocar o parafuso noutro local que não o correto, o dispositivo não permite. A sequência de aparafusamento aparece no ecrã e iluminam-se as luzes que contornam o primeiro local de aparafusamento.

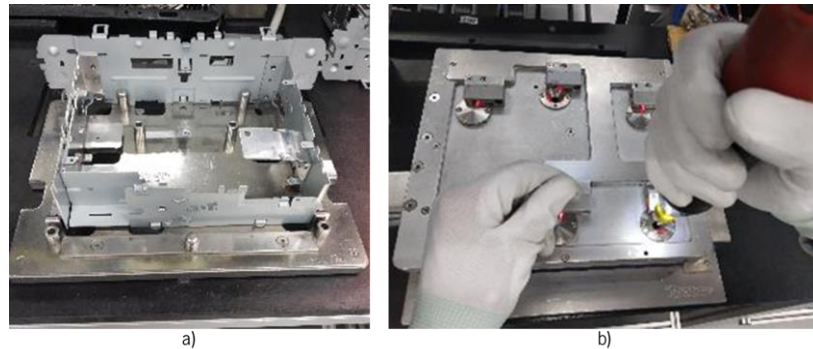


Figura 42 - Exemplo de mecanismo *Poka-Yoke*: a) de contacto; b) para operação de aparafusamento

Para além disto, existem também sinais luminosos e sonoros que são emitidos quando acontecem erros no aparafusamento e, por isso, constituem os *Poka-Yokes* de advertência. Deste modo, o operador é alertado pelo som e, em paralelo, no ecrã aparece a identificação do problema, impedindo que o rádio passe para o próximo posto sem que todos os parafusos estejam aparafusados corretamente.

Por fim, o facto de existirem vários produtos a serem montados nesta linha de montagem, proporcionando momentos de *change-over*, aumenta substancialmente a probabilidade de ocorrerem erros. Neste sentido, a leitura dos manifestos – lista de materiais e componentes, contendo os respetivos números de identificação, utilizada apenas para cada produto – e dos QRC dos componentes evita a troca dos mesmos entre produtos diferentes e, por isso, constituem outro método *Poka-Yoke*. Quando o código do manifesto é lido no início da linha, este desencadeia o programa de montagem referente ao produto da ordem de produção. Por esta razão, no momento em que se leem os QRC, o programa é capaz de validar ou rejeitar os componentes lidos.

5.1.2 Balanceamento dos postos de teste

Esta secção diz respeito ao cálculo do número de máquinas de teste necessárias após se ter concluído que a montagem manual passaria a trabalhar com três postos de trabalho. Assim, calculou-se a razão entre o tempo de processamento de cada máquina e o tempo de ciclo proveniente da montagem manual.

Os tempos de processamento das máquinas de teste foram obtidos a partir do registo presente no Apêndice 2. A Tabela 25 representa o número de máquinas necessárias.

Tabela 25 – Número de máquinas necessárias em cada posto de teste

Posto de Trabalho	Modelo	Tempo de processamento (seg)	Tempo de Ciclo (seg)	Número de máquinas/modelo	Número de máquinas
T1	A	33,4	28,2	1,2	2
	B	33,3	28,2	1,2	
	C	34,2	31,2	1,1	
T2	A	210,4	28,2	7,5	9
	B	136,2	28,2	4,8	
	C	253,8	31,2	8,1	
T3	A	19,3	28,2	0,7	1
	B	20,0	28,2	0,7	
	C	22,8	31,2	0,8	
P1	A	99,3	28,2	3,5	4
	B	76,9	28,2	2,7	
	C	123,5	31,2	4,0	

Desta forma, concluiu-se que eram necessárias duas máquinas para o posto de iluminação (T1), nove para o teste objetivo elétrico (T2), uma para o teste subjetivo elétrico (T3) e quatro máquinas para o posto de programação (T4). De realçar que, para os casos em que o número de máquinas varia consoante o modelo, optou-se por escolher o número maior de máquinas com o propósito de ser possível cumprir a produção para o modelo que carece de mais tempo de processamento.

De seguida, tendo por base a razão entre o tempo de processamento em cada máquina e o número de máquinas obtido, calculou-se o tempo de ciclo de cada máquina para os modelos em estudo.

Tabela 26 – Tempo de ciclo estimado das máquinas de teste para os modelos A, B e C

		Tempo de ciclo (seg)			
Modelo	Posto	T1	T2	T3	P1
A		16,7	23,4	19,3	24,8
B		16,7	15,1	20,0	19,2
C		17,1	28,2	22,8	30,9

5.1.3 Distribuição dos operadores

Após o cálculo do número de máquinas necessárias para acompanhar o tempo de ciclo estimado, procedeu-se à distribuição dos operadores pelos vários postos de trabalho, dividindo o seu conteúdo de trabalho. Para tal, recorreu-se às WCT que se encontram no Apêndice 6 com o objetivo de alinhar o tempo de ciclo das máquinas com a carga de trabalho dos operadores para que estes totalizem o mínimo de tempo à espera da máquina.

Assim sendo, concluiu-se a seguinte distribuição para os postos de testes: um operador nas máquinas de teste de iluminação e nos testes objetivo elétrico (T1 e T2), outro no teste subjetivo elétrico (T3), um operador dedicado aos testes de programação, etiquetagem e CMI (P1, R1, T4 e R2) e, por fim, outro

para subjetivo mecânico e embalagem (T5 e E1), tal como representado na Tabela 27. O total de operadores necessários, contabilizando os postos de montagem manual, é de 7 trabalhadores.

Tabela 27 – Número de operadores necessários antes e após reconfiguração da linha de montagem final

Modelos	Período	Postos de Trabalho								
		T1	T2	T3	P1	R1	T4	R2	T5	E1
A&B&C	Antes	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
	Depois	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5

A Figura 43 contempla as diferenças existentes entre os tempos de máquina e os tempos de operador, onde o Posto 1 é referente à união dos postos T1 e T2, o Posto 2 corresponde ao T3 tendo em conta que se trata de um posto sentado onde o operador está em interação com a máquina, o Posto 3 à união dos postos P1, R1, T4 e R2 e, por último, o Posto 4 respeitante aos postos T5 e E1.

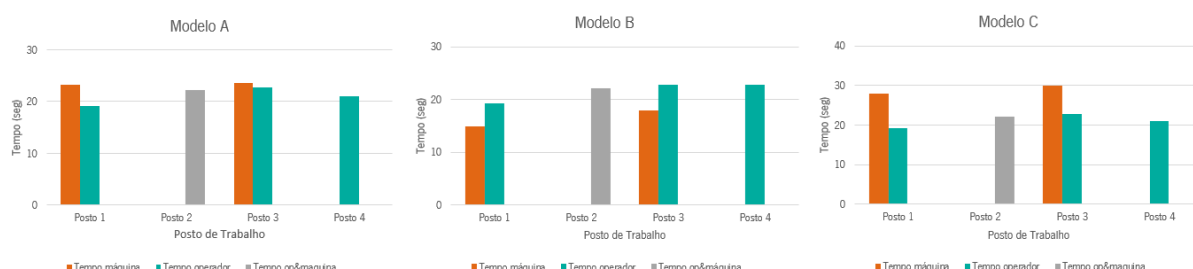


Figura 43 – TC máquina vs TC operador após balanceamento

5.2 Integração da verificação da máquina de limpeza

Após a realização dos *5Whys* na secção 4.2.1.3, surgiu a proposta de integração da verificação das ponteiros ionizadoras, no posto *sub-assembly* de blendas 1, no plano de manutenção preventiva da máquina de limpeza. Assim, incluiu-se o passo “Limpeza e Verificação do Funcionamento da Barra Ionizadora” no *checklist* do plano de manutenção preventiva intitulado de “M1” para garantir o bom estado do material (Figura 44). Esta intervenção ocorre com a periodicidade de duas em duas semanas.

Figura 44 – Checklist do plano de manutenção preventiva do posto *sub-assembly* de blendas 1 após proposta de melhoria

Simultaneamente a esta ação, contactou-se o fornecedor da máquina de limpeza com o intuito de compreender melhor o seu sistema de funcionamento e programas incluídos, bem como o tipo de características que se podiam alterar afim de notar diferenças no processo. Em síntese, este sistema é capaz de remover partículas das blendas e dos componentes através de um sopro ionizado praticado uniformemente e, paralelamente, aspirar essas poeiras e partículas levantadas para um depósito. A ação de limpeza engloba três grandes variáveis: a distância da base (blenda mais placa) desde que entra na máquina até ao seu fim de curso; o tempo de limpeza e o número de ciclos. Sendo que estas variáveis podem ser alteradas.

Assim, após receber o feedback do fornecedor e juntamente com a equipa de manutenção, realizou-se a alteração dos parâmetros mencionados anteriormente. Neste sentido, procedeu-se à diminuição da distância percorrida pela base de 320 mm para 270 mm (uma vez que foram também verificadas partículas nos botões e assim a posição dos botões ficava melhor alinhada com a saída do sopro de ar ionizado), ao aumento do tempo do ciclo de limpeza de 0,5 segundos para 9 segundos e à realização de apenas 1 ciclo, onde estavam 3 definidos – Figura 45.

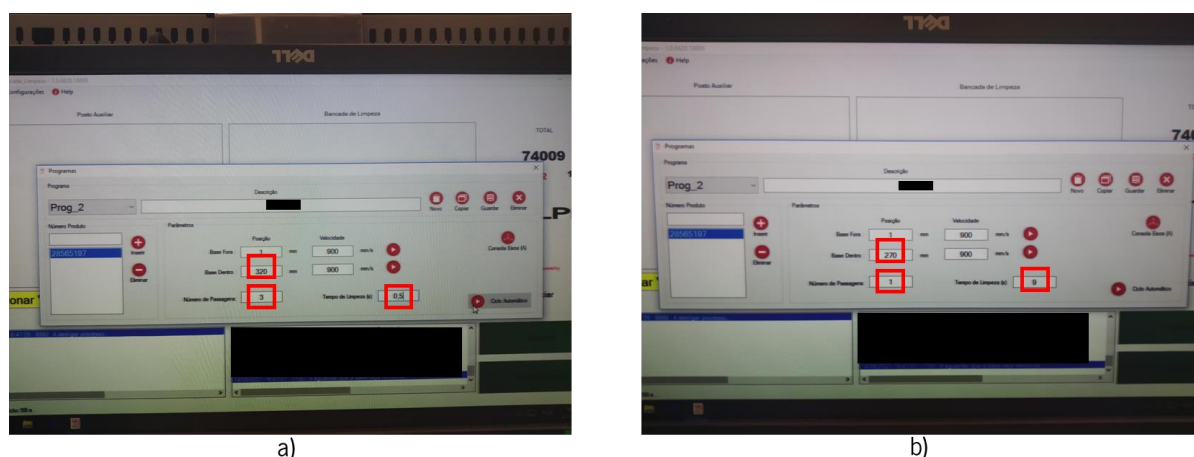


Figura 45 – Parâmetros do sistema de limpeza: a) antes da alteração; b) depois da alteração

5.3 Atualização da Instrução de Trabalho

Tal como mencionado na secção 4.2.1.4, a Instrução de Trabalho do posto de trabalho da etiquetagem para os modelos A, B e C carecia de atualização e, neste sentido, reformulou-se para o formato ilustrado na Figura 46 onde constam as tarefas atuais.

Assim, eliminaram-se as tarefas de colação da etiqueta num saco de plástico, visto que essa operação já não se verificava. Para além disto, adicionou-se uma “verificação de qualidade” na tarefa de colagem da etiqueta que remete o operador para a informação contida no quadrado amarelo cujo título é “Atenção”. Esta informação, acompanhada de um carater especial (representado ao lado da tarefa da IT

e na respetiva imagem), tem como principal função alertar o operador para a correta colação da etiqueta, ou seja, garantir que fica dentro dos limites definidos. Deste modo, é assegurado o *standard* na colagem da etiqueta na parte superior do rádio.

Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho									
Modelo / Processo: Todos os produtos montados na linha 2					Notas importantes: COLOCAR PARA ANÁLISE EM CASO DE ALGUMA NÃO CONFORMIDADE ANTES DE QUALQUER PAUSA FINALIZAR OS ELEMENTOS DE OPERAÇÃO DESCRITOS				
Lugar: Etiketagem		Simbólica de Segurança							
Ordem	Elemento	Medida	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo	Tempo
1	Retirar aparelho testado se o monitor indicar "Retirar rádio" - Foto 1	3	1,8						
2	Caso o aparelho seja rejeitado na programação reteste-o numa bancada diferente. Caso continue a ser rejeitado coloque-o no local de material para análise								
3	Colocar aparelho para testar (monitor indica "Colocar rádio") - Foto 2	3	1,8						
4	Transportar aparelho até à posição de leitura - Foto 3	4	2,4						
5	Retirar etiqueta da impressora e colá-la na parte superior do aparelho - Foto 4	8	4,8						
6	Verificar que a etiqueta está colocada corretamente - Foto 4	2	1,2						
7	Se a etiqueta não ficar colada corretamente ou ficar danificada, repita as tarefas 3, 4 e 5								
8	Carregar no botão verde para confirmar impressão - Foto 5	3	1,8						0,5
9	Verificar "PASSED" no monitor e colocá-lo para o próximo posto de trabalho - Foto 6	3	1,8						
10	Se o monitor indicar outra informação enviar aparelho para análise	3	1,8						
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
Total		29	17,4						0,15
Tempo de ciclo operador									
Operação crítica									
Verificação de qualidade									
Segurança									
Características especiais									
Características especiais									
Características especiais									



Atenção
A ETIQUETA DEVE SER COLOCADA DENTRO DAS MARCAS








Figura 46 – Instrução de trabalho para o posto da etiquetagem

5.4 Auditoria 5S

Face aos problemas mencionados nas secções 4.2.1.5 e 4.2.2.2, nomeadamente falta de organização e identificação dos materiais, surgiu a necessidade de fazer uma auditoria 5S ao processo por forma a melhorar a eficiência dos postos de trabalho e a diminuir os tempos de espera e as deslocações desnecessárias.

Os documentos destas auditorias são designados por *Layered Process Audit* (LPA) e o seu formulário de preenchimento está disponível no Anexo 4.

Assim, numa primeira abordagem reformulou-se o carrinho de apoio ao *change-over*, ilustrado na Figura 47, onde se aumentou o número de prateleiras para que todos os dispositivos tivessem uma área dedicada, sem necessidade de sobreposição, como se verificou que acontecia. Identificaram-se todos os materiais, incluindo parafusos, dispositivos e o próprio carrinho e, para além disto, procedeu-se à sensibilização dos operadores para a importância dos seguintes pontos:

- Armazenar corretamente os materiais e dispositivos auxiliares nos locais marcados no carrinho;
- Deixar sempre a área limpa e arrumada.



Figura 47 – Carrinho de apoio ao *change-over* após 5S

De seguida, foram também identificados dispositivos sem identificação na área de *Infotainment* e, por isso, procedeu-se à retificação da falta de informação visual, como se pode ver a partir da Figura 48.

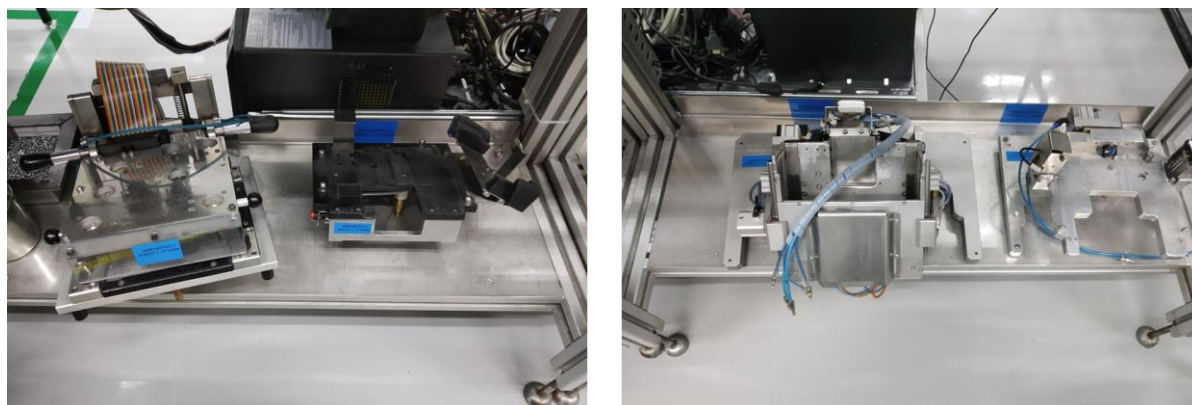


Figura 48 – Identificação de dispositivos após 5S

5.5 Remoção de bancada da área de *Infotainment*

Após a verificação da inutilização da bancada do posto de trabalho referente à montagem de um produto em extinção, procedeu-se ao seu desmantelamento, libertando 8m² de espaço útil de produção (Figura 49). Esta alteração traduziu-se num ganho de 800€ por ano, uma vez que a APTIV assume um custo anual de 100€ por cada m² ocupado.



Figura 49 – Cenário após remoção do posto de trabalho de montagem

6 AVALIAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo abrange as análises e quantificações dos resultados obtidos e esperados após as implementações das propostas de melhoria sugeridas. Neste sentido, foram calculados e comparados indicadores de desempenho da situação antes e depois, bem como os ganhos monetários com o intuito de quantificar o impacto das melhorias.

6.1 Aumento do espaço produtivo

Como foi descrito na secção 0, com a alteração dos volumes de produção, foi possível reconfigurar a linha de montagem final para o *layout* representado na Figura 50.

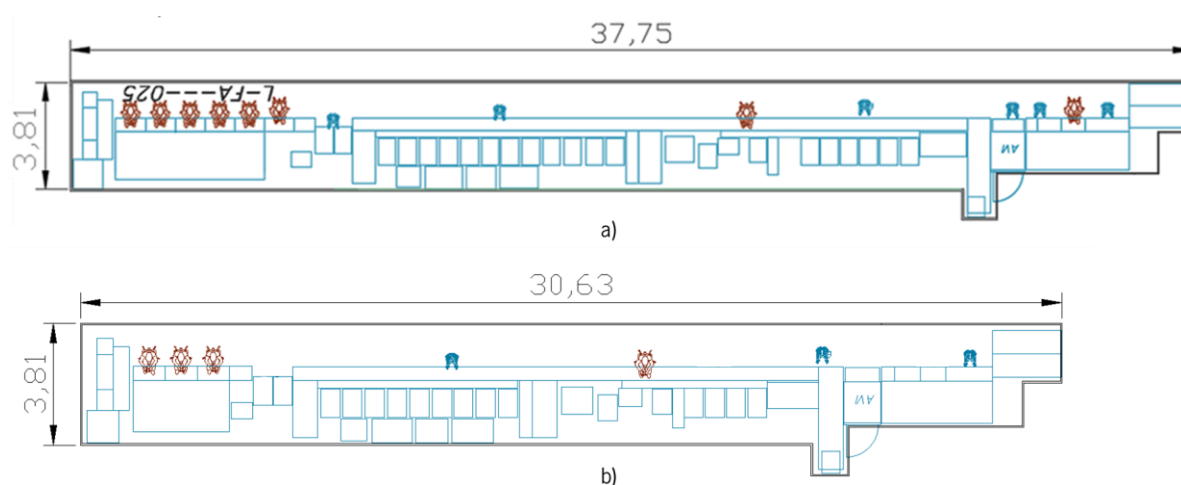


Figura 50 – *Layout* da linha de montagem: a) antes do balanceamento b) depois do balanceamento

Assim, o balanceamento da linha proporcionou uma redução de 27m² do espaço ocupado pela mesma, aumentando o espaço produtivo para outras necessidades. A área ocupada de, inicialmente, 144m² deu origem a 117m², assegurando uma poupança anual de 2 700€ (Tabela 28).

Tabela 28 – Ganho anual estimado em termos de área produtiva após balanceamento da linha

	Antes da proposta	Depois da proposta	Ganho	Redução (%)
Área ocupada pela linha (m ²)	144	117	27	19%
Custo anual (€)	14 383	11 670	2 700	

6.2 Redução do número de operadores

Após o balanceamento da linha de montagem final foi possível concluir que o número de operadores necessários seria menor que o atual e, neste seguimento, a Tabela 29 apresenta o número de operadores necessários após a proposta de estruturação explicada ao longo do relatório.

Desta forma, e tendo em conta que cada operador custa à APTIV 15 000€ por ano, concluiu-se uma poupança de seis operadores que se traduzia, em termos monetários, em 90 000€ anuais.

Tabela 29 – Ganho anual estimado em termos de mão de obra após balanceamento da linha

	Antes da proposta	Depois da proposta	Ganho	Redução (%)
Número total de operadores	13	7	6	46%
Custo anual (€)	195 000	105 000	90 000	

De salientar que esta redução em número de trabalhadores não se refletiu em despedimento, visto que não se enquadrava na cultura da APTIV. Neste seguimento, cada uma destas pessoas seria encaminhada para outras áreas produtivas que careçam de mão de obra adicional.

6.3 Redução dos defeitos

A realização das ações de melhoria apresentadas na secção 5.2, destacando a troca das ponteiros ionizadoras e alteração do programa do sistema de limpeza, originou um impacto positivo no processo em termos quantitativos e monetários. Neste sentido, esta secção incide sobre o impacto do número de defeitos registados no mês de julho após as alterações ocorridas durante o mês de junho.

Assim, tal como se pode observar pelo Gráfico de Pareto da Figura 51, as sujidades das blendas do rádio do modelo C deixaram de contemplar o Top 2 e perfizeram uma quantidade de 18 defeitos de um total de 10 520 aparelhos montados. Comparativamente ao mês de maio, o FTQ traduziu-se numa redução de, aproximadamente, 48%.

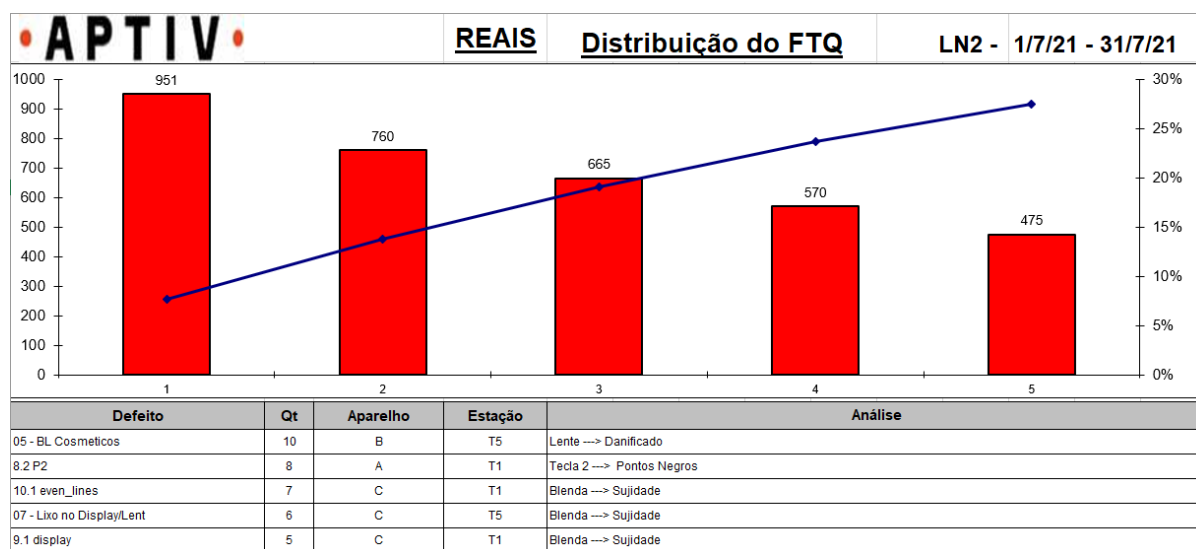


Figura 51 – Gráfico de Pareto dos defeitos registados no mês de julho

A partir da Tabela 30, que compara os valores de FTQ antes e após melhorias, pode constatar-se que a máquina de limpeza do *sub-assembly* de blendas 1 era o principal causador das sujidades das blendas, uma vez que com a alteração do programa se verificou uma redução significativa dos defeitos. O valor de FTQ para este defeito em específico reduziu 1 603 ppm, passando de um valor de 3 314 ppm para 1 711 ppm.

Tabela 30 – Redução do FTQ após melhoria do sistema de limpeza

	Maio	Julho
Quantidade produzida (unid)	16 598	10 520
Quantidade de rádios defeituosos (unid)	55	18
FTQ (ppm)	3 314	1 711
Retrabalho (%)	0,33%	0,17%

Relativamente aos ganhos alcançados, foi possível obter uma poupança de 269€ no retrabalho dos rádios do modelo C, tal como representado na Tabela 31.

Tabela 31 – Poupança obtida no retrabalho dos rádios após melhorias implementadas

	Maio	Junho
Tempo do retrabalho/blenda (min)	16	
Custo/lente e botões (€/unid)	3,233	
Custo/técnico reparador (€/seg)	0,0042	
Quantidade de rádios defeituosos (unid)	55	18
Custo total das reparações feitas (€)	399,6€	130,8€
Poupança (€)	269€	
Redução (%)	67%	

O processo de retrabalho das blendas requeria, para além do custo do técnico reparador (0,0042 €/segundo), a inserção de uma nova lente e quatro novos botões, visto que não era possível reaproveitar esses materiais após desmontar o rádio. Assim, estimou-se uma média de 16 minutos por cada rádio alvo deste retrabalho, adicionando o custo dos novos componentes inseridos que perfazem um total de 3,233€/rádio (0,693€ por cada lente; 0,74€ por cada botão tipo 1 e 0,53€ por cada botão tipo 2, sendo que levam dois botões de cada tipo).

6.4 Melhoria da organização e gestão visual dos dispositivos e materiais

As ações implementadas que resultaram da auditoria 5S descrita na secção 5.4 permitiram obter uma melhor organização e limpeza do local de trabalho, reduzir o tempo de procura por materiais, acidentes de trabalho e erros de produção, gerando uma maior eficiência, qualidade e produtividade.

Relativamente à reformulação do carrinho de *change-over*, após a aplicação dos 5S, foi possível obter as seguintes melhorias:

- Espaço de armazenamento adequado às necessidades dos materiais e dispositivos existentes;
- Limpeza dos materiais não utilizados;
- Maior clareza na identificação dos dispositivos e materiais nos momentos de *change-over*;
- Redução do tempo perdido à procura dos dispositivos.

Quanto ao tempo gasto à procura dos dispositivos e materiais, antes da melhoria implementada, era de, aproximadamente, 48 segundos. Após a alteração do carrinho de *change-over*, acompanhado da nova

marcação através das etiquetas de identificação, o tempo de procura passou a contemplar o valor de, aproximadamente, 19 segundos. Assim sendo, como se pode constatar através da Tabela 32, foi possível obter uma redução de 60% do tempo de procura dos dispositivos e materiais que compreende a deslocação até ao carrinho de *change-over* e identificação da correta posição do equipamento.

Tabela 32 – Redução do tempo de procura de dispositivos e materiais após 5S

	Antes melhoria	Depois melhoria	Redução (%)
Tempo de procura de dispositivos e materiais (seg)	48	19	60%

Considerando também a identificação de alguns dispositivos em toda a área de *Infotainment*, no geral, foi possível alcançar também um aspeto do local de trabalho mais cuidado, limpo e arrumado, o que se refletiu diretamente na satisfação dos colaboradores e na sua motivação para cumprimento e disciplina dos 5S.

6.5 Aumento da produtividade e taxa de utilização da linha

Após a proposta de estruturação da linha de montagem final, é necessário medir o desempenho do novo sistema sugerido e, por isso, foram calculadas e comparadas as seguintes medidas de desempenho: produtividade e taxa de utilização da linha.

Através da Figura 52 é possível observar que a produtividade aumentará 6,5 unidades por hora-Homem e que a taxa de utilização da linha passará a ser de 94,3%, um incremento de, aproximadamente, 27%.

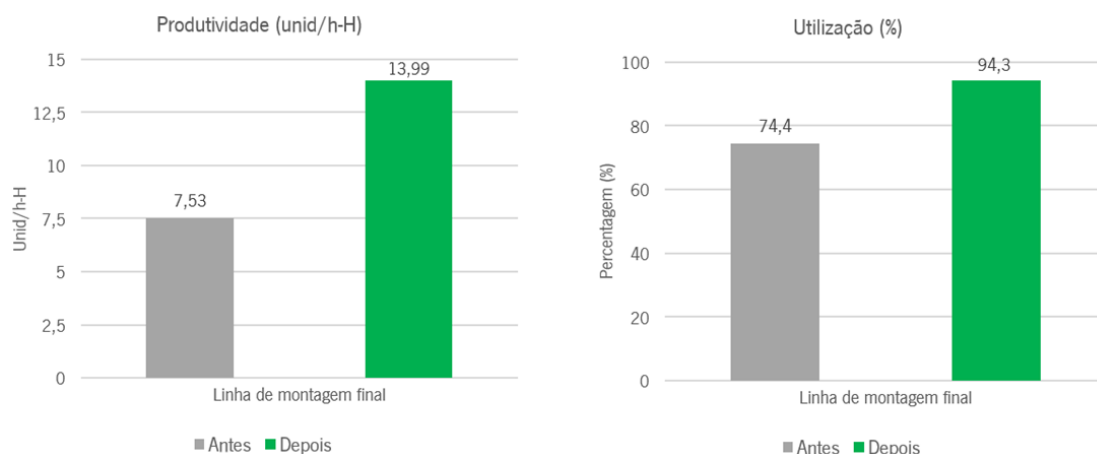


Figura 52 – Valores a) produtividade; b) taxa de utilização antes e depois do balanceamento da linha

No Apêndice 9 estão representados todos os cálculos auxiliares efetuados para determinar o impacto das alterações sugeridas.

6.6 Síntese de resultados

Esta secção dedica-se à apresentação sucinta dos resultados quantitativos alcançados e previstos representados na Tabela 33.

Tabela 33 – Síntese dos resultados

Proposta	Resultado	Área/Posto de Trabalho	Ganho monetário
Propostas implementadas			
Integração da verificação das ponteiros ionizadoras da máquina de limpeza no <i>checklist</i> da manutenção periódica	67% de redução do número de defeitos	<i>Sub-assembly</i> de blendas 1	269€
Atualização das IT	Aumento da estabilidade do processo; Menor variabilidade; Aumento da qualidade; Redução de desperdícios.	Linha de montagem	Não definido
Auditoria 5S	Melhor organização do local; Minimização do tempo de procura de materiais; Maior eficiência e produtividade.	Área de <i>Infotainment</i>	Não definido
Remoção de bancada inutilizada	Aumento de 8m² de espaço útil produtivo	Área de <i>Infotainment</i>	800€
Propostas previstas			
Balanceamento da linha de montagem final	Aumento de 27m² de espaço útil produtivo	Linha de montagem	2 700€
Redução do número de operadores	Poupança de 6 operadores	Linha de montagem	90 000€
Poupança anual total (€)			93 500€
Poupança pontual (€)			269€

De ressaltar que o ganho anual correspondente aos 90 000€ da poupança de seis operadores é um cálculo relativo à linha de montagem final, uma vez que estes colaboradores vão ser transferidos para outras áreas da empresa que careçam de mão de obra.

7 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais do projeto desenvolvido onde é possível verificar os principais resultados obtidos e propostas de trabalho futuro.

7.1 Considerações finais

A concretização deste projeto de dissertação foi desenvolvido no contexto do processo de melhoria contínua da APTIV, cuja produção se centra no fornecimento de componentes eletrónicos para automóveis. Mais concretamente incidiu na área de produção onde se localiza a linha de montagem final dos rádios dos modelos A a F no complexo produtivo do Edifício 2. Numa primeira instância, foi feita uma análise do estado atual com os objetivos de compreender o processo produtivo e, posteriormente, diagnosticar os problemas identificados.

Assim, através da aplicação dos conceitos *Lean Thinking*, foi possível atuar nos desperdícios encontrados, dos quais se destacaram os seguintes: falta de balanceamento e desajuste da capacidade produtiva, onde se verificou grandes desfasamentos entre TC e TT, sujidades nas blendas que representou um crescente aumento no volume de retrabalho, instruções de trabalho desatualizadas e ainda necessidade de atualização dos 5S.

Após realizada a fase de diagnóstico inicial onde se descreveram a situação atual e os problemas, procedeu-se ao balanceamento da linha de montagem final com base no volume de produção previsto para o ano de 2021. Este novo balanceamento, que incluiu os postos de montagem manual e os postos de teste, permitiria uma poupança de 92 700€/ano uma vez que englobou o ganho de 27m² e a poupança de seis operadores. Para além disto, com a implementação da proposta de melhoria, estimou-se que a produtividade da linha aumente 6,5 unidades por hora-Homem e percentagem de utilização, aproximadamente, 20%.

Ao longo do decorrer do estágio, durante o mês de maio, foi também possível identificar um grande número de defeitos relativos a sujidades nas blendas do rádio do modelo C. Após a criação do *Quality Alert* e da alteração dos parâmetros da máquina de limpeza, em julho, voltou-se a analisar o número de defeitos e constatou-se uma redução de 67% de defeitos que se traduziu numa poupança de 269€ face ao retrabalho das blendas.

Por fim, ressaltar que, no decorrer deste projeto, foi possível consolidar os conhecimentos aprendidos na universidade, nomeadamente, a aplicação dos princípios *Lean Thinking*. Para além disto, as tarefas

realizadas permitiram complementar não só o desenvolvimento profissional, mas também pessoal e social, imprescindíveis para aprimorar as *soft skills* e melhorar a adaptação a novas situações.

7.2 Trabalho futuro

Como trabalho futuro salienta-se a finalização da proposta de melhoria com a implementação física da nova sugestão da linha de montagem final, uma vez que não pôde ser implementada devido a variadas razões, nomeadamente, incompatibilidade com a duração do estágio curricular e atrasos causados pela Covid-19. No entanto, destaca-se a sua importância visto que permitirá à APTIV poupanças significativas a nível monetário.

Após as alterações realizadas na prática conforme sugerido, recomenda-se que se dê continuidade aos cálculos de ajustes de capacidade dado que os volumes de produção mostram uma tendência de decréscimo ao longo dos anos. Neste seguimento, enquanto os produtos não se tornem obsoletos e a linha não seja extinta, poderá ser continuamente reduzida, especialmente no número de máquinas de testes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M. F., Alves, A. C., & Moreira, F. (2017). Lean-Green models for eco-efficient and sustainable production. *Energy*, 137, 846–853. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.016>
- Almeida, G. (2019). *Melhoria em processos de montagem de controladores eletrônicos usando princípios Lean numa indústria do ramo automóvel*. Universidade do Minho.
- Alves, A. C. (1999). *Metodologia para a Concepção de Sistemas de Produção Orientados ao Produto*. Universidade do Minho.
- Alves, A. C. (2007). *Projeto Dinâmico de Sistemas de Produção Orientados ao Produto*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.
- Alves, A. C. (2018). U-shaped cells Operating Modes: a Review and a Hands-on Simulation Comparison. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(2), 87–97. <https://doi.org/658.5:004.94>
- Alves, A. C., Abreu, M. F., Tereso, A. P., & Ferreira, P. V. (2017). Production System Configuration Selection in a Lean Environment Using Analytic Hierarchy Process. In *Cellular Manufacturing Systems: Recent Developments, Analysis and Case Studies* (pp. 57–76). Department of Production and Systems, University of Minho.
- Alves, A. C., Dinis-Carvalho, J., Sousa, R. M., Moreira, F., & Lima, R. M. (2011). Benefits of Lean Management: Results form some Industrial Cases in Portugal. *6 Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia (CLME'2011)*, 1977, 9. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/1822/18873>
- Alves, A. C., Sousa, R. M., & Dinis-Carvalho, J. (2016). Redesign of the Production System: A Hard Decision-Making Process. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2016-Janua*, 1128–1132. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2015.7385824>
- Alves, A. C., Sousa, R. M., Dinis-Carvalho, J., Lima, R. M., Moreira, F., Leão, C. P., Maia, L. C., Mesquita, D., & Fernandes, S. (2014). Final year Lean projects: advantages for companies, students and academia. *Sixth International Symposium on Project Approaches in Engineering Education (PAEE'2014)*, 1–10. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/1822/30172>
- Alves, A. C., Sousa, R. M., Dinis-Carvalho, J., & Moreira, F. (2015). Production Systems Redesign in a Lean Context: A Matter of Sustainability. *FME Transactions*, 43(4), 344–352. <https://doi.org/10.5937/fmet1504344A>
- Amaro, P., Alves, A. C., & Sousa, R. (2021). Lean Thinking as an Organizational Culture: A Systematic Literature Review. *Organizational Cultures: An International Journal*, 21(2), 63–102.

<https://doi.org/https://doi.org/10.18848/2327-8013/CGP/v21i02/63-102>

- Amaro, P., Alves, A. C., & Sousa, R. M. (2019). Lean Thinking: A Transversal and Global Management Philosophy to Achieve Sustainability Benefits. In *Lean Engineering for Global Development*. Springer International Publishing. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_1
- Arezes, P. M., Dinis-Carvalho, J., & Alves, A. C. (2015). Workplace ergonomics in lean production environments: A literature review. *Work*, 52(1), 57–70. <https://doi.org/10.3233/WOR-141941>
- Bastos, N. M. M. T. (2020). *Reconfiguração de uma linha de produção usando princípios Lean Thinking numa empresa de componentes para a indústria automóvel*. Universidade do Minho.
- Bateman, N., Philp, L., & Warrender, H. (2016). Visual management and shop floor teams – development, implementation and use. *International Journal of Production Research*, 54(24), 7345–7358. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1184349>
- Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
- 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>
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations and Production Management*, 34(7), 876–940. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation* (4th ed.). Picsie Books.
- Black, J. (2007). Design rules for implementing the Toyota Production System. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3639–3664. <https://doi.org/10.1080/00207540701223469>
- Bon, A. T., & Kee, T. S. (2015). Implementation of Lean Manufacturing for Productivity Improvement in Malaysia. *IEOM 2015 - 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093823>
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.010>
- Bragança, S., & Costa, E. (2015). An application of the Lean Production Tool Standard Work. *Jurnal Teknologi*, 76(1), 47–53. <https://doi.org/10.11113/jt.v76.3659>

- Burbidge, J. (1989). *Production Flow Analysis for Planning Group Technology*. Clarendon Press.
- Carmo-Silva, S., & Alves, A. C. (2006). Detailed Design of Product Oriented Manufacturing Systems. *Proceedings of Group Technology / Cellular Manufacturing Third International Conference – 2006*, 260–269. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/1822/19149>
- Chen, J. C., Li, Y., & Shady, B. D. (2010). From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: An industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48(4), 1069–1086. <https://doi.org/10.1080/00207540802484911>
- D'Antonio, G., Bedolla, J. S., & Chiabert, P. (2017). A novel methodology to integrate Manufacturing Execution Systems with the lean manufacturing approach. *Procedia Manufacturing*, 11, 2243–2251. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.372>
- Das, B., Venkatadri, U., & Pandey, P. (2014). Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1–4), 307–323. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5407-x>
- Dennis, P. (2016). *Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. CRC Press.
- Deshmukh, S. G., & Haleem, A. (2020). Framework for Manufacturing in Post-COVID-19 World Order: An Indian Perspective. *International Journal of Global Business and Competitiveness*, 15(1), 49–60. <https://doi.org/10.1007/s42943-020-00009-1>
- Dias, M., Araújo, I., Alves, A. C., Lopes, I., & Teixeira, S. (2019). Reusing Equipment in Cells Reconfiguration for a Lean and Sustainable Production. *Procedia Manufacturing*, 39, 1038–1047. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.373>
- Dombrowski, U., & Mielke, T. (2014). Lean Leadership -15 Rules for a sustainable Lean Implementation. *Procedia CIRP*, 17, 565–570. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.146>
- Eaidgah, Y., Maki, A. A., Kurczewski, K., & Abdekhodae, A. (2016). Visual management, performance management and continuous improvement: a lean manufacturing approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(2), 187–210. <https://doi.org/10.1108/ijlss-09-2014-0028>
- Emiliani, M. L. (1998). Lean behaviors. *Management Decision*, 36(9), 615–631.
- Farooq, S., & O'Brien, C. (2015). An action research methodology for manufacturing technology selection: a supply chain perspective. *Production Planning and Control*, 26(6), 467–488. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.924599>
- Fullerton, R. R., & McWatters, C. S. (2001). Production performance benefits from JIT implementation. *Journal of Operations Management*, 19(1), 81–96. <https://doi.org/10.1016/S0272->

- Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. *Management Decision*, 46(4), 565–579. <https://doi.org/10.1108/00251740810865067>
- Ghosh, S., & Gagnon, R. J. (1989). A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. In *International Journal of Production Research* (Vol. 27, Issue 4). <https://doi.org/10.1080/00207548908942574>
- Gomes da Costa, L. F. T., & Arezes, P. M. F. M. (2003). *Introdução ao Estudo do Trabalho*. Universidade do Minho.
- Gorenflo, G., & Moran, J. W. (2009). The ABCs of PDCA. *Accreditation Coalition*.
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., & Harrison, R. (2008). *Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving*. Lean Enterprise Research Centre.
- Hirano, H. (1995). *5 Pillars of the Visual Workplace: The Sourcebook for 5S Implementation*. Productivity Press.
- Hirano, H. (2009). *JIT Implementation Manual: The Complete Guide to Just-in-Time Manufacturing* (2nd ed.). Productivity Press.
- 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>
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy* (Second Edi). McGraw-Hill.
- Jaca, C., Viles, E., Paipa-Galeano, L., Santos, J., & Mateo, R. (2014). Learning 5S principles from Japanese best practitioners: Case studies of five manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4574–4586. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.878481>
- Jastia, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 53(3), 867–885. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508>
- Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, M., & Espinosa, M. M. (2015). 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. *Safety Science*, 78, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.022>
- Johnson, H., Johansson, M., & Andersson, K. (2014). Barriers to improving energy efficiency in short sea shipping: an action research case study. *Journal of Cleaner Production*, 66, 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.046>
- Khalfan, M., & Ismail, M. (2020). Engineering Projects and Crisis Management: : A Descriptive Study on

- the Impact of COVID-19 on Engineering Projects in Bahrain. *2020 2nd International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs*.
<https://doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9319948>
- Krafick, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30(1), 41–52.
- Kumar, N., & Mahto, D. (2013). Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Global Journal of Research In Engineering*, 13(2), 807–811.
- 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>
- Leal, R., Barreiros, F. M., Alves, L., Romeiro, F., Vasco, J. C., Santos, M., & Marto, C. (2017). Additive manufacturing tooling for the automotive industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(5–8), 1671–1676. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0239-8>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota Way Fieldbook: A Practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps*. 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>
- Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2021). Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 162.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120343>
- Logistics World's Blog. (2010). *Logistics World's Blog*. JIDOKA: The Concept.
<https://txemainlogisticsworld.wordpress.com/2010/05/10/jidoka-the-concept/>
- Mahut, F., Daaboul, J., Bricogne, M., & Eynard, B. (2017). Product-Service Systems for servitization of the automotive industry: a literature review. *International Journal of Production Research*, 55(7), 2102–2120. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1252864>
- Martins, M. (2020). *Implementação e avaliação de uma ferramenta de monitorização da produção*. Universidade do Minho.
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process

- Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6 A), 662–673.
<https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time* (3rd ed.). Engineering & Management Press.
- Moreira, H. D. A. (2017). *Melhoria em células de montagem de blendas de rádios para a indústria automóvel aplicando princípios Lean*. Universidade do Minho.
- Nallusamy, S., & Adil Ahamed, M. A. (2017). Implementation of lean tools in an automotive industry for productivity enhancement - A case study. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 29, 175–185. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.175>
- Neirotti, P. (2020). Work intensification and employee involvement in lean production: new light on a classic dilemma. *International Journal of Human Resource Management*, 31(15), 1958–1983.
<https://doi.org/10.1080/09585192.2018.1424016>
- O'Brien, R. (1998). An Overview of the Methodological Approach of Action Research. *Faculty of Information Studies, University of Toronto*.
- Offodile, O. F., Mehrez, A., & Grznar, J. (1994). Cellular manufacturing: A taxonomic review framework. *Journal of Manufacturing Systems*, 13(3), 196–220. [https://doi.org/10.1016/0278-6125\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0278-6125(94)90005-1)
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press.
- Oliveira, M. S. (2018). *Reestruturação de duas linhas de montagem final usando princípios Lean numa empresa de componentes eletrónicos*. Universidade do Minho.
- Oliveira, M. S., Moreira, H. D. A., Alves, A. C., & Ferreira, L. P. (2019). Using lean thinking principles to reduce wastes in reconfiguration of car radio final assembly lines. *Procedia Manufacturing*, 41, 803–810. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.073>
- Ortiz, C. A. (2006). *Kaizen assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. CRC Press.
- Osada, T. (1991). *The 5S's: Five Keys to a Total Quality Environment*. Asian Productivity Organization.
- Pereira, G. (2019). *Análise e melhoria de um processo produtivo recorrendo a ferramentas Lean numa empresa de componentes eletrónicos*. Universidade do Minho.
- Prasad, D., & Jayswal, S. C. (2019). Assessment of a reconfigurable manufacturing system. *Benchmarking*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2018-0147>
- Productivity Development Team, T. (1999). *Cellular Manufacturing: One-Piece Flow for Workteams*. CRC Press.

- Productivity Development Team, T. (2002). *Standard Work for the Shopfloor*. CRC Press.
- Qing-Ling, D., Shu-Min, C., Lian-Liang, B., & Jun-Mo, C. (2008). Application of PDCA Cycle in the Performance Management System. *2008 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2008*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/WiCom.2008.1682>
- Resende, V., Alves, A. C., Batista, A., & Silva, Â. (2014). Financial and human benefits of lean production in the plastic injection industry: An action research study. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(2), 61–75. <https://doi.org/10.22116/jiems.2018.80685>
- Ribeiro, L., Alves, A. C., Moreira, J. F. P., & Ferreira, M. (2013). Applying Standard Work in a paint shop of wood furniture plant: a case study. *22nd International Conference on Production Research*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/1822/36312>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Shingo, S. (1986). *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke system*. Routledge.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press.
- Silva, A. S., Medeiros, C. F., & Vieira, R. K. (2017). Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *Journal of Cleaner Production*, 150, 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>
- Singh, N., & Rajamani, D. (1996). *Cellular Manufacturing Systems: Design, Planning and Control*. Chapman & Hall.
- Sjoberg, K. (2020). Automotive Industry Faces Challenges [Connected and Autonomous Vehicles]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 15(3), 109–112. <https://doi.org/10.1109/MVT.2020.3005604>
- Solaimani, S., Veen, J., Sobek, D. K., Gulyaz, E., & Venugopal, V. (2019). On the application of Lean principles and practices to innovation management: A systematic review. *TQM Journal*, 31(6), 1064–1092. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2018-0208>
- Soltan, H., & Mostafa, S. (2015). Lean and agile performance framework for manufacturing enterprises. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 476–484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.082>
- Sousa, I. P. (2019). *Aumento da capacidade produtiva numa empresa da indústria automóvel*. Universidade do Minho.
- Souza, A. (2017). *Engenharia Lean*. Os Famosos 3M's Do Lean: Muda, Mura e Muri. <https://engenharialean.wordpress.com/2017/01/29/os-famosos-3ms-do-lean-muda-mura-e->

muri/

- Statista Research Department. (2021). *Worldwide automobile production through 2020*. Estimated Worldwide Automobile Production from 2000 to 2020. <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>
- 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>
- 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>
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6), 766–799. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071>
- Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill Professional.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Free Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation* (2nd ed.). Free Press.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Ross, D. (1990). *The Machine that changed the world*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Zadry, H. R., Darwin, R., & Zadry, H. R. (2020). The Success of 5S and PDCA Implementation in Increasing the Productivity of an SME in West Sumatra. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012075>

APÊNDICE 1 – ESTUDO DE TEMPOS

A medida do trabalho compreende um conjunto de técnicas que auxiliam a análise da tarefa executada pelo operador, nomeadamente, cronometragem, amostragem de sistemas de tempos predeterminados e tempos sintéticos (Gomes da Costa & Arezes, 2003). Neste seguimento, e uma vez que se tratam de tarefas manuais com ciclos curtos e repetitivos, a técnica mais indicada revelou ser a observação direta, ou seja, a cronometragem.

Enquanto se procede à medição dos tempos utilizando o cronómetro, são perceptíveis algumas variações nos tempos anotados relativas à mesma tarefa. Estas diferenças acontecem devido a vários fatores aleatórios, tais como diferentes ritmos e movimentos adotados pelo operador, variadas posições e outras condições das peças de trabalho, diversas posições das ferramentas utilizadas, ligeiros erros de cronometragem, entre outros (Gomes da Costa & Arezes, 2003).

A ocorrência desta variabilidade levanta questões sobre a fiabilidade das medições realizadas e, neste sentido, é importante saber se o número de medições feitas é suficiente. Assim, através da Equação 3, é possível calcular o número mínimo de medições.

$$N' = \left(\frac{Z \cdot s}{\varepsilon \cdot m} \right)^2$$

Equação 3 – Fórmula referente ao cálculo do número mínimo de medições

Onde N' é o número de observações que é preciso efetuar para satisfazer o nível de confiança desejado; Z é o valor tabelado da distribuição normal; s é o desvio-padrão da distribuição das médias; ε é a precisão; e m é a média da amostra dos tempos.

De realçar que a expressão para o cálculo do desvio padrão é a Equação 4, dado que o tamanho da amostra é menor que 30 ($N \leq 30$).

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Equação 4 – Fórmula do desvio padrão

Assim sendo, procedeu-se ao uso das fórmulas supramencionadas para se perceber se a primeira série de medições era suficiente para um nível de confiança de 95% e uma precisão de $\pm 5\%$. Nestas condições, tem-se $Z = 1,96$ e $\varepsilon = 0,05$.

Caso se verifique a condição $N' \leq N$ (número de medições realizadas), pode concluir-se que as observações realizadas são suficientes.

Com o intuito de calcular o TC de cada um dos modelos mais produzidos na linha de montagem final, foram feitas 10 medições de tempos em cada posto de trabalho. Para os postos de trabalho que são constituídos por máquinas, caso dos seguintes postos: teste de iluminação (T1), teste objetivo elétrico (T2), teste subjetivo elétrico (T3), programação (P1) e teste CMI (T4), não foram alvo deste estudo dos tempos.

As Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36 contêm os registos dos tempos medidos no *Gemba* de cada modelo mais produzido em cada posto de trabalho de montagem manual.

Tabela 34 – Registo das medições dos tempos do modelo A

Modelo A										
	Medições de tempo (seg)									
Posto de Trabalho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PT1 (Posto 1)	14,30	15,94	14,90	14,82	16,23	14,92	14,74	16,31	15,97	15,13
PT2 (Posto 2)	16,91	15,73	17,04	17,30	16,12	18,66	17,83	17,28	17,60	15,88
PT3 (Posto 3)	20,17	19,52	20,42	21,79	19,56	18,52	18,17	18,84	17,02	16,56
PT4 (Posto 4)	17,69	16,54	16,86	14,88	16,35	16,85	14,93	16,42	14,27	17,95
PT5 (Posto 5)	13,44	15,79	14,17	13,43	14,80	13,60	12,25	12,81	15,22	14,57
PT6 (Posto 6)	10,78	10,60	12,40	12,98	10,97	11,12	10,37	10,64	10,89	12,55
R1 (Etiquetagem)	8,72	8,87	8,79	8,09	9,69	9,66	10,24	10,37	9,33	9,51
R2 (Passaporte)	10,43	12,12	11,03	10,86	10,39	12,03	12,35	12,78	12,26	11,77
T5 (Teste subjetivo mecânico)	15,69	14,65	14,13	13,72	15,49	13,22	12,45	15,22	13,59	12,71
E1 (Embalagem)	10,47	9,69	10,45	9,31	10,94	11,39	10,90	9,02	10,90	9,53

Tabela 35 – Registo das medições dos tempos do modelo B

Modelo B										
	Medições de tempo (seg)									
Posto de Trabalho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PT1 (Posto 1)	12,99	13,56	12,92	14,57	14,80	14,89	15,49	14,59	12,89	14,12
PT2 (Posto 2)	16,29	15,25	16,78	17,73	16,22	15,02	15,45	16,74	15,38	15,51
PT3 (Posto 3)	19,35	19,13	20,06	20,44	19,78	18,40	19,84	19,39	16,42	17,65
PT4 (Posto 4)	14,63	15,30	14,36	14,88	16,67	16,31	14,08	14,90	15,56	16,11
PT5 (Posto 5)	14,47	12,03	13,27	12,81	12,14	11,78	12,09	13,79	13,65	13,26
PT6 (Posto 6)	10,31	10,60	12,40	12,02	10,97	11,12	10,37	10,64	10,06	12,55
R1 (Etiquetagem)	8,78	7,91	7,54	8,67	9,04	9,43	9,11	9,73	8,70	8,89
R2 (Passaporte)	10,94	11,86	10,03	11,33	10,56	11,06	11,35	10,23	11,88	11,21
T5 (Teste subjetivo mecânico)	13,95	14,93	13,43	14,55	14,29	14,01	14,47	11,99	12,78	13,22
E1 (Embalagem)	9,34	10,91	11,04	9,59	10,23	11,32	10,62	9,43	9,55	9,09

Tabela 36 – Registo das medições dos tempos do modelo C

Modelo C										
	Medições de tempo (seg)									
Posto de Trabalho	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PT1 (Posto 1)	22,63	21,44	20,59	18,61	21,44	19,87	17,50	19,13	19,02	20,36
PT2 (Posto 2)	17,31	16,62	13,11	17,46	16,03	16,23	17,24	17,12	17,51	16,59
PT3 (Posto 3)	20,18	21,00	20,40	19,73	22,97	21,53	21,26	23,43	22,19	20,41
PT4 (Posto 4)	14,46	16,08	16,87	14,46	16,81	16,64	13,54	14,50	15,17	14,86
PT5 (Posto 5)	14,76	14,20	14,37	13,79	12,65	15,34	12,07	12,80	12,07	14,20
PT6 (Posto 6)	13,05	12,12	11,08	12,86	14,06	11,46	13,51	12,71	11,20	13,14
R1 (Etiquetagem)	8,21	8,54	7,98	8,56	9,43	9,89	10,07	9,05	8,78	9,67
R2 (Passaporte)	10,34	12,56	11,49	11,02	10,22	12,89	12,31	12,35	11,31	12,04
T5 (Teste subjetivo mecânico)	14,34	15,89	17,01	15,62	15,87	16,73	18,37	15,21	15,35	14,92
E1 (Embalagem)	14,23	12,78	13,80	14,67	14,92	13,50	11,98	13,77	14,81	15,01

Seguidamente, e de forma a perceber se o número de medições foi suficiente, realizaram-se os cálculos da média, do desvio-padrão e, por último, do número de medições necessárias (N') para posterior

comparação com N . Nas Tabela 37, Tabela 38 e Tabela 39 encontram-se esses registros para cada posto de trabalho.

Tabela 37 – Registro da média, desvio-padrão e número de medições necessárias do modelo A

Modelo A			
Posto de Trabalho	m (seg)	s (seg)	N'
PT1 (Posto 1)	15,3	0,68	3,02
PT2 (Posto 2)	17,0	0,87	4,03
PT3 (Posto 3)	19,1	1,50	9,54
PT4 (Posto 4)	16,3	1,16	7,75
PT5 (Posto 5)	14,0	1,05	8,58
PT6 (Posto 6)	11,3	0,89	9,52
R1 (Etiquetagem)	9,3	0,68	8,11
R2 (Passaporte)	11,6	0,81	7,51
T5 (Teste subjetivo mecânico)	14,1	1,09	9,18
E1 (Embalagem)	10,3	0,77	8,67

Tabela 38 – Registro da média, desvio-padrão e número de medições necessárias do modelo B

Modelo B			
Posto de Trabalho	m (seg)	s (seg)	N'
PT1 (Posto 1)	14,1	0,89	6,11
PT2 (Posto 2)	16,0	0,82	4,01
PT3 (Posto 3)	19,0	1,17	5,77
PT4 (Posto 4)	15,3	0,82	4,46
PT5 (Posto 5)	12,9	0,86	6,74
PT6 (Posto 6)	11,1	0,86	9,17
R1 (Etiquetagem)	8,8	0,62	7,63
R2 (Passaporte)	11,0	0,59	4,41
T5 (Teste subjetivo mecânico)	13,8	0,86	5,98
E1 (Embalagem)	10,1	0,77	8,90

Tabela 39 – Registro da média, desvio-padrão e número de medições necessárias do modelo C

Modelo C			
Posto de Trabalho	m (seg)	s (seg)	N'
PT1 (Posto 1)	20,1	1,46	8,18
PT2 (Posto 2)	16,5	1,24	8,63
PT3 (Posto 3)	21,3	1,17	4,60
PT4 (Posto 4)	15,3	1,12	8,16
PT5 (Posto 5)	13,6	1,09	9,88
PT6 (Posto 6)	12,5	0,96	9,09
R1 (Etiquetagem)	9,0	0,68	8,86
R2 (Passaporte)	11,7	0,88	8,76
T5 (Teste subjetivo mecânico)	15,8	1,10	7,49
E1 (Embalagem)	13,9	0,94	7,04

Por observação dos valores de N' , pode constatar-se que o número de observações realizadas foi suficiente, pois N' , para todos os postos de trabalho, é inferior ao número de observações efetuadas ($N = 10$). Assim, conclui-se que o N' obtido garante o nível de confiança desejado.

APÊNDICE 2 – TEMPOS DAS MÁQUINAS DE TESTE

Tabela 40 – Tempo de ciclo do teste de iluminação para o modelo A

Modelo A											
	Medições de tempo (seg)										
T1 (Teste de iluminação)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	30,00	30,00	29,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	29,9
Nº de máquinas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de Ciclo/máquina	15,00	15,00	14,50	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,0
Handling/rádio	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,5
Tempo de Ciclo PT	18,50	18,50	18,00	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,5

Tabela 41 – Tempo de ciclo do teste objetivo elétrico para o modelo A

Modelo A											
	Medições de tempo (seg)										
T2 (Teste objetivo elétrico)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	208,00	209,00	209,00	209,00	208,00	208,00	208,00	208,00	208,00	209,00	208,4
Nº de máquinas	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Tempo de Ciclo/máquina	17,33	17,42	17,42	17,42	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,42	17,4
Handling/rádio	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,0
Tempo de Ciclo PT	19,33	19,42	19,42	19,42	19,33	19,33	19,33	19,33	19,33	19,42	19,4

Tabela 42 – Tempo de ciclo do teste subjetivo elétrico para o modelo A

Modelo A											
	Medições de tempo (seg)										
T3 (Teste subjetivo elétrico)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/op&máquina	14,00	14,00	15,00	14,00	14,00	15,00	14,00	14,00	14,00	15,00	14,3
Nº de máquinas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de Ciclo/op&máquina	14,00	14,00	15,00	14,00	14,00	15,00	14,00	14,00	14,00	15,00	14,3
Handling/rádio	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,0
Tempo de Ciclo PT	19,00	19,00	20,00	19,00	19,00	20,00	19,00	19,00	19,00	20,00	19,3

Tabela 43 – Tempo de ciclo da programação para o modelo A

Modelo A											
	Medições de tempo (seg)										
P1 (Programação)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	95,00	94,00	95,00	94,00	94,00	94,00	94,00	95,00	95,00	95,00	94,5
Nº de máquinas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Tempo de Ciclo/máquina	15,83	15,67	15,83	15,67	15,67	15,67	15,67	15,83	15,83	15,83	15,8
Handling/rádio	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,8
Tempo de Ciclo PT	20,63	20,47	20,63	20,47	20,47	20,47	20,47	20,63	20,63	20,63	20,6

Tabela 44 – Tempo de ciclo do teste CMI para o modelo A

Modelo A											
	Medições de tempo (seg)										
T4 (Teste CMI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	11,00	10,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,00	10,00	10,00	10,6
Nº de máquinas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo de Ciclo/máquina	11,00	10,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,00	10,00	10,00	10,6
Handling/rádio	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,0
Tempo de Ciclo PT	18,00	17,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,00	17,00	17,00	17,6

Tabela 45 – Tempo de ciclo do teste de iluminação para o modelo B

Modelo B											
	Medições de tempo (seg)										
T1 (Teste de iluminação)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	29,00	29,00	30,00	29,8
Nº de máquinas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de Ciclo/máquina	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	14,50	14,50	15,00	14,9
Handling/rádio	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,5
Tempo de Ciclo PT	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,00	18,00	18,50	18,4

Tabela 46 – Tempo de ciclo do teste objetivo elétrico para o modelo B

Modelo B											
	Medições de tempo (seg)										
T2 (Teste objetivo elétrico)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	134,00	134,00	135,00	135,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,00	134,2
Nº de máquinas	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Tempo de Ciclo/máquina	11,17	11,17	11,25	11,25	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,2
Handling/rádio	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,0
Tempo de Ciclo PT	13,17	13,17	13,25	13,25	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17	13,2

Tabela 47 – Tempo de ciclo do teste subjetivo elétrico para o modelo B

Modelo B											
	Medições de tempo (seg)										
T3 (Teste subjetivo elétrico)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/op&máquina	14,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,00	15,00	15,0
Nº de máquinas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de Ciclo/op&máquina	14,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	16,00	15,00	15,00	15,0
Handling/rádio	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,0
Tempo de Ciclo PT	19,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	21,00	20,00	20,00	20,0

Tabela 48 – Tempo de ciclo da programação para o modelo B

Modelo B											
	Medições de tempo (seg)										
P1 (Programação)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	72,00	72,00	73,00	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00	72,1
Nº de máquinas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Tempo de Ciclo/máquina	12,00	12,00	12,17	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,0
Handling/rádio	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,8
Tempo de Ciclo PT	16,80	16,80	16,97	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	16,80	16,8

Tabela 49 – Tempo de ciclo do teste CMI para o modelo B

Modelo B											
	Medições de tempo (seg)										
T4 (Teste CMI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste por máquina	10,00	9,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,00	10,00	10,00	9,00	10,2
Nº de máquinas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo de Ciclo/máquina	10,00	9,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,00	10,00	10,00	9,00	10,2
Handling/rádio	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,0
Tempo de Ciclo PT	17,00	16,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,00	17,00	17,00	16,00	17,2

Tabela 50 – Tempo de ciclo do teste de iluminação para o modelo C

Modelo C											
	Medições de tempo (seg)										
T1 (Teste de iluminação)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	30,00	31,00	31,00	30,00	31,00	31,00	31,00	30,00	31,00	31,00	30,7
Nº de máquinas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de Ciclo/máquina	15,00	15,50	15,50	15,00	15,50	15,50	15,50	15,00	15,50	15,50	15,4
Handling/rádio	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,5
Tempo de Ciclo PT	18,50	19,00	19,00	18,50	19,00	19,00	19,00	18,50	19,00	19,00	18,9

Tabela 51 – Tempo de ciclo do teste objetivo elétrico para o modelo C

Modelo C											
	Medições de tempo (seg)										
T2 (Teste objetivo elétrico)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	252,00	251,00	252,00	252,00	252,00	251,00	252,00	252,00	252,00	252,00	251,8
Nº de máquinas	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Tempo de Ciclo/máquina	21,00	20,92	21,00	21,00	21,00	20,92	21,00	21,00	21,00	21,00	21,0
Handling/rádio	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,0
Tempo de Ciclo PT	23,00	22,92	23,00	23,00	23,00	22,92	23,00	23,00	23,00	23,00	23,0

Tabela 52 – Tempo de ciclo do teste subjetivo elétrico para o modelo C

Modelo C											
	Medições de tempo (seg)										
T3 (Teste subjetivo elétrico)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/op&máquina	18,00	17,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,00	18,00	17,8
Nº de máquinas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tempo de Ciclo/op&máquina	18,00	17,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,00	18,00	17,8
Handling/rádio	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,0
Tempo de Ciclo PT	23,00	22,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00	22,00	23,00	22,8

Tabela 53 – Tempo de ciclo da programação para o modelo C

Modelo C											
	Medições de tempo (seg)										
P1 (Programação)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste/máquina	118,00	119,00	119,00	119,00	118,00	119,00	119,00	119,00	118,00	119,00	118,7
Nº de máquinas	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Tempo de Ciclo/máquina	19,67	19,83	19,83	19,83	19,67	19,83	19,83	19,83	19,67	19,83	19,8
Handling/rádio	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,80	4,8
Tempo de Ciclo PT	24,47	24,63	24,63	24,63	24,47	24,63	24,63	24,63	24,47	24,63	24,6

Tabela 54 – Tempo de ciclo do teste CMI para o modelo C

Modelo C											
	Medições de tempo (seg)										
T4 (Teste CMI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Tempo de teste por máquina	11,00	11,00	11,00	10,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,9
Nº de máquinas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tempo de Ciclo/máquina	11,00	11,00	11,00	10,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,9
Handling/rádio	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,0
Tempo de Ciclo PT	18,00	18,00	18,00	17,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	17,9

APÊNDICE 3 – CÁLCULO DO *TAKT TIME*

A partir das informações disponibilizadas no Plano de Produção previsto para o ano de 2021, representado na secção 4.2.1, foi possível calcular a média de rádios produzidos por dia.

Média da produção diária

$$= \frac{1\,106 + 832 + 735 + 564 + 816 + 880 + 759 + 396 + 782 + 608 + 601 + 872}{12}$$
$$= \frac{8\,952}{12} = 746 \text{ rádios/dia}$$

$$\text{Tempo disponível por turno} = 27\,420 \text{ seg}$$

Recorrendo à fórmula do TT presente na secção 2.2.3, efetuou-se o seguinte cálculo:

$$\text{Takt Time} = \frac{27\,420}{746} = 36,8 \text{ seg}$$

APÊNDICE 4 – CÁLCULOS DA CAPACIDADE PRODUTIVA

Aplicando as formulas descritas na secção 2.2.3, obtiveram-se os seguintes valores de capacidade para a linha de montagem final:

$$\textbf{Capacidade disponível} = 8h \times 60min \times 60seg \times 1turno = 28\,800\,seg$$

$$\textbf{Capacidade efetiva} = 28\,800seg - (23\,min \times 60seg) = 27\,420\,seg$$

As paragens planeadas da linha perfazem um conjunto de 23 min, englobando 10 e 8 minutos de primeira e segunda pausa, respetivamente, 3 minutos de ginástica laboral e 2 minutos no fim do turno para arrumar o posto de trabalho.

$$\begin{aligned}\textbf{Capacidade realizada} &= \textbf{Capacidade efetiva} \times OE = 27\,420 \times 0,90 \\ &= 24\,678\,seg\end{aligned}$$

Considerou-se o OE de 90% tendo em conta o valor *standard* definido para a linha.

$$\textbf{Capacidade esperada} = 24,6 \times 746 = 18\,352\,seg$$

Considerou-se o maior valor de TC, correspondente ao valor de 24,6 segundos, definido pelo rádio do modelo C.

$$\textbf{Utilização do sistema} = \frac{18\,352}{24\,678} \times 100 = 74,4\%$$

APÊNDICE 5 – CHAMADA DE ATENÇÃO

APTIV ADVANCED SAFETY & USER EXPERIENCE		ESEP_5-3_CS-BRG_03-F01_PT	
Chamada de Atenção (Quality Alert)			
Data de entrada:	15/08/2021	Data de saída:	30/08/2021
			Página 1 of 3
			+ -
			Nº
Problema Sujidades na blenda dos rádios (Selecionar origem da Chamada de Atenção) ☐ Reclamação do Cliente ☐ Red Alert ☐ Yellow Alert ☒ FTQ			
Causa Não colocação das tampas de proteção contra o pó nos tabuleiros			

ATENÇÃO

Após a produção das blendas, o colaborador deve colocar a tampa de proteção contra o pó no tabuleiro (ver foto), e de seguida, colocá-lo na rampa.

FOTO OK



FOTO NOK



Atenção aos tabuleiros sem tampa de proteção contra o pó

Elaborado por: Rita Quinteiro
Página 1
Data: 15/08/2021

Figura 53 – Chamada de atenção criada para o posto *sub-assembly* de blendas 1

APÊNDICE 6 – WORK COMBINATION TABLE

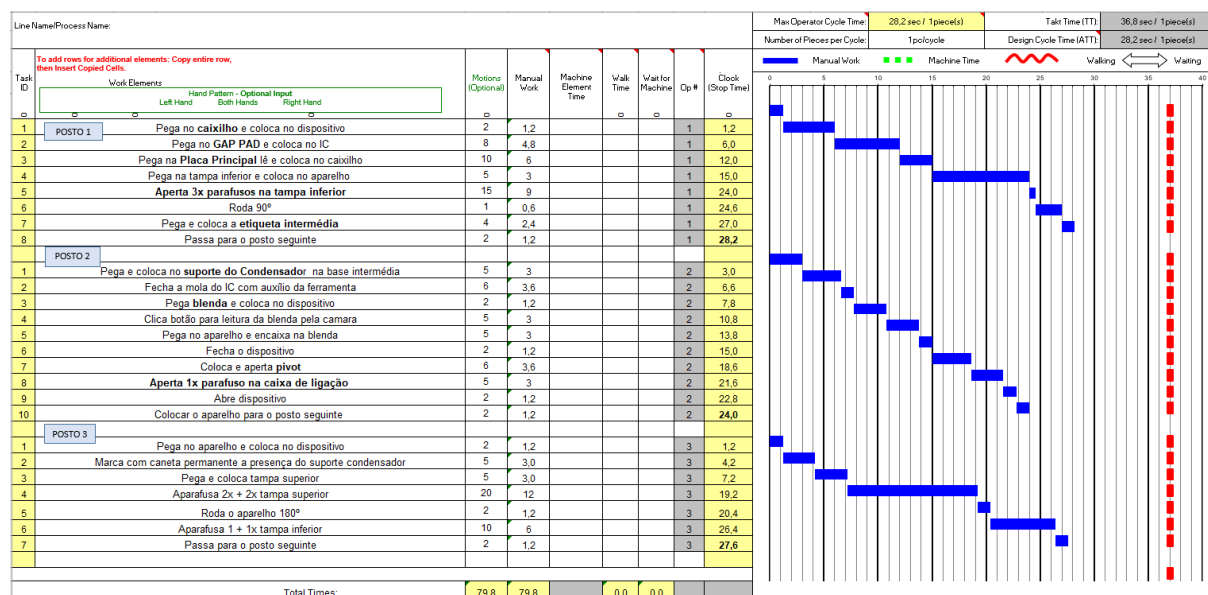


Figura 54 – WCT dos modelos A e B para três postos de montagem manual

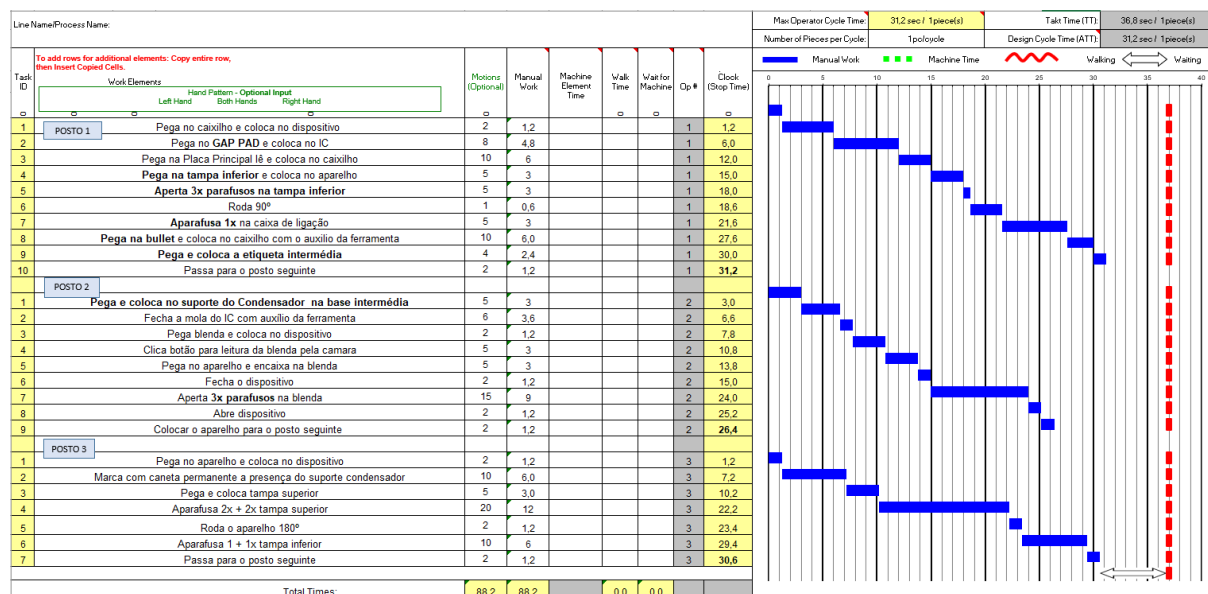


Figura 55 – WCT do modelo C para três postos de montagem manual

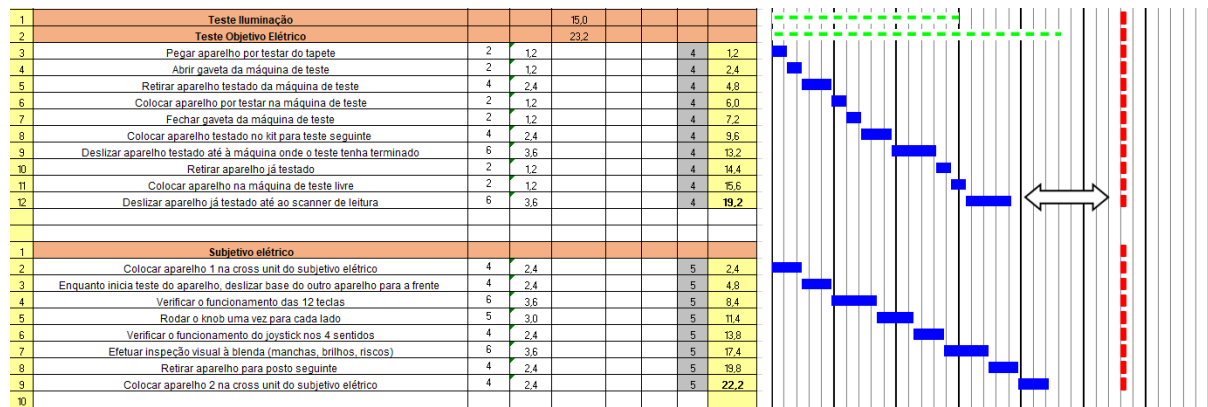


Figura 56 – WCT do modelo A (T1 a T3)

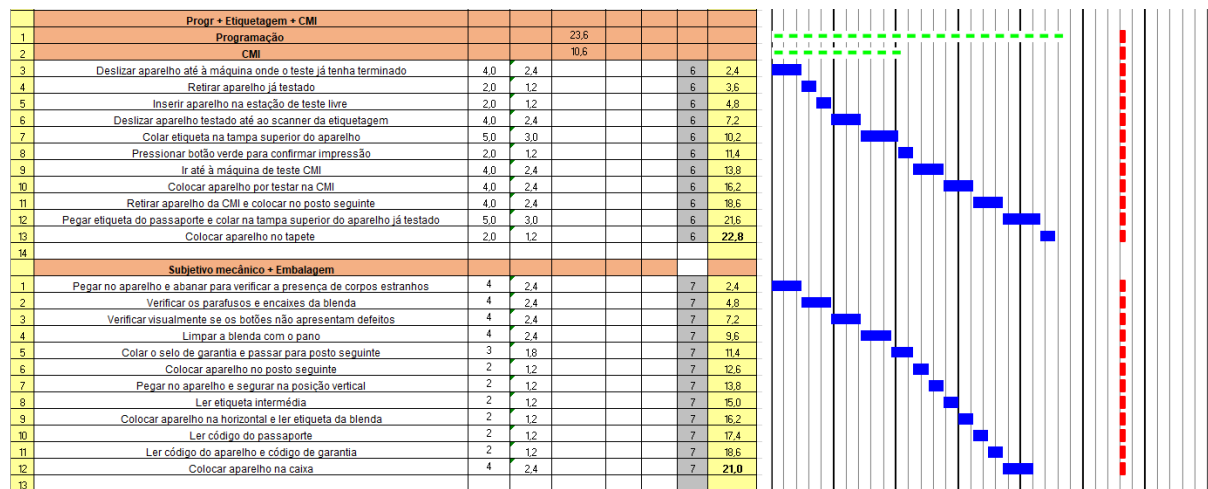


Figura 57 – WCT do modelo A (P1 a E1)

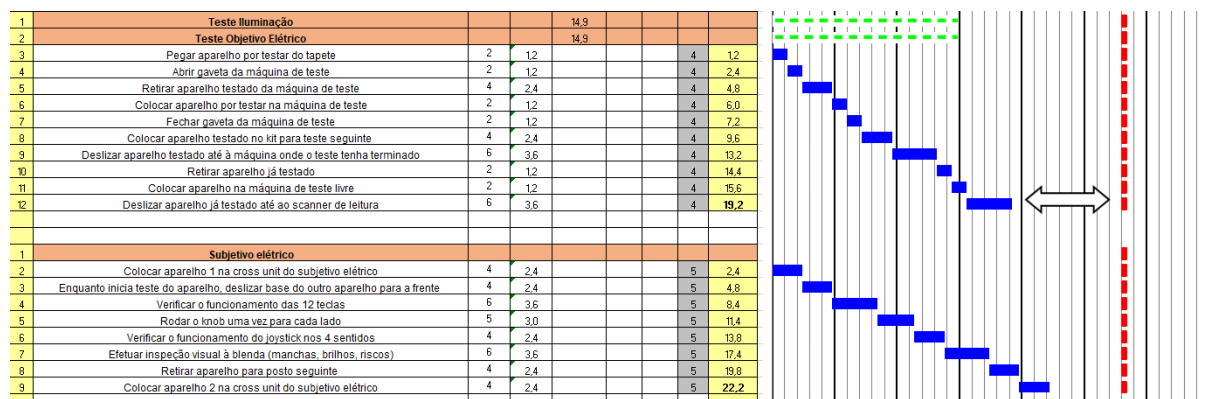


Figura 58 – WCT do modelo B (T1 a T3)

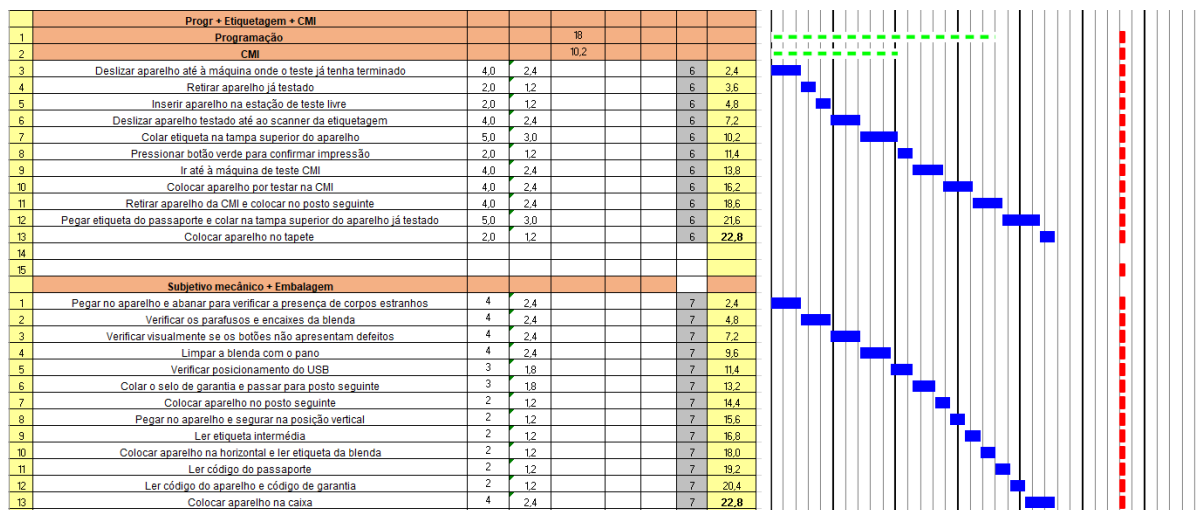


Figura 59 – WCT do modelo B (P1 a E1)

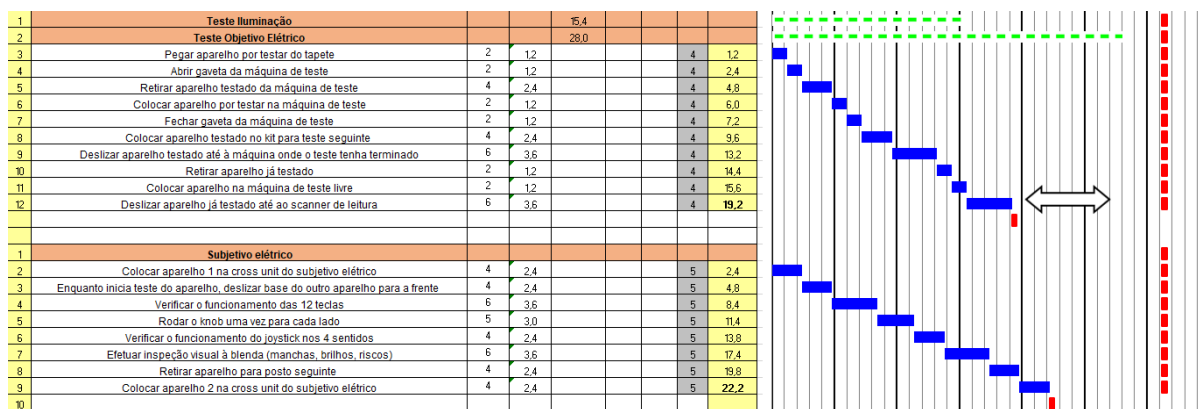


Figura 60 – WCT do modelo C (T1 a T3)

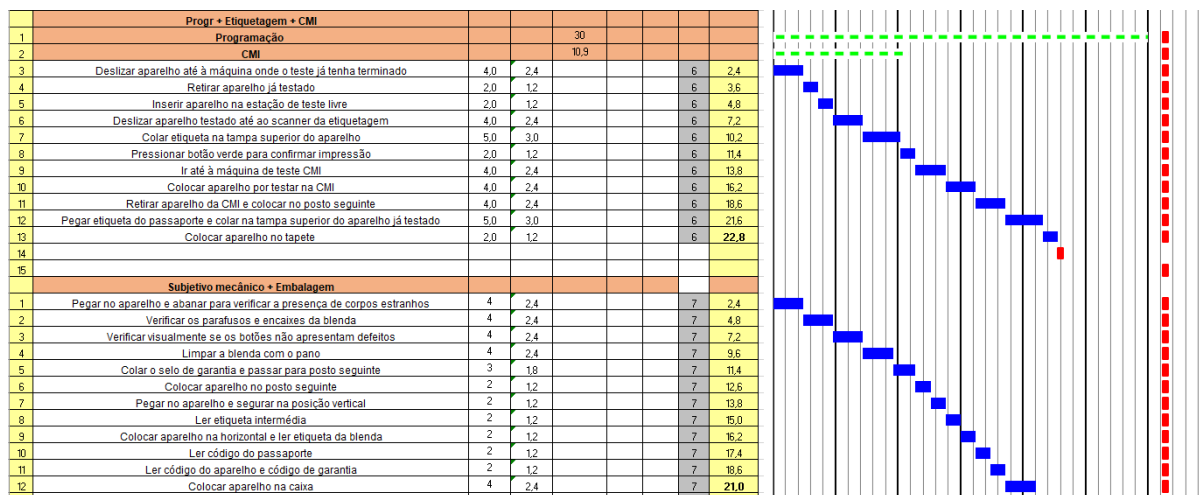


Figura 61 – WCT do modelo C (P1 a E1)

APÊNDICE 7 – SIMULAÇÃO DA MONTAGEM MANUAL



Figura 62 – Simulação das operações de montagem manual dos modelos A e B

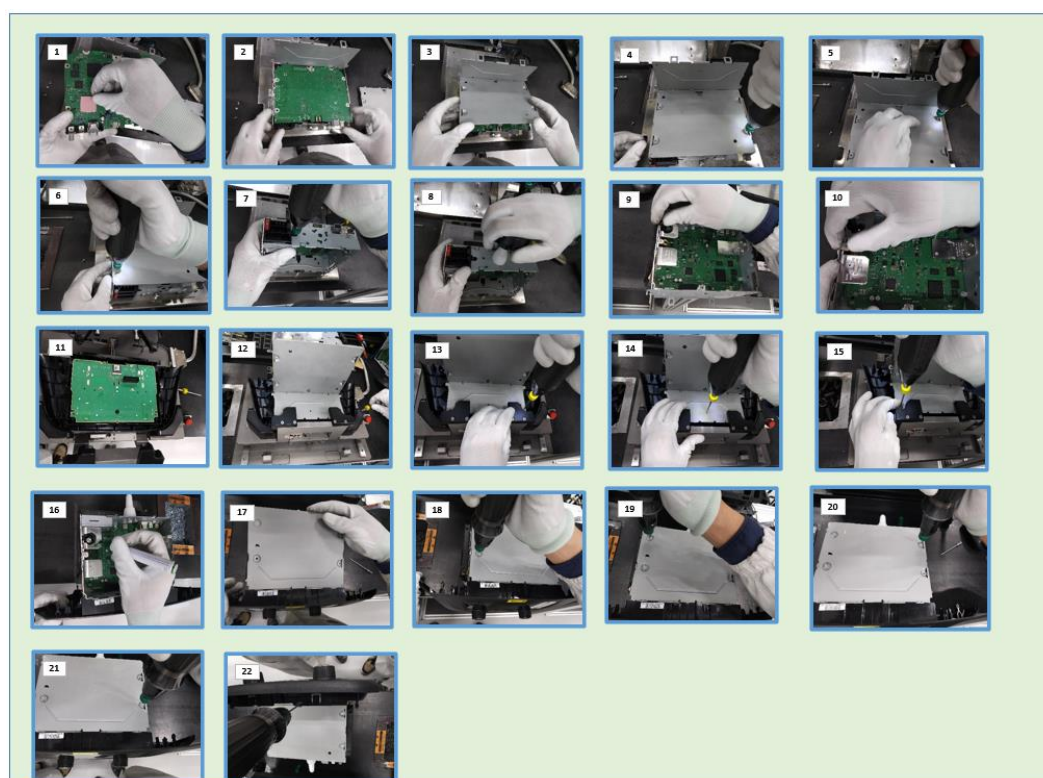


Figura 63 – Simulação das operações de montagem manual do modelo C

APÊNDICE 8 – ESBOÇO DOS 3 POSTOS DE MONTAGEM MANUAL

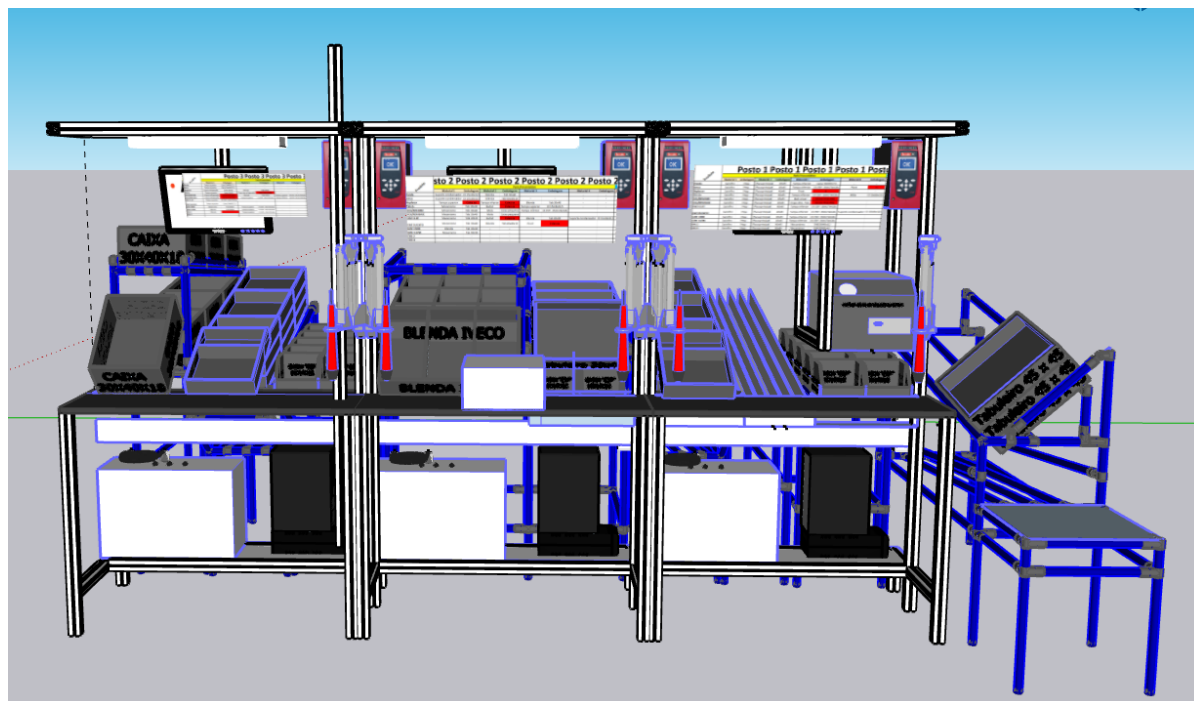


Figura 64 – Esboço dos três postos de montagem manual propostos

APÊNDICE 9 – CÁLCULO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

Utilizando a fórmula da secção 2.2.3 foi possível obter os seguintes valores de produtividade antes e depois do balanceamento:

$$Produtividade (antes) = \frac{746}{7,62 \times 13} = 7,53 \text{ unid/h-H}$$

$$Produtividade (depois) = \frac{746}{7,62 \times 7} = 13,99 \text{ unid/h-H}$$

Utilizando a formula da secção 2.2.3 foi possível obter os seguintes valores de taxa de utilização antes e depois do balanceamento:

$$Utilização (antes) = \frac{24,6 \times 746}{24\,678} = 74,4\%$$

$$Utilização (depois) = \frac{31,2 \times 746}{24\,678} = 94,3\%$$

ANEXO 1 – DISPOSITIVOS DA LINHA DE MONTAGEM FINAL

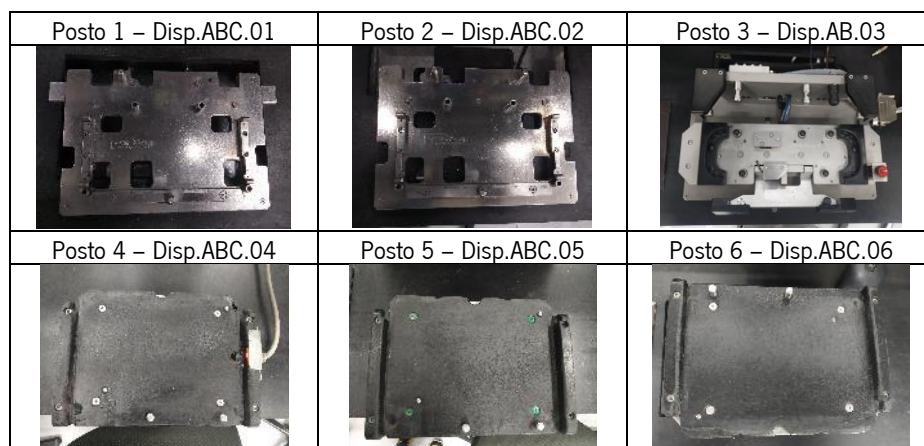


Figura 65 – Dispositivos dos modelos A e B

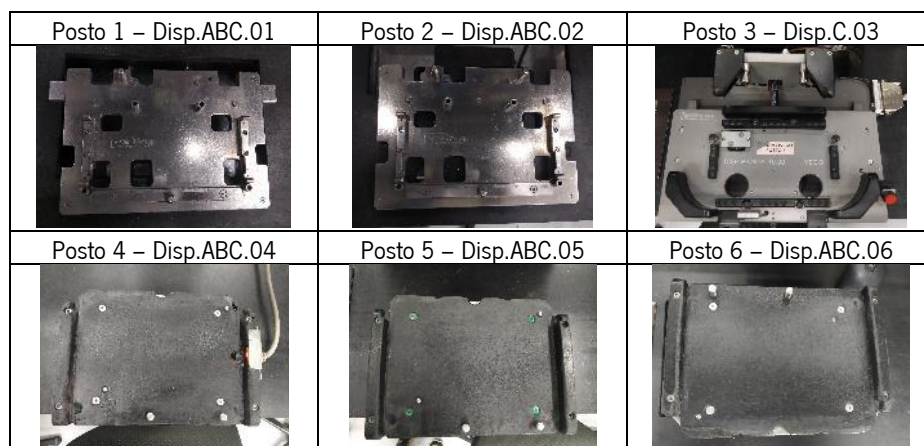


Figura 66 – Dispositivos do modelo C

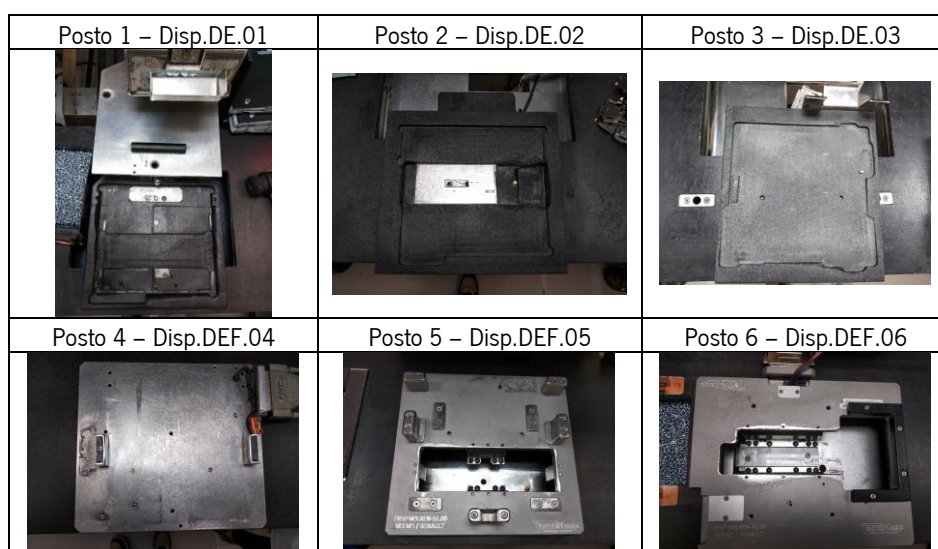


Figura 67 – Dispositivos dos modelos D e E

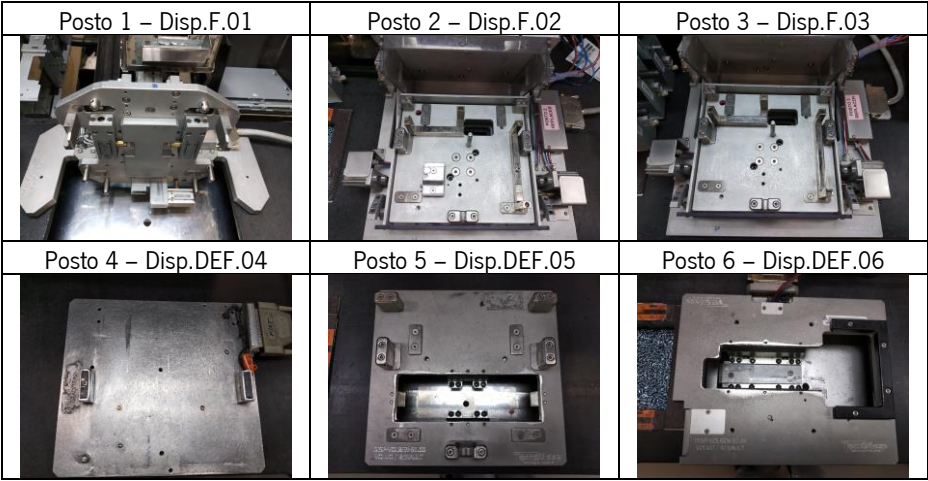


Figura 68 – Dispositivos do modelo F

ANEXO 2 – EXEMPLO DE INSTRUÇÃO DE TRABALHO

APTIV ELECTRONICS & SAFETY		Standardized Operation Sheet / Instruções de Trabalho		BRAG WI 1140.00.440 / Ver:01	
Effective Date / Data Efectiva:		Content Reviewed Date / Data de Revisão:		Page 1 de 3	
Processo / Modelo: MontagemFinal.P3 Lugar: 3 Ref. Doc.: MontagemFinal.P3 Sinalética de Segurança: <Quando aplicável>				Notas Importantes: SEMPRE QUE PARAR PARA IR ÀS PAUSAS TEM QUE ACABAR O TRABALHO E COLOCAR PARA O POSTO SEGUINTE	
Item	Element	Element Time	Actual Time	Next Item	Next Time
1	Pega na blenda e coloca no dispositivo (FOTO 1)	2	1,2		
2	Pressiona o botão vermelho para efetuar o teste de visão (FOTO 3)	2	1,2		
3	Pega no aparelho do posto anterior e encaixa na blenda (FOTO 3)	5	3,0		
4	Fecha dispositivo e abre (FOTO 4)	5	3,0		
5	Aparafusa 1x (FOTO 6)	4	2,4		
6	Insere a Bullet com aparafusadora (FOTO 6)	4	2,4		
7	Coloca o aparelho para o posto seguinte (FOTO 7)	2	1,2		
Total		24	14,4		

A DIFERENÇA ENTRE O FIAT PANDA E IVECO É SOMENTE O CHASSI.



CHASSI



CHASSI

No Panda não existe o aparafusamento na blenda



FOTO 1



FOTO 2



FOTO 3

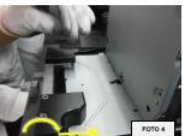


FOTO 4



FOTO 5



FOTO 6



FOTO 7

ATENÇÃO :

PROIBIDO COLOCAR MAIS DO QUE UM, PODEMOS DANIFICAR O PRODUTO.

COLOCAR SOMENTE UM APARELHO ENTRE POSTOS NA RESPECTIVA BASE INTERMÉDIA.

Figura 69 – Exemplo de uma Instrução de Trabalho

ANEXO 3 – CÓDIGO DE CORES DA APTIV

DEG Global Manufacturing Floor Tape Standards

 AMARELO	Corredores	 CINZA	Resíduos e Itens fixos Garbage, Empty areas, Stationary layout items, dunnage...
 VERMELHO	Material Não Conforme Suspect, Rework, Scrap		Segurança First Aid, Evacuation, Fire safety equipment
 AZUL	Material Raw material, Cardboard, Skids, Empty containers/returnables		Materiais Perigosos
 VERDE	Produtos WIP, Finished Goods		

Figura 70 – Código de cores da APTIV

ANEXO 4 – LAYERED PROCESS AUDIT

Audited Area		Audited Station		Auditor:		OPEX:	
FA APU2		MF-LN12-1					
No products running on the last 15 min							
Audit Content							
1. Segurança							
1.1	O posto de trabalho não apresenta nenhum objeto/superfície que possa representar um perigo?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
1.2	O posto de trabalho não apresenta riscos ergonômicos?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
2. ESD							
2.1	Estão a ser utilizados os devidos equipamentos de proteção antiestática? (1)	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
2.2	As luvas estão conforme (sem sujidade e sem rasgos/cortes)?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
3. Aptidão/Formação colaborador							
3.1	O colaborador está presente na matriz de formação e esta está devidamente atualizada? Nº do colaborador:	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4. Standard work e 5S							
4.1	A instrução de trabalho está disponível e devidamente atualizada?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.2	O colaborador está a trabalhar de acordo com a instrução de trabalho?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.3	O local de trabalho está devidamente limpo e arrumado?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.4	No local de trabalho encontram-se apenas os equipamentos e materiais necessários e estes estão em bom estado?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.5	Todos os equipamentos e materiais têm um local definido e estão corretamente identificados?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.6	Os stocks possuem limites máximos definidos? Estes são respeitados? (2)	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.7	As marcações do fluxo de entrada e saída de material são visíveis?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
4.8	Os produtos não conforme ou suspeitos estão devidamente identificados?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
5. Triggers							
5.1	Quando aplicável, o colaborador sabe o significado de "Trigger Limit", conhece e cumpre o plano de ação?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
6. Error Proofing							
6.1	Os sistemas anti-erro estão a funcionar e a ser utilizados corretamente?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
7. Manutenção							
7.1	As manutenções de primeiro nível (P1/P2) estão a ser cumpridas?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					
8. Ações corretivas							
8.1	As ações corretivas previamente identificadas estão a ser resolvidas ou fechadas?	☐ NA ☐ No ☐ Yes					

Figura 71 – Formulário de preenchimento LPA