

**Aplicação do *Single Minute Exchange of Die*  
(SMED) para a Otimização do Tempo de  
Produção numa Empresa de Montagem e  
Teste de Equipamentos Eletrónicos**

**Andreia Filipa Ferreira Araújo**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutora Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima

**setembro de 2020**



# **Dedicatória**

Ao Rui, a luz da minha vida.



# Agradecimentos

Esta secção é dedicada a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste projeto e aos quais gostaria de deixar uma palavra de apreço.

Aos meus pais, Céu e Bernardo, os pilares da minha vida, aqueles que me apoiaram incondicionalmente tanto neste projeto, como em tudo ao longo da minha vida. Pela educação que me deram e por me terem ensinado que nada na nossa vida é garantido, mas que com esforço e trabalho tudo se consegue. À mãe, pela motivação e por me fazer sempre acreditar que o amanhã seria risonho. Ao pai, pela ambição de querer que eu fosse sempre alguém melhor, desde cedo.

À avó Fátima que, mesmo sem perceber muito, em momento algum deixou de demonstrar todo o carinho.

Ao meu namorado Miguel, por ser o meu braço direito, em tudo, por acreditar mais em mim do que eu mesma e por me ter feito ver várias perspetivas das dificuldades.

Ao José e à Dina, que me estimam como se fosse filha.

À Professora Doutora Tânia Lima, pela orientação cuidada e interessada ao longo deste processo. Por toda a paciência e pela dedicação aos seus alunos, pois mesmo numa altura pandémica onde tudo foi feito à distância, em algum momento nos deixou de prestar auxílio.

À equipa HFA, em especial ao Engenheiro Carlos Alves, que foi impecável comigo desde o primeiro dia e nunca me negou ajuda. À Vera Lau, uma pessoa espetacular que irei levar sempre no coração. Ao Luís Moreira e à Ana Maia, por toda a paciência e ajuda. Aos colaboradores da linha 1 e de toda a área SMD, por toda a paciência e dedicação a este projeto, pois sem eles não geraria frutos.

A toda a família por nunca me ter negado colo e, por nunca, deixar de estar ao meu lado.

A todos os meus amigos, pela partilha de momentos maravilhosos que irei levar sempre comigo.

À Universidade da Beira Interior, a quem deixo o meu reconhecimento e expresso um grande orgulho de ter crescido aqui, de forma académica e pessoal.



# Resumo

Devido aos avanços tecnológicos e à maior exigência por parte dos consumidores, as empresas sentem-se obrigadas a encontrar estratégias para tornar os seus processos mais flexíveis, eficazes e eficientes, para que seja possível dar resposta às necessidades do mercado. A produção diversificada e em baixos volumes é uma das maiores dificuldades enfrentadas pelas empresas, pois origina muitas mudanças de *setup* o que resulta no aumento do custo e do tempo de produção, uma vez que não acrescenta qualquer tipo de valor para a empresa.

A montagem é um dos processos mais usados na indústria Portuguesa, na qual se incluiu métodos que vão desde o aperto de um parafuso até à montagem de componentes eletrónicos.

A HFA já é conhecedora do Pensamento Lean e, mais do que isso, já implementou e utiliza algumas das ferramentas. A presente dissertação, teve como objetivo primordial a implementação da metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) na área SMD (*Surface Mount Device*) para a otimização do seu processo produtivo. A linha de produção, na qual foi implementada a metodologia, foi selecionada por ser aquela que a empresa identificou como tendo o tempo de *setup* mais elevado, e na qual uma intervenção para otimizar o tempo de produção era prioritária. Nesta linha as operações de produção consistem na montagem de componentes de montagem superficial (SMDs) em placas de circuito impresso (PCBs).

Os resultados obtidos foram satisfatórios, tendo ocorrido uma redução nos tempos de *setup*, no entanto não foram propriamente os esperados. Esperava-se uma redução maior das tarefas internas e a eliminação de muitas outras, mas devido ao pouco tempo não foi possível. Conseguiu-se eliminar, ainda assim, um número considerável de operações, mas a conversão de tarefas internas em externas foi muito reduzida, tendo em conta o número total de tarefas. Mesmo assim, ganhou-se cerca de uma hora, com a conversão e eliminação de tarefas.

## Palavras-chave

Lean Manufacturing; Metodologia SMED; Setup; SMD (Surface Mount Device); Componentes Eletrónicos; Placas de Circuito Impresso; Melhoria Contínua



# **Abstract**

Due to technological advances and greater demand from consumers, companies feel obliged to find strategies to make their processes more flexible, effective, and efficient, in order to respond to market necessities. Diversified and low-volume production is one of the biggest difficulties faced by companies, as it causes many changes in setup, which results in increased cost and production time since it does not add any type of value to the company.

The assembly is one of the most used processes in the Portuguese industry, which included methods ranging from the tightening of a screw to the assembly of electronic components.

HFA is already knowledgeable of the Lean Thinking, it has already implemented and uses some of his tools. The main objective of this dissertation was to implement the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology in the SMD (Surface Mount Device) area to optimize your production process. The production line, in which the methodology was implemented, was selected because it was the one that the company identified as having the highest setup time, and in which an intervention to optimize production time was a priority. In this line, production operations consist of assembling surface mount devices (SMDs) on printed circuit boards (PCBs).

The results obtained were satisfactory, with a reduction in setup times, however, they were not exactly as expected. A gross reduction in internal tasks and the elimination of many others were expected, but due to the short time, it was not possible. It was still possible to eliminate a considerable number, but the conversion of internal to external tasks was very small, considering the total number of tasks. Even so, it took about 1 hour to convert and eliminate tasks.

# **Keywords**

Lean Manufacturing; SMED Methodology; Setup; SMD (Surface Mount Device); Electronic Components; Printed Circuit Board; Continuous Improvement



# Índice

Capítulo 1 .....	1
Introdução.....	1
1.1.    Enquadramento .....	1
1.2.    Objetivos .....	2
1.4.    Estrutura da Dissertação .....	3
Capítulo 2 .....	5
Lean Manufacturing .....	5
2.1.    Lean Thinking.....	5
2.1.1.    Evolução Histórica – Toyota Production System (TPS).....	7
2.1.2.    Princípios Lean .....	11
2.1.3.    Fontes de Desperdício .....	15
2.1.4.    Ferramentas Lean.....	18
Capítulo 3 .....	27
Apresentação da Empresa .....	27
3.1. Visão, Missão e Valores .....	28
3.2. Caracterização do Setor de Atividade .....	28
3.3. Estrutura Organizacional da Empresa .....	29
3.4. Caracterização do Processo Produtivo .....	30
Capítulo 4 .....	35
Caso de Estudo: Área SMD (Surface Mount Device) .....	35
4.1. Área de Aplicação .....	35
4.1.1. Área SMD (Surface Mount Device) .....	35
4.1.2. Fluxograma da Área SMD .....	37
4.1.3. Layout das Linhas SMD .....	38
4.2. Metodologia SMED .....	45
4.2.1. Definição de Tempo e Custo de Setup.....	46
4.2.2. Desenvolvimento Histórico da Metodologia SMED .....	46
4.2.3. Etapas Conceituais.....	48
Capítulo 5 .....	53

Implementação da Metodologia SMED .....	53
5.1.1. Linha 1.....	53
5.1.2. Descrição do Processo de Setup e Classificação das Tarefas .....	54
5.2. Propostas de Melhoria.....	70
5.2.1. Conversão de Tarefas Internas em Externas .....	70
5.2.2. Simplificação de Tarefas.....	77
5.2.3. Ajustes Feitos no Setup e Criação de um Setup Modelo.....	85
5.2.4. Resultados Obtidos.....	93
Capítulo 6 .....	101
Conclusões .....	101
6.1. Considerações finais.....	101
6.2. Limitações.....	102
6.3. Propostas Futuras .....	103
Bibliografia.....	105

# Lista de Figuras

Figura 1: Casa do Sistema de Produção Toyota.....	11
Figura 2 - Princípios Lean .....	12
Figura 3 - Os 7 princípios do Lean Thinking.....	14
Figura 4 - Ciclo PDCA.....	20
Figura 5 - Kaizen .....	22
Figura 6 - Organograma da HFA.....	30
Figura 7 - Layout da empresa HFA.....	32
Figura 8 - Montagem SMD .....	36
Figura 9 - Montagem Convencional. ....	36
Figura 10 - Fluxograma da Área SMD.....	37
Figura 11 - Esquema representativo do layout de uma linha SMD.....	38
Figura 12 - Loader e respetiva recarga, HFA.....	39
Figura 13 - Printer e Stencil, HFA. ....	40
Figura 14 - SPI (Solder Paste Inspection), HFA.....	40
Figura 15 - Pick&Place, HFA.....	41
Figura 16 - Conveyor, HFA. ....	41
Figura 17 - Forno de Soldadura por Refluxo, HFA. ....	42
Figura 18 - Sistema de Inspeção AOI, HFA.....	42
Figura 19 - Unloader, HFA .....	43
Figura 20 - Feeder de bobine.....	44
Figura 21 - Feeder de tabuleiro (tray). ....	44
Figura 22 - Feeder vibratório de Stick.....	44
Figura 23 - Bobines para montagem de feeders, em papel e plástico. ....	45
Figura 24 - Pinos e Blocos utilizados na Printer. ....	45
Figura 25 - Etapas/Estágios conceituais da Metodologia SMED .....	48
Figura 26 - Elementos do setup.....	51
Figura 27 - Programa de colocação dos feeders. ....	59
Figura 28 - Confirmação da Linha. ....	60
Figura 29 - Fluxograma de um Setup para a Printer. ....	89
Figura 30 - Fluxograma do Setup para um projeto novo na fábrica. ....	90
Figura 31 - Fluxograma do Setup para um projeto recorrente na fábrica, mas novo na linha.....	91
Figura 32 - Fluxograma do Setup para um projeto recorrente na fábrica e na linha.....	92

Figura 33 - Régua dos slots na primeira filmagem (lado esquerdo) e na segunda (lado direito)..... 96

# Lista de Tabelas

Tabela 1-Registo detalhado de todas as tarefas de um setup. ....	55
Tabela 2 - Classificação das Tarefas e os seus respetivos tempos, em segundos. ....	61
Tabela 3 - Conversão do setup interno em externo. ....	71
Tabela 4 - Eliminação de tarefas consideradas desnecessárias para a alteração dos equipamentos.....	77
Tabela 5 - Simplificação do setup - setup modelo. ....	85
Tabela 6 - Apresentação dos resultados obtidos.....	93



## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Percentagem do tempo de produção despendido com o <i>setup</i> na <i>Printer</i> e na <i>Pick&amp;Place</i> .....	54
Gráfico 2 - Distribuição das tarefas pelas duas categorias. ....	61
Gráfico 3 - Tempo Médio das Tarefas mais Demoradas na <i>Printer</i> . ....	66
Gráfico 4 - Tempo médio das tarefas mais demoradas na <i>Pick&amp;Place</i> . ....	67
Gráfico 5 - Tempo médio de produção despendido na <i>Printer</i> e na <i>Pick&amp;Place</i> durante uma <i>Setup</i> , na HFA. ....	68
Gráfico 6 - Tempos de <i>setup</i> registados sem se efetuar qualquer alteração. ....	69
Gráfico 7 - Conversão de tarefas internas em externas. ....	75
Gráfico 8 - Impacto da conversão de tarefas internas e externas. ....	76
Gráfico 9 - Impacto causado pela eliminação de tarefas e conversão de tarefas internas em externas. ....	83
Gráfico 10 - Comparação entre as duas situações de <i>setup</i> , a inicialmente encontrada e a situação atual. ....	84
Gráfico 11 - Comparação das tarefas mais demoradas na <i>Printer</i> , na primeira e última filmagem. ....	97
Gráfico 12 - Comparação das tarefas mais demoradas na <i>Pick&amp;Place</i> , na primeira e última filmagem. ....	98



# **Lista de Acrónimos**

AOI – Automatic Optical Inspection  
CAE – Caraterização da Atividade Económica  
CLT – Comunidade Lean Thinking  
HFA – Henrique, Fernando e Alves, S.A.  
JIT – Just in Time  
LM – Lean Manufacturing  
LT – Lean Thinking  
OEE – Overall Equipment Effectivences  
PCB – Placa de Circuito Impresso  
PDCA – Plan, Do, Check, Act  
SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade  
SMD – Surface Mount Device  
SMED – Single Minute Exchange of Die  
SMT – Surface Mount technology  
SPI – Solder Paste Inspection  
THT – Through Hole Technology  
TPS – Toyota Production System  
VSM – Value Stream Mapping



# Capítulo 1

## Introdução

O primeiro capítulo, a introdução, tem como objetivo apresentar o tema do estudo desenvolvido, abrangendo a pertinência da sua aplicação para a otimização de processos industriais. Posteriormente ao enquadramento, são apresentados os objetivos e a metodologia de investigação. Para terminar este capítulo, apresenta-se a estrutura da dissertação.

### 1.1. Enquadramento

Atualmente, as organizações enfrentam inúmeros desafios, principalmente em dois sentidos. Em primeiro lugar, estão cada vez mais a surgir filosofias avançadas de produção que fazem com que os métodos existentes se tornem obsoletos. E em segundo lugar, o pensamento do cliente está em constante mudança, ou seja, os clientes tornaram-se mais exigentes e procuram produtos e serviços inovadores, num período de tempo mais reduzido e a um preço menor (Jasti & Kodali, 2014).

As empresas são obrigadas a encontrar estratégias para tornar os seus processos mais eficazes e eficientes, para que seja possível responder às necessidades do mercado. Uma das maiores dificuldades enfrentadas pelas empresas, hoje em dia, é a produção diversificada e em baixos volumes o que irá originar muitas mudanças de paradigma, levando ao aumento dos custos de produção. Estas mudanças são consideradas um desperdício, uma vez que não acrescentam qualquer tipo de valor para a empresa (Shingo, 1985).

Segundo Ortiz (2006), uma das formas de melhorar o desempenho da organização é através da eliminação de desperdícios. Para que isso seja possível, as empresas estão a implementar cada vez mais as ferramentas Lean Manufacturing (LM) o que, conseqüentemente, levará à redução dos custos de produção.

Atualmente, as empresas começam a apostar cada vez mais na implementação de ferramentas Lean, com o objetivo de eliminar desperdícios e de reduzir os custos de produção. Ao longo do estudo dar-se-á uma maior ênfase à metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED), uma vez que será posteriormente implementada na empresa HFA, mas é importante referir outras ferramentas Lean, nomeadamente o *Value Stream Mapping* (VSM), os 5S, o Poka-Yoke, o Kaizen e o Ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA).

## **1.2. Objetivos**

Esta dissertação tem como principal objetivo a aplicação da metodologia SMED em contexto industrial, numa empresa que se dedica à montagem e testes de equipamentos eletrónicos e telecomunicações, de forma a diminuir os tempos de *setup* nas linhas *Surface Mount Device* (SMD). Numa primeira fase, efetuou-se uma revisão bibliográfica sobre o Lean Manufacturing (LM) e algumas das suas ferramentas, de modo a entender diferentes perspetivas e perceber qual a ferramenta adequada para a aplicação prática. Após esta recolha de conceitos e teorias, o objetivo é entender o desenvolvimento da metodologia escolhida e, posteriormente aplicá-la em contexto industrial. Após a escolha da metodologia, será necessário estabelecer objetivos específicos, tendo em conta a sua aplicação. A ferramenta aplicada será a metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED). Para a sua aplicação, é necessária uma recolha de dados no chão da fábrica e a respetiva análise das informações obtidas. Posteriormente, será necessária uma separação das tarefas internas e externas e, de seguida, eliminar o máximo de tarefas internas possíveis para se prosseguir à criação de um *setup* modelo

## **1.3. Metodologia**

Foi elaborada uma revisão bibliográfica do tema, de modo a desenvolver um trabalho sustentado num conhecimento teórico mais aprofundado e detalhado.

As metodologias usadas são a exploratória, a experimental e a investigação-ação. A pesquisa exploratória tem como objetivo desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, levando a cabo problemas mais exatos. Requer um levantamento bibliográfico e documental (Botelho & Cruz, 2013). Esta pesquisa-se aplica-se na dissertação, no sentido da pesquisa em torno do Lean e também de várias componentes deste, tais como os princípios e as ferramentas.

Na pesquisa experimental, segundo Botelho & Cruz (2013), tenta-se descobrir algo que ainda não foi revelado. Esta pesquisa tanto pode ser feita em laboratório, como em forma de experiência de campo. São bastante distintas entre si, pois a experiência de campo apresenta um cenário real. Selecionam-se várias variáveis que seriam capazes de influenciar o objeto de estudo e definem-se formas de controlar e observar os efeitos que essas variáveis provocam no objeto. A aplicação deste método de pesquisa na dissertação será feita através da implementação da metodologia SMED na HFA – Henrique, Fernando e Alves S.A. e na avaliação dos resultados das ações implementadas.

Por último, a investigação-ação, pois trata-se de uma forma de pesquisa que ocorre no lugar da ação (Cardoso, 2014). O objetivo deste método de pesquisa será a resolução de um problema coletivo, ou seja, o investigador e os participantes estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo em prol de atingir resultados (Botelho & Cruz, 2013).

#### **1.4. Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

O primeiro capítulo é constituído pela introdução, onde se inclui a contextualização da temática alvo desta dissertação, a definição dos objetivos geral e específicos, a metodologia utilizada na elaboração do estudo e a estrutura da presente dissertação.

O segundo capítulo diz respeito ao enquadramento teórico onde se retrata o desenvolvimento histórico do Lean os principais conceitos e os seus princípios, os tipos de desperdícios e as principais ferramentas. É importante a execução de uma breve abordagem ao Lean Thinking (LT) para, posteriormente, se entender a aplicação do SMED e as suas etapas de implementação bem como os benefícios e as barreiras à sua implementação.

No terceiro capítulo apresenta-se a contextualização da empresa, incluindo aqui a visão, missão e valores. Assim como, a caracterização do setor de atividade, a estrutura organizacional da empresa e a caracterização do processo produtivo.

No capítulo quatro, o foco é a área de atuação, ou seja, surge uma explicação detalhada de qual a área onde se vai implementar a ferramenta escolhida, apresentando o fluxograma dessa mesma área e o *layout* das linhas de produção. É também neste capítulo que se aborda a ferramenta escolhida e referem-se todos as suas características.

No quinto capítulo é apresentada a implementação da ferramenta escolhida, tendo como base o levantamento inicial onde sustenta a seleção da linha de produção que foi alvo de intervenção e a descrição de todo o processo de *setup*. Concluindo-se com a apresentação das propostas de melhoria, a sua implementação e os resultados obtidos.

No último capítulo, o seis, apresentam-se as conclusões finais, as limitações à elaboração do presente trabalho e as propostas de trabalhos futuros. Nas conclusões finais é apresentado um balanço sobre o objetivo definido inicialmente, nas limitações são relatados os aspetos menos positivos dos processos de implementação da metodologia e nas propostas de trabalhos futuros é apresentado um ponto da situação sobre aquilo que ainda pode vir a ser implementado na empresa.



## Capítulo 2

### Lean Manufacturing

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento teórico sobre o Lean Manufacturing (LM), onde se abordam as principais definições e conceitos, os princípios da Filosofia Lean, as fontes de desperdício e algumas das suas ferramentas.

#### 2.1. Lean Thinking

Para se entender o conceito Lean, com o uma ferramenta simples e eficaz, é importante referir o livro “*The Machine that Changed the World*”, obra elaborada por Womack, Jones e Roos (1990). Este livro, que introduziu a filosofia Lean, tornou-se uma das referências mais citadas até aos dias de hoje. Apesar do conceito Just-in-Time (JIT) já ser conhecido, esta obra teve um papel fundamental na disseminação do conceito para o exterior do Japão.

Uma das maiores características da obra de Womack, Jones e Roos era o facto de esta não discutir apenas operações relacionadas com o fabrico dos produtos, mas também incluir questões relacionadas com o desenvolvimento dos produtos, a cadeia de valor e a distribuição. Então, mostrou ao mundo que o Lean não é apenas o fabrico, mas que inclui uma lógica abrangente e um sistema de gestão que contrariava fortemente a abordagem tradicional, a produção em massa. “A máquina que mudou o mundo”, forneceu uma imagem muito mais ampla do *Toyota Production System* (TPS) mas, ao mesmo tempo, menos robusta no que toca a detalhes técnicos, ao contrário de todos os livros anteriormente lançados (Holweg, 2007). Segundo os autores, o sucesso da obra deveu-se ao facto de esta apresentar um estilo não técnico e de ter sido escrita a pensar em empresários de idade avançada e não para estudantes universitários. A base empírica forte por trás do livro, veio reforçar a ideia de este ser diferenciador em comparação por exemplo com o “*The Toyota Production System: Beyond large-scale production*” de Ohno (1988).

Outra diferenciação foi o facto de a obra não incluir apenas dados do Japão, mas sim referir aspetos empresariais comparativos de todas as outras regiões chave, nomeadamente na Europa, como foi o caso da Renault em França, a Volkswagen na Alemanha e a Fiat em Itália, como também referenciaram empresas americanas, como a General Motors e a Ford (Holweg, 2007). A publicação da obra desencadeou uma pesquisa, por parte das empresas, sobre a adoção de práticas Lean que, numa fase inicial, estavam associadas ao setor automóvel e, hoje em dia, abrange qualquer operação de fábrica e de serviços (Holweg, 2007).

A filosofia Lean é amplamente utilizada pela gestão a nível mundial, surgindo associada ao aumento da competitividade das organizações. Desde que surgiu, esta metodologia tem sido considerada um elemento diferenciador, no que se refere à eficácia e eficiência, com implicações na redução de custos.

Já o termo Lean foi introduzido em 1988 por John Krafcik, num artigo com o nome de “*Triumph of the Lean Production System*” (Krafcik, 1988). Krafcik (1988), faz uma comparação entre duas unidades de fabrico de automóveis, em que a primeira a que se refere tratava-se de uma fábrica em que os trabalhadores das linhas de montagem executavam não apenas tarefas de produção, mas também atividades como o controlo da qualidade e manutenções preventivas. Os robôs eram usados de forma inteligente como parte de um plano estudado para aumentar a produtividade e a qualidade de forma notória e não apenas por possuírem a tecnologia mais recente. Esta ideia de produção era adotada por empresas que sustentavam a melhoria contínua da sua eficiência, a redução de custos e pretendiam manter a qualidade dos produtos de forma consistente.

Por outro lado, a fábrica número dois, apresentava mais equipamentos de ponta e, além disso, os gerentes da organização colocaram uma passagem acima do chão de fábrica, para que os visitantes não pisassem o chão sujo. Segundo o autor, ao comparar as duas fábricas, constatou que a segunda apresentava um nível de limpeza bastante mais pobre, uma maior desorganização em que havia material antigo, desde peças a máquinas, perdidos no meio da fábrica. Constatou então que a melhoria contínua não era uma filosofia operacional presente naquela unidade fabril. Uma outra crítica à segunda unidade visitada por Krafcik, era o facto de existir uma parte dedicada à reparação de defeitos que, jamais, deveriam ter acontecido ao longo da produção. Para o autor, era óbvio que a primeira unidade apresentava uma margem de produtividade significativa sobre a segunda unidade mais automatizada. A primeira fábrica situava-se em Detroit, no coração dos Estados Unidos, construída há cerca de quarenta anos e a segunda, bem mais recente, localizava-se a poucas horas de Tóquio (Krafcik, 1988).

Este exemplo foi mencionado por Krafcik (1988) com o objetivo de derrubar um mito acerca da indústria automóvel, pois dizia-se que o desempenho da produtividade e da qualidade deste setor, dependia da sua localização. A caracterização de um sistema de produção pode e deve ser examinada com base em alguns fatores, nomeadamente a extensão do controlo do trabalhador, os níveis de stock e o tamanho da área de reparações.

Krafcik (1988), elaborou uma comparação entre o Fordismo e o Sistema de Produção da Toyota, que irá servir como uma das bases para a subsecção seguinte, que diz respeito ao

resumo histórico do TPS, uma vez que este sistema foi considerado a próxima grande evolução em processos eficientes após o sistema de produção em massa de Henry Ford, conhecido por Fordismo (Liker, 2004).

### **2.1.1. Evolução Histórica – Toyota Production System (TPS)**

Para uma melhor compreensão do TPS, é necessário recuar até à sua génese, ou seja, conhecer as personagens envolvidas e o seu contexto.

Sakichi Toyoda era um inventor, semelhante a Henry Ford, que cresceu numa pequena comunidade agrícola fora de Nagoya, no final de 1800. Nessa altura, o forte da indústria japonesa era a tecelagem e, então, o governo Japonês incentivou a criação de pequenas empresas caseiras por todo o país. Quando Toyoda cresceu e aprendeu um pouco mais de carpintaria com o pai, decidiu começar a criar máquinas de fiar em madeira. Em 1894, começou a fabricar teares manuais que, comparados com os existentes, eram mais baratos e funcionavam muito melhor. Apesar de contente com o seu projeto de teares, Toyoda ainda não estava satisfeito, pois perturbava-o o facto da mãe e da avó terem de trabalhar tanto para tecer. Queria então encontrar uma maneira de as aliviar desse trabalho duro e decidiu desenvolver teares de madeira movidos a energia.

Quando o tear a energia estava pronto, Toyoda reparou que não havia energia disponível para o fazer trabalhar e, aí, teve de voltar a sua atenção para o seu novo problema, a criação de energia. Nessa altura, os motores a vapor eram a fonte de energia mais comum, então, ele comprou um e tentou acionar os teares usando essa fonte de energia. Em 1926 fundou a Toyoda Automatic Loom Works, a empresa detentora do grupo Toyota, que ainda hoje é uma participante central no Grupo Toyota.

O interminável processo inventivo de Toyoda resultou em teares automáticos sofisticados que apresentavam um mecanismo especial, estes paravam automaticamente sempre que um fio partia. Esta invenção tornou-se mais ampla e ficou conhecida por Jidoka, um dos dois pilares do TPS, que permitiu que as operações criassem qualidade em cada processo. Sakichi Toyoda continuou a ser um grande engenheiro, mas a sua maior contribuição para o desenvolvimento da Toyota focou-se na sua filosofia e abordagem de trabalho, baseadas na melhoria contínua.

Sakichi Toyoda, mais tarde, teve um filho chamado de Kiichiro Toyoda que foi o fundador da Toyota Motor Company. Sakichi incentivou-o a construir um negócio de automóveis, não

com o objetivo de aumentar a fortuna da família, mas sim pelo facto de os automóveis serem a tecnologia do futuro.

Kiichiro Toyoda estudou engenharia mecânica, na Universidade Imperial de Tóquio e, posteriormente, concentrou-se na tecnologia dos motores. A contribuição deste para o TPS, baseou-se na criação do pilar do Just-in-Time (JIT) (Liker, 2004).

Deu-se a Segunda Guerra Mundial, a economia do Japão entrou em colapso e os fabricantes japoneses tiveram de criar novos métodos de produção para reduzir custos, ditos desnecessários, e permanecerem no mercado (Dilanthi, 2015). A economia começou a revitalizar com a ocupação e a Toyota não teve qualquer problema em receber pedidos de automóveis, mas a inflação descontrolada tornava o dinheiro inútil e o pagamento dos clientes nunca chegava a tempo. A dívida da Toyota, em 1948, era tão alta que seria aproximadamente oito vezes maior do que o seu valor total de capital. Para evitar uma situação de falência, era necessário tomar medidas rígidas de corte de custos. Para cumprir a política de Kiichiro Toyoda, a Toyota, em consenso com os funcionários, decretou uma redução de 10% nos salários, ao invés de os despedir.

Dada a situação crítica da Toyota, a medida da redução salarial não foi suficiente e, então, pediu-se a 1600 funcionários que se aposentassem voluntariamente, o que, em consequência, levou a manifestações públicas dos trabalhadores. Em situações de falência empresarial, normalmente, atribuiu-se a culpa sempre aos outros e, para combater isso, Kiichiro Toyoda assumiu a responsabilidade pelo fracasso da empresa e abdicou do cargo de presidente, mesmo que na verdade soubesse que o problema estava muito além do controlo dele ou de qualquer outra empresa. Esta decisão ajudou a serenar a revolta dos trabalhadores, levando a que alguns tenham deixado a empresa voluntariamente e a paz social restaurou-se. No entanto, o seu sacrifício pessoal teve um impacto muito profundo na história da Toyota, pois a filosofia desta empresa automobilística era pensar além das preocupações individuais e projetar o bem da empresa a longo prazo, assim como assumir a responsabilidade perante qualquer problema (Liker, 2004).

O próximo Toyoda, seria Eiji, sobrinho de Sakichi e o primo mais novo de Kiichiro Toyoda. Eiji também tinha o curso de Engenharia Mecânica e quando se formou, o primo Kiichiro deu-lhe a tarefa de montar sozinho um laboratório de investigação (Toyoda, 1987 *apud* Liker, 2004).

Voltando ao término da Segunda Guerra Mundial, a Toyota enfrentou dificuldades e apenas se limitava ao fabrico de camiões simples. Nos primeiros anos a empresa produziu veículos

de baixa qualidade e com tecnologia primitiva, tendo pouco sucesso com esta estratégia. Na década de 1930, os líderes da Toyota visitaram as instalações da Ford para estudar as linhas de montagem desta. Mesmo antes da Segunda Guerra Mundial, a Toyota já tinha entendido que o mercado Japonês era demasiado pequeno e a procura bastante baixa para suportar volumes de produção como os dos Estados Unidos da América (EUA). Nos EUA uma linha de produção de automóveis podia produzir cerca de 9 000 carros por mês, enquanto que no Japão a capacidade era de 900 unidades e a Ford produzia cerca de dez vezes mais. A Toyota sabia que, para sobreviver a longo prazo, teria de adotar o sistema de produção em massa para o mercado Japonês.

Em 1950, após a Segunda Guerra Mundial, a Toyota estava em expansão. O chefe da fábrica era Taiichi Ohno (1988). Eiji Toyoda voltou a visitar as fábricas dos EUA, incluindo o complexo Ford's River Rouge. Quando regressou, tinha uma proposta para fazer a Ohno (1988) que teria como finalidade a melhoria do processo de fabrico da Toyota para que este fosse igual à produtividade da Ford.

O sistema de produção em massa da Ford foi projetado para a produção em grandes quantidades de um número limitado de modelos, por isso é que os modelos T da Ford eram originalmente pretos. A Toyota, ao contrário da Ford, precisava de produzir em baixos volumes e diferentes modelos, porque a procura era demasiado baixa para suportar linhas de produção em massa. Então, era necessário adaptar-se o processo de fabrico adotado pela Ford, para simultaneamente atingir a alta qualidade, a baixo custo, com prazos de entrega curtos e com uma certa flexibilidade.

Quando Eiji Toyoda visitou as fábricas em 1950, esperava ficar fascinado com o progresso do sistema de produção, mas, para surpresa dele, estava tudo estagnado desde 1930. E então conclui que, de facto, o sistema de produção apresentava muitas falhas. O que ele viu foi a produção em grandes quantidades de produtos que foram armazenadas em stock. Os locais de trabalho encontravam-se desorganizados e fora de controlo. Havia movimentações de materiais por todo o lado, o que levou com que a fábrica parecesse um armazém. Isto tudo, mostrou-lhes uma oportunidade de recuperar o atraso.

Ohno (1988), com o objetivo de melhorar o sistema produtivo da Toyota também visitou várias vezes os EUA e rapidamente entendeu que a Ford produzia em grandes volumes e que, posteriormente, tudo seria mantido em stock. Viu isso como uma falha inerente ao sistema de produção em massa. A Toyota não poderia criar esse nível de desperdício, pois não dispunha de armazéns para a armazenar stocks e não produzia grandes volumes de apenas um modelo de veículos, mas, pegando na ideia original da Ford, o fluxo contínuo de

material, poderia desenvolver um sistema de fluxo de uma peça que mudasse de forma flexível de acordo com as necessidades do mercado e que fosse eficiente ao mesmo tempo. Esta flexibilidade apenas era possível se a habilidade dos trabalhadores fosse reunida para melhorar continuamente os processos.

Na década de 1950, Ohno (1988) dirigiu-se ao chão da fábrica e estava munido do seu conhecimento, com engenheiros, gerentes e trabalhadores dedicados a ajudar a empresa a ter sucesso. Após várias tentativas e ao longo de várias décadas, Ohno (1988) criou o novo Sistema de Produção Toyota (Liker, 2004). O TPS consiste na melhoria contínua de produtos, processos ou atividades no sistema de produção, de acordo com padrões estabelecidos para minimizar o desperdício, recorrendo à participação de todos os operadores. Portanto, esta filosofia atribui responsabilidades a todos no local de trabalho para cada aspeto que se encontra dentro dos limites da organização (Dilanthi, 2015).

Na figura 1, apresenta-se uma ilustração da casa do Sistema de Produção Toyota que representa a teoria do sistema. É representada deste modo, pois uma casa que não apresenta uns bons alicerces ou uns bons pilares, jamais será estável, mesmo que as restantes partes sejam fortes. Então, as partes constituintes da casa trabalham em conjunto, para que juntas criem um todo (Liker & Morgan, 2006).

Na casa do TPS existem dois pilares, o JIT e o Jidoka. O JIT defende a entrega de um produto certo, no tempo certo e na quantidade requerida pelo cliente, usando o mínimo de recursos possível. Esta abordagem permite que se crie um nível mínimo de stock evitando-se assim custos acrescidos (Dilanthi, 2015).

Na Toyota, todas as etapas de cada processo de fabrico têm um medidor incorporado, chamado Kanban, para sinalizar à etapa anterior a necessidade de material. Caso isto não acontecesse, o JIT, um dos pilares do TPS, nunca teria evoluído. O poder do JIT é a facilidade que uma empresa tem em responder às mudanças diárias na procura dos clientes, que era exatamente o que a Toyota precisava (Liker, 2004).

O outro pilar, o Jidoka, defende que as máquinas funcionam automaticamente com o toque humano, de acordo com o TPS. As melhorias na qualidade devem ser realizadas com esta abordagem, minimizando a intervenção humana. O TPS sugere que, sempre que haja um erro, a máquina deve identificar e interromper o processo automaticamente, sem que seja necessário o aviso prévio de um operador (Dilanthi, 2015). Para Liker & Morgan (2006), o Jidoka trata-se de uma máquina com inteligência humana que deteta desvios em relação a um padrão e, enquanto se espera por ajuda, a máquina prepara-se para a receber. Quando

uma máquina ou uma pessoa para ser devido a um problema é necessário sinalizar para se obter ajuda. Essa sinalização é transmitida por um Andon, que se trata de um sistema que emite luzes e sons que identificam a existência de uma anomalia.

Na base da casa encontra-se o Heijunka, que significa nivelamento. O objetivo é criar um fluxo nivelado de pedidos e uma carga de trabalho também nivelada. Quando esta é nivelada, há oportunidades para se padronizar processos, sendo este ponto a outra base da casa. Os processos estáveis e padronizados são necessários, caso contrário, a produção JIT não irá significar produção, e sem um inventário para compensar a instabilidade, o sistema irá ser desligado constantemente, levando-o à persistente identificação de anomalias.

Quando Ohno (1988) e a sua equipa se reuniram no chão de fábrica com um novo sistema de fabricação, não era apenas para um pequeno mercado específico. O que eles criaram foi um novo paradigma na fabricação e na prestação de serviços, uma nova forma de olhar para as coisas, entender e interpretar o que está a acontecer em cada processo de produção, que poderia ir mais além do sistema de produção em massa (Liker, 2004).

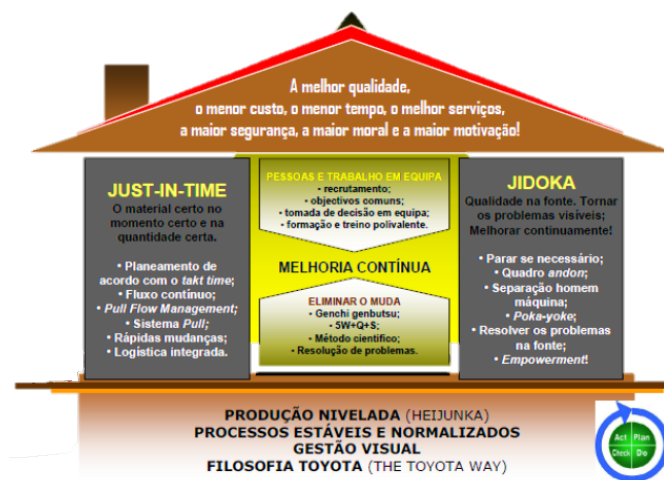


Figura 1: Casa do Sistema de Produção Toyota (Liker, 2004 apud Pinto, 2009)

### 2.1.2. Princípios Lean

Os cinco princípios do Lean, ilustrados na figura 2, definidos por Womack & Jones (1996), constituem o núcleo do Pensamento Lean. Chegaram a estes princípios, após inúmeras entrevistas e discussões que os autores tiveram com algumas empresas e que conduziram ao desenvolvimento de ferramentas da produção Lean. Os autores consideraram que a aplicação do pensamento por detrás de cada princípio seria como a “cura” para o desperdício. Womack & Jones (1996), referem ainda que a sequência definida para cada

princípio poderá ser vista como um guia para o sucesso da implementação do Pensamento Lean nas organizações.

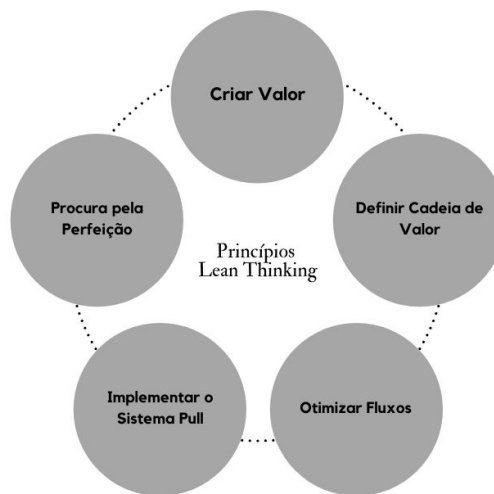


Figura 2 - Princípios Lean (Adaptado de Singh & Kumar, 2019)

Os cinco princípios do Lean definidos por Womack & Jones (1996) são explanados de seguida.

- **Criar Valor**

A criação de valor diz respeito ao primeiro passo para o pensamento Lean. Este valor aparece sob a perspectiva do cliente, ou seja, é tudo aquilo que o cliente vê e está disposto a pagar (Akanbi et al., 2019). Neste sentido, apenas o cliente pode definir aquilo que quer e que está disposto a pagar. Cabe à organização preocupar-se em solucionar os problemas dos clientes, satisfazer as suas necessidades, praticar preços acessíveis e fazer as entregas nos prazos definidos, com a qualidade assegurada e nas quantidades pretendidas (Ribeiro et al., 2019). Tudo aquilo que o cliente não estiver disposto a pagar, deve ser visto como uma oportunidade de melhoria (Pinto, 2009).

- **Definir a Cadeia de Valor**

A cadeia de valor diz respeito ao conjunto de operações que são necessárias para satisfazer as necessidades do cliente, desde os fornecedores até ao cliente final. As atividades que não acrescentam valor e não são necessárias geram um desperdício e, então, devem ser imediatamente eliminadas (Spagnol et al., 2013).

- **Otimizar o Fluxo de Produção**

Após definidos os produtos que criam valor e suprimidas as atividades que não o acrescentam, o terceiro princípio foca-se em atuar no processo produtivo de modo a obter

um fluxo contínuo e fluído. Esta fase requer a eliminação de obstáculos e a reformulação de processos, introduzindo novas formas de organização e novas tecnologias, eliminando interrupções, desvios ou esperas (Spagnol et al., 2013).

- **Implementar um Sistema *Pull***

Implementar um sistema *Pull* significa produzir apenas aquilo que é pedido pelo cliente, não havendo acumulação de stocks. Este princípio recorre ao JIT para atender às necessidades dos clientes e, posteriormente, entregar-lhe-á o produto no tempo exigido pelo mesmo (Garnett et al., 1998 apud Akanbi et al., 2019). Permite que a empresa evite a acumulação de stocks, produza em pequenos lotes e que tenham prazos de entrega mais curtos (Ribeiro et al., 2019).

- **Procura pela Perfeição**

Procurar atingir a perfeição através da implementação de métodos que levam à criação de valor e à eliminação de desperdícios. Pressupõe-se a assimilação de uma cultura organizacional de melhoria contínua, sendo aplicável a todos os princípios desta filosofia.

Para Pinto (2009) os princípios definidos por Womack & Jones em 1996, apresentavam lacunas, das quais assumirem apenas a cadeia de valor do cliente, quando há várias cadeias de valor, nomeadamente uma para cada *stakeholder* e o objetivo não será criar valor, mas sim criar valores. Outra falha identificada nos cinco princípios será o facto de as organizações se preocuparem apenas com a redução de desperdícios, fazendo com que elas ignorem a possibilidade de criar valor através da inovação dos produtos, serviços e processos.

Para evitar que as empresas não se esquecessem da sua missão e de criar valor para as partes interessadas, devido ao grande foco depositado na redução de desperdícios, em 2008, a Comunidade Lean Thinking (CLT) propôs a revisão dos princípios do *Lean Thinking* (LT), sugerindo a junção de dois novos princípios, pela ordem apresentada na figura 3.

■	<b>CONHECER STAKEHOLDERS</b>	<u>Quem servimos?</u>
■	<b>DEFINIR VALOR(ES)</b>	<u>O objetivo de todos.</u>
■	<b>DEFINIR CADEIRA DE VALOR</b>	<u>Campo de intervenção.</u>
■	<b>OTIMIZAR FLUXOS</b>	<u>Os meios a aplicar.</u>
■	<b>IMPLEMENTAR O SISTEMA PULL</b>	<u>O sistema a usar.</u>
■	<b>PERFEIÇÃO</b>	<u>A insatisfação.</u>
■	<b>INOVAR SEMPRE</b>	<u>A atitude certa.</u>

Figura 3 - Os 7 princípios do Lean Thinking (Adaptado de Pinto, 2009)

Estes dois novos princípios, “conhecer os *stakeholders*” e “inovar sempre”, surgem para que seja possível colocar a organização no melhor caminho rumo à excelência e ao desempenho extraordinário (Pinto, 2009).

Assim, para além dos cinco princípios já mencionados, foram adicionados os seguintes (Pinto, 2009):

- **Conhecer os *stakeholders***

Conforme ilustrado na figura 3, este ponto será o primeiro da hierarquização dos princípios. Conhecer os *stakeholders*, é nada mais nada menos do que conhecer quem servimos com detalhe. Uma empresa que se foca apenas na satisfação do cliente, ignorando o interesse e as necessidades de outras partes interessadas, como por exemplo os colaboradores, não pode esperar um futuro próspero. Outra alteração seria focalizar a atenção no cliente final e não apenas no cliente futuro da cadeia de valor. Independentemente do ponto da cadeia de valor em que a empresa se encontre, o foco desta deverá ser servir cada vez melhor o cliente final, pois se este não comprar os serviços ou produtos, toda a cadeia estará condenada.

- **Inovar constantemente**

Este princípio encontra-se em último lugar da hierarquia, pois consiste na inovação para se criar novos produtos, novos serviços e novos processos. Isto, no fundo, resume-se à criação de valor.

### **2.1.3. Fontes de Desperdício**

Identificar e classificar os problemas de fabrico é de fundamental para qualquer organização do setor industrial. Para Shingo (1981) e Ohno (1988), o desperdício, do termo japonês MUDA, diz respeito a todas as atividades que num determinado sistema produtivo não acrescentam valor ao produto, mas consomem recursos, nomeadamente, recursos materiais, humanos e financeiros.

Singo e Ohno (Shingo, 1992) identificaram sete tipos diferentes de desperdício, nomeadamente, o excesso de produção, a espera, o transporte, o excesso de processamento, os stocks, a movimentação e os defeitos (apud Pavnaskar et al., 2003).

- **Excesso de produção**

Produzir mais do que aquilo que é pedido pelos clientes e antes do tempo previsto (Choudhary et al., 2019).

Este tipo de desperdício é também conhecido como sobreprodução e traduz-se na continuidade da produção, mesmo quando a ordem de fabrico já se encontra finalizada (Sivaraman et al., 2020). Então, se o que se produz é superior ao que foi pedido na ordem de produção, originam-se stocks, levando a um aumento desnecessário de custos. Normalmente, o excesso de produção, dá-se como solução para a diminuição dos custos de *setup*, para eventuais aumentos de procura e também para compensar a existência de produtos defeituosos.

Liker (2004), de forma resumida, afirmou que a sobreprodução se trata do fabrico de produtos que não foram pedidos pelos clientes e que, conseqüentemente, essa produção irá gerar desperdícios, excesso de pessoal e custos de armazenamento devido ao *stock* excessivo.

Das sete categorias identificadas por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, esta é a mais penalizante. Pinto (2009), apresenta algumas conseqüências geradas por este tipo de desperdício, nomeadamente a ocupação desnecessária de recursos, quer humanos, quer materiais, o consumo desnecessário de materiais e de energia, que não irão gerar qualquer retorno financeiro para a empresa tal como o aumento de stocks. Além disso, o excesso de produção cria congestionamento na fábrica e poderá mascarar possíveis falhas de outros processos (Bell, 2006).

As causas mais comuns, deste tipo de desperdício, são o mau planeamento da procura, *setups* demorados e os grandes lotes de produção (Bell, 2006). Pinto (2009) aponta ainda

a necessidade de rentabilizar esforços realizados em atividades que não acrescentam valor, como por exemplo em transportes, inspeções e *setups* e o facto de se antecipar produções (*just-in-case*), para a prevenção de um aumento repentino da procura e também a criação de stock para compensar os produtos que apresentam defeitos e, dessa forma, evitar atrasos nas entregas e para compensar a possível existência de avarias nos equipamentos.

Pinto (2009), aponta como possíveis soluções, para reduzir a produção em excesso, a criação de trabalho programado e uniformizado ao longo da cadeia de valor, usar um sistema de produção baseado no JIT, ou seja, produzir apenas aquilo que é solicitado e nas quantidades solicitadas, nivelar a produção através do trabalho em lotes pequenos e numa produção flexível. Aponta também como solução a troca rápida de ferramentas.

- **Esperas**

Este desperdício diz respeito a todas as perdas de ineficiência do sistema produtivo, desde os recursos humanos aos equipamentos (Sivaraman et al., 2020). Como o próprio nome indica, refere-se a esperas associadas a alguma coisa, como por exemplo: a espera por peças ou ferramentas, instruções, aprovações ou decisões (Velmurugan et al., 2020).

Segundo Liker (2004), a espera deve-se ao facto de os operadores terem de aguardar o término do processo seguinte, aguardarem por uma ferramenta ou uma peça, ou então, não conseguem trabalhar devido à falta de stock de matérias primas, atrasos no processamento ou tempos de inatividade de equipamentos.

De acordo Pinto (2009), as causas mais comuns a este desperdício estão associadas ao um fluxo obstruído, como por exemplo, o surgimento de avarias, de defeitos de qualidade ou de acidentes. Poderá também estar associado ao facto do *layout* não ser adequado, ou seja, que envolva muitas deslocações e que possa provocar erros ou acidentes. Os atrasos nas entregas por parte dos fornecedores, internos ou externos, também podem ser uma razão para a espera, tal como a produção em grandes lotes.

A solução para a inatividade causada pela espera, seria, segundo Pinto (2009), optar pelo nivelamento das operações, fazer mudanças de ferramentas mais rápidas para que seja possível reduzir a produção em grandes lotes e melhorar o planeamento e a sincronização entre as diferentes áreas de trabalho.

- **Transporte**

Em todo e qualquer tipo de sistema de produção existem atividades associadas ao transporte de materiais, uma vez que, a produção de determinado produto só é possível, se existir abastecimento de matérias. Se tudo o que é produzido provém do armazém (de

matérias primas, intermédio ou final), ao longo de todo o processo de abastecimento surgem perdas consideráveis de energia ou de esforço físico dos operários, que não irá criar qualquer tipo de valor ao produto. Estas perdas associadas ao transporte estão relacionadas com a distância a percorrer pelos materiais, desde o armazém ao posto de trabalho, logo quanto maior for essa distância, maiores irão ser as perdas. Pinto (2009), defende que os sistemas de transporte causam efeitos perversos nas organizações, uma vez que, estes ocupam espaço na fábrica, acrescem os custos, aumentam os tempos de produção e, em alguns casos, danificam os produtos durante a sua deslocação. Não será possível eliminar esta transferência de materiais, mas sim reduzir as distâncias entre o material e o local de trabalho. Para que a redução de transportes seja possível, é necessário corrigir *layouts*, alterar o planeamento das operações e optar por sistemas de transportes mais práticos, como por exemplo, sistemas mais pequenos, rápidos e flexíveis.

- **Excesso de processamento**

Este desperdício abrange todos os processos que não são necessários ou que são executados de forma ineficaz ou ineficiente. Um aumento de defeitos pode dever-se à existência de processos incorretos. Alguns exemplos de processos incorretos são a execução de um processo produtivo pela ordem incorreta, um método de trabalho inapropriado e também a utilização errada de equipamentos ou ferramentas (Bell, 2006). Para combater este desperdício, Pinto (2009), sugere a formação dos colaboradores ou a substituição dos processos por outros mais eficientes.

- **Stocks**

Os stocks representam a acumulação de materiais, componentes ou produtos ao longo de toda a cadeia de valor, durante um determinado período de tempo, dentro ou fora da fábrica. As causas associadas à acumulação de materiais, componentes ou produtos são a aceitação de que os stocks são algo normal e que faz parte do ativo da organização, os elevados tempos de mudança de ferramentas, a existência de gargalos nos processos, a antecipação da produção, processos a trabalharem a ritmos diferentes e também problemas relacionados com a qualidade (inspeções, controlos e defeitos). Um reforço no planeamento e controlo das operações, a garantia de um fluxo estável através do nivelamento da produção, a melhoria da qualidade dos processos e também uma troca mais rápida de ferramentas, seriam contributos eficazes para a redução de stocks (Pinto, 2009).

- **Movimentação**

Os desperdícios ligados à movimentação abrangem todos os movimentos dos operários ou dos equipamentos que não acrescentam valor ao produto (Sivaraman et al., 2020). As

causas mais comuns destas movimentações desnecessárias associam-se a operações isoladas, à desmotivação dos colaboradores, insuficiente ou falta de formação e treino das pessoas, que levam ao surgimento constante de dúvidas e à necessidade de recolha de informações através de terceiros. Um *layout* produtivo inadequado também poderá ser uma causa (Pinto, 2009).

- **Defeitos**

A produção defeituosa ou não conformidade dos produtos trata-se de um desperdício, uma vez que se utilizaram recursos materiais, humanos, energia e tempo (Sivaraman et al., 2020). Os defeitos exigem que o trabalho seja feito novamente para corrigir os erros e, além disso, têm muitos custos associados, como custos de materiais, de energia e custos relacionados com o desgaste das máquinas. Há também um consumo desnecessário de matérias primas e de energia para a fabricação dos produtos com defeito (Ghobadian et al., 2020).

As causas mais comuns ao surgimento deste desperdício são as falhas e erros humanos, a ausência de autocontrolo e de inspeções, falhas na inspeção final e no controlo das pessoas e dos processos, assim como a inexistência de padrões nas operações de fabrico e de montagem. As soluções mais viáveis, segundo Pinto (2009), passam pela implementação de operações padronizadas, ou seja, sempre que possível a organização procede à uniformização de operações, materiais e processos. A existência de dispositivos de deteção de erros ao longo do processo de fabrico e, a produção respeitando os padrões de qualidade, permitirão garantir que cada um faz bem à primeira, evitando controlos futuros desnecessários.

Para Pinto (2009), os defeitos não se solucionam apenas com a inspeção, pois esta apenas deteta as peças não conformes. É necessário encontrar a verdadeira raiz do problema, para que se possam controlar eventuais lacunas. Segundo Pavnaskar et al. (2003), é importante aplicar as ferramentas corretas, as ferramentas LM, para que o desperdício seja eliminado, pois a sua identificação é inútil se não for possível extingui-lo.

#### **2.1.4. Ferramentas Lean**

Ao longo do tempo, várias ferramentas têm vindo a ser desenvolvidas e utilizadas cada vez mais por várias indústrias (Saurin et al., 2012). Estas ferramentas, se utilizadas em conjunto, irão levar à maximização da produtividade, da flexibilidade dos processos e da eliminação da desorganização (Pavnaskar et al., 2003).

Atualmente as empresas ainda mantêm vários desperdícios ao longo de todo o fluxo de produção e é cada vez mais importante a eliminação destes, uma vez que são considerados fontes de custo e perda de produtividade para as empresas, comprometendo a sustentabilidade futura das mesmas (Oliveira et al., 2017).

Num mercado competitivo, o LM é “a solução” para a sobrevivência e para o sucesso, pois ajuda as empresas a alcançar os objetivos através da introdução de técnicas e de ferramentas fáceis de aplicar e de fácil manutenção. O foco na redução de desperdícios permite que a organização transforme todos os desperdícios em algo que lhe acrescente valor (Oliveira et al., 2017). O LM é considerado uma filosofia de economia de recursos eficientes, ou seja, permite eliminar as perdas que ocorrem com mais frequência num processo de produção (Antosz & Pacana, 2018).

Existe uma enorme variedade de ferramentas Lean, as quais podem ser implementadas de diferentes maneiras (Sivaraman et al., 2020). Wong et al. (2009), defendem que as ferramentas Lean são as mais versáteis e são facilmente compreendidas por todos.

Nesta secção serão apresentadas algumas ferramentas de Lean Manufacturing, nomeadamente o ciclo PDCA, 5S, o Kaizen, o VSM, o SMED, o Kanban e o Poka-Yoke. A característica comum a todas estas ferramentas é o facto de todas serem usadas para a eliminação de desperdícios dentro das organizações (Gupta & Jain, 2013). Em função do contexto industrial em estudo e dado o tempo disponível, foram selecionadas as ferramentas que seriam as mais viáveis a serem implementadas.

#### **2.1.4.1. Ciclo PDCA**

Segundo Souza (2016), a metodologia do ciclo PDCA foi desenvolvida em 1930, quando aqueles produtos, que até ao momento eram exclusivos deixaram de o ser, passaram a enfrentar a concorrência de um mercado cada vez mais voltado para a gestão da qualidade (apud Silva et al, 2017).

Tajra et al. (2012), diz que o criador do método foi o especialista em estatística americano Walter Shewhart, embora, na década de 1950, foi William Edward Deming que desenvolveu uma das ferramentas mais conhecidas do mundo. Este método foi adotado em empresas Japonesas e implementado com sucesso e, mais tarde, passou a ser conhecido como o Ciclo de Deming (apud Silva et al, 2017).

O ciclo PDCA foi inicialmente usado como uma ferramenta para controlar a qualidade dos produtos, mas, posteriormente foi visto como um método para desenvolver melhorias.

Atualmente o ciclo PDCA está associado à melhoria contínua, ou seja, atua na busca contínua de bons métodos para melhorar produtos e processos (Silva et al., 2017).

As fases do ciclo PDCA, ilustradas na figura 3, podem ser entendidas da seguinte forma:

- Planear: nesta fase, as oportunidades de melhoria são identificadas e priorizadas, investiga-se a situação atual do processo, determinam-se as causas dos problemas e definem-se as ações possíveis para atenuar os problemas.
- Fazer: o objetivo desta etapa é implementar o plano de ação, selecionar e documentar dados.
- Verificar: nesta fase, os resultados das ações são analisados. A situação atual será comparada à anterior, verificando-se a existência de melhorias e se os objetivos estipulados foram atingidos.
- Agir: nesta etapa, se o resultado for alcançado, a equipa desenvolver métodos que irão padronizar a melhoria. Repete-se o ciclo, para que novos dados sejam recolhidos para reavaliar a intervenção.

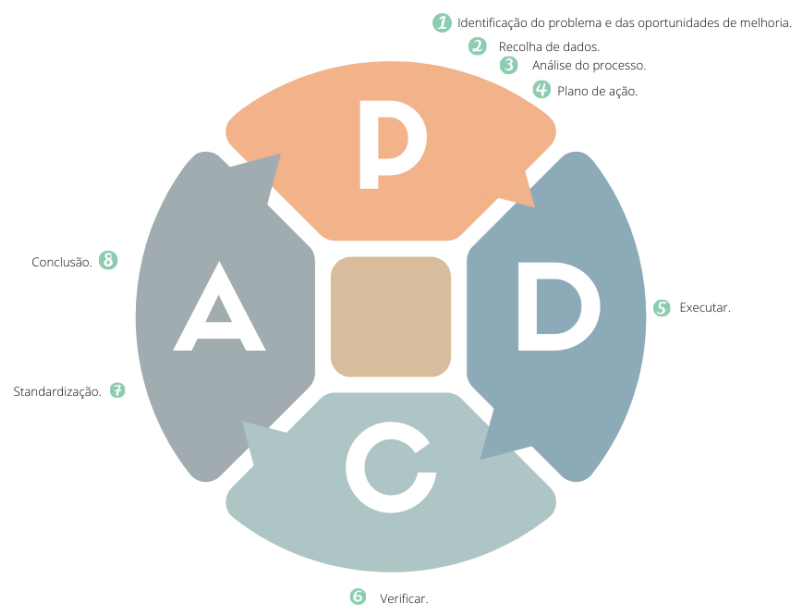


Figura 4 - Ciclo PDCA (Adaptado de Silva et al., 2017).

Para que todas as etapas do ciclo PDCA, representadas na figura 3, sejam cumpridas com sucesso, poderá ser necessário a utilização de outras ferramentas da qualidade. Estas ferramentas irão ajudar, principalmente, a analisar o problema e a definir as ações posteriormente implementadas (Silva et al., 2017).

#### **2.1.4.2. 5S**

Os 5S são um método Japonês utilizado para organizar o espaço de trabalho, de maneira limpa, eficiente e segura de modo a alcançar um local de trabalho produtivo. Esta ferramenta é o ponto de partida para qualquer empresa que queira ser conhecida como uma produtora responsável, e digna de um bom reconhecimento externo (Veres et al., 2018).

De seguida são explanados os cinco sentidos estudados na metodologia 5S (Citeve, 2012):

- **Seiri: Senso de organização**

Nesta fase o objetivo será separar o útil do inútil e identificar as coisas necessárias a ter no posto de trabalho.

- **Seiton: Senso de arrumação**

Aqui define-se um local para cada objeto e observa-se com frequência se os objetos estão no local destinado a eles. Recorre-se a ajudas visuais, que implicam a colocação de etiquetas de identificação e distribuem-se, por um lugar de fácil acesso, todas as ferramentas que são utilizadas com mais frequência na atividade do dia-a-dia.

- **Seiso: Senso de limpeza**

Divide-se o posto de trabalho atribuindo uma zona a cada elemento do grupo e procede-se à limpeza de cada zona e das áreas envolventes. Posteriormente, define-se uma norma de limpeza para essa zona do posto de trabalho.

- **Seiketsu: Senso de normalização**

Nesta fase define-se uma norma geral de arrumação e limpeza, que resulte para o local de trabalho e identificam-se as ajudas visuais e procedimentos.

- **Shitsuke: Senso de autodisciplina**

Neste ponto pretende-se que toda a organização pratique os princípios da mesma e cumpra com as normas de limpeza e organização. Verifica-se se está tudo no lugar correto, verifica-se a limpeza e o asseio das instalações, e analisa-se se as inspeções estão a ser realizadas da forma correta. Desenvolve-se um sistema de verificação, tipo *checklist*, para auxiliar e recorre-se a ajudas visuais, nomeadamente, cores, luzes, indicadores de direção e gráficos.

#### **2.1.4.3. Kaizen**

Kaizen significa melhoria. Mais do que isso, significa melhoria contínua em várias vertentes da vida, nomeadamente, na vida pessoal, doméstica, social e na vida profissional. Quando esta metodologia se aplica no local de trabalho, significa melhoria contínua envolvendo todos, desde os gerentes aos trabalhadores, disse Masaaki Imai (Kaizen Institute, 2013).

A ferramenta Kaizen aparece muitas vezes associada a um guarda chuva, ilustrado na figura 5, que abrange várias técnicas de melhoria contínua (Kiran, 2020).

Ao implementar o Kaizen, as empresas recorrem ao envolvimento de todos os colaboradores no chão da fábrica e, a estes, será atribuído algum poder para identificar e resolver problemas relacionados com o local de trabalho. Esta ferramenta, quando é aplicada corretamente, acaba por incentivar os operadores a encarar o trabalho de forma diferente, a aumentar o seu envolvimento e o senso de responsabilidade para com este (Maarof & Mahmud, 2016). Com a aplicação desta ferramenta (Watson, 1992 *apud* Scotelano, 2007) toda a organização tem a oportunidade de melhorar a qualidade dos produtos e dos serviços, garantindo a satisfação dos seus clientes, colaboradores, sócios e fornecedores. Isto, apenas é possível se o trabalho coletivo prevalecer sobre o trabalho individual. O ser humano, sendo o capital mais valioso de uma organização, deve ser estimulado a gerir o seu trabalho com base nas metas da empresa (Scotelano, 2007).



Figura 5 - Kaizen (Adaptado de Kaizen Institute, 2007)

#### **2.1.4.4. VSM (Value Stream Mapping)**

O VSM é uma ferramenta gráfica mundialmente conhecida cujo objetivo é auxiliar a esclarecer e a analisar o fluxo de trabalho, e a encontrar as atividades que acrescentam valor ao produto final e as que não agregam qualquer tipo de valor (Gupta & Jain, 2013).

Esta técnica permite identificar a causa de problemas específicos através do fluxo de valor. Este método, sendo ele analítico, não resolve o problema, apenas o identifica. Com a ajuda de outras ferramentas Lean poderá encontrar-se a solução do problema (Correia et al., 2018).

Rother e Shook (1999), estudaram o VSM, e concluíram que era importante a realização de uma análise do estado atual do fluxo de valor de um produto para que, após esta análise, fosse desenvolvido um estado futuro aperfeiçoado desse mesmo fluxo de valor, focando-se a atenção na redução de desperdícios e na diminuição dos tempos de entrega. Um mapa é o suficiente para mostrar o fluxo de material e de informação, que são características importantes do VSM (Gupta & Jain, 2013).

#### **2.1.4.5. SMED**

A metodologia SMED, descrita por Shingo (1985) pressupõe uma mudança que deverá decorrer num tempo de apenas um dígito, ou seja, em menos de 10 minutos (Karam et al., 2018). Esta técnica nasceu em 1969 quando Shingo reduziu o tempo de troca de uma prensa numa das fábricas da Toyota. Entretanto, em 1950, Shingo já tinha descoberto, numa empresa da Mazda, que as atividades realizadas num processo de transição se podiam separar em internas e externas. Em 1957, ele usou essa observação num estaleiro da Mitsubishi em Hiroshima e sugeriu a realização de atividades externas antes de iniciar o *setup*. Isto resultou num aumento de produtividade de 40% (Antosz & Pacana, 2018).

Shingo (1985), mencionou que as operações de mudança podiam ser divididas em duas: operações internas, que eram executadas com a máquina parada e as operações externas, que eram realizadas com a máquina em funcionamento. A aplicação desta metodologia consiste em quatro etapas distintas (McIntosh et al., 2000):

- Fase preliminar: as atividades ainda não foram distinguidas em internas e externas;
- Fase 1: separam-se as tarefas em internas e externas;
- Fase 2: conversão de tarefas internas em externas;
- Fase 3: reduz-se o número de tarefas.

#### **2.1.4.6. Kanban e eKanban**

Kanban é uma palavra de origem japonesa que traduzida poderá querer dizer “cartão” ou “sinal” e é uma ferramenta para controlar o fluxo e a produção num determinado sistema de produção (Liker, 2004).

O Kanban indica qual o processo que está a ser executado e qual a etapa seguinte e, ainda, fornece os dados sobre a montagem dos produtos (Sivaraman et al., 2020).

Para Liker (2004), esta ferramenta é notável, simples, eficaz e altamente visual. As empresas estão cada vez mais a adotar este sistema, pois embora pareça ser um passo atrás,

trata-se de um processo bastante eficaz, pois o stock de uma empresa diminui quando a frequência de ter peças certas, no local certo, aumenta.

Sugimori et al. (1977) em Powell (2018), descrevem o sistema Kanban como um sistema de controlo de produção desenvolvido para materializar a produção JIT e uma parte fundamental do TPS. Um cartão Kanban é um sinal que emite uma espécie de autorização para solicitar ou produzir peças ou para reabastecer as que já foram gastas (Powell, 2018).

Apontam-se como principais desvantagens a este sistema a falta de visibilidade quantitativa dos tempos de reposição de stock, o possível atraso ou perda do cartão Kanban e a falta de peças. Normalmente, quando estes problemas ocorrem, resultam em interrupções na produção. Então, o sistema de Kanban's eletrónicos (eKanban) pode atenuar substancialmente estes problemas. As recentes soluções eKanban baseadas na internet tornam a implementação e a gestão desta tecnologia tão fáceis e económicas quanto os cartões. Os sistemas eKanban substituem o cartão físico por uma notificação eletrónica. Na maioria das vezes, essa notificação é representada como um item solicitado no ecrã de um computador ou num dispositivo inteligente. As vantagens associadas à utilização do eKanban são:

- A solicitação de peças torna-se instantânea, o que implica que os tempos de reabastecimento sejam mais curtos;
- Os problemas associados à perda dos cartões são eliminados;
- Os avisos da falta de materiais tornam-se mais rápidos e, com isto, evitam-se as interrupções no trabalho;
- Tem-se uma melhor consciência do consumo real de stock.

Ambos os sistemas, o Kanban e o eKanban, exigem um cumprimento rígido de regras, para evitar falhas no sistema e, conseqüentemente, paragens de produção (Sly, 2018).

#### **2.1.4.7. Poka-Yoke**

No mundo industrial de hoje, com um rápido crescimento, os erros tornam-se inevitáveis. Assim, para alcançar uma vantagem competitiva, a qualidade deve ser uma das principais preocupações e os erros devem ser reduzidos ao um nível mínimo (Lazarevic et al., 2019).

O ser humano involuntariamente comete erros devido à falta de atenção, falta de conhecimento de um processo ou de um procedimento. De acordo com Al-Araidah et al. (2010), a ferramenta Poka-Yoke utiliza dispositivos ou métodos automáticos para detetar

problemas antes ou à medida que estes ocorrem para minimizar as consequências negativas.

A expressão Poka-Yoke traduz-se de duas palavras japonesas: *Poka*, que significa erros acidentais possíveis de acontecer e *Yoke*, cujo a tradução se baseia em algo que se pode evitar (Nema, 2020). Resumidamente, significa que algo é à prova de erros (Muharam & Latif, 2019). Segundo Shingo (1988), esta ferramenta trata-se de um mecanismo para detetar erros e defeitos, através da qual são inspeccionadas ao pormenor todas as peças (Saurin et al., 2012). O ponto essencial desta ferramenta é delinear o processo com o objetivo de que não ocorram erros ou então que sejam detetados e alterados. Permitindo assim diminuir os erros humanos na produção e no sistema de montagem.

Shingo (1986), definiu as duas funções diferentes do Poka-Yoke. A função de regulação, que inclui o controlo e a função de aviso. O controlo desliga o processo, enquanto que o aviso alerta o operador apenas por luz ou som, sem interromper o processo. Alguns autores, nomeadamente Erlandson & Sant (1998), confirmaram que é preferível interromper o processo para resolver o problema, aplicando o Poka-Yoke e eliminando a fonte de defeito que depende da máquina, pois os seres humanos podem cometer erros imprudentes (apud Lazarevic et al., 2019).

Para Grout (2007), o Poka-Yoke utiliza recursos do processo ou de design para evitar erros ou o impacte negativo que os erros podem causar (apud Saurin et al., 2012).

Plonka (1997) considera que esta ferramenta se trata de um mecanismo para detetar, eliminar e corrigir erros na origem dos problemas, evitando que estes atinjam o cliente (apud Saurin et al., 2012).



## Capítulo 3

### Apresentação da Empresa

A HFA- Henrique, Fernando & Alves, S.A. é uma empresa que se dedica à montagem e teste de equipamentos eletrónicos e telecomunicações (HFA, 2020). A empresa foi fundada em 1995 e a sigla HFA faz referência para os três sócios fundadores, Henrique Pereira, Fernando Pereira e Carlos Alves (HFA, 2020a).

Esta empresa situa-se na Zona Industrial de Oronhe, mais concretamente em Espinhel, concelho de Águeda, distrito de Aveiro. Dispõe, atualmente, de cerca de 200 colaboradores altamente treinados e motivados. As instalações da HFA encontram-se distribuídas por uma área de produção com cerca de 4 200 m<sup>2</sup> e o seu capital social é de 2 000 000, 00 euros.

As suas áreas de atuação distribuem-se em quatro segmentos de mercado distintos, tais como: Telecomunicações, Indústria de Transporte, Eletrónica Geral e Reparações. Nas telecomunicações produzem vários produtos tais como painéis de informação com tecnologia LED, sistemas de áudio, vídeo e *home cinema* e também sistema de controlo ambiental, tal como a distribuição e comercialização de combustíveis. Para a indústria de transportes produzem sistemas eletrónicos de informação de tráfego e também sistemas de controlo de acessos/frotas/tráfego, nomeadamente, venda automática de bilhetes, sistema de contagem de passageiros, envio de informações para centrais de controlo, controlo de semáforos e também sistemas de GPS. Quanto às telecomunicações a HFA dispõe de diversos serviços, entre eles, a transmissão digital em fibra ótica e sistemas de análise, gestão e controlo da qualidade das linhas de telecomunicações. Por último, no setor das reparações elaboram-se diagnósticos e reparações de, por exemplo, cabines telefónicas e também de STB IPTV (sistemas televisivos onde apenas é necessária ligação à internet) (HFA, 2020b).

A HFA, quanto à sua forma jurídica, é uma sociedade anónima e encontra-se regularizada pelo Código das Sociedades Comerciais. O seu Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) é certificado pelas normas IATF 16949:2016 e ISO 9001:2015. Este sistema é um dos pilares fundamentais para o sucesso da organização e reflete a preocupação, por parte da administração, em definir e implementar um conjunto de processos e metodologias que asseguram os elevados padrões de qualidade, eficiência e performance definidos pela gestão de topo. A responsabilidade de cumprir a rigor o SGQ é assumida por todos, de modo a ser possível obter, de forma permanente, a otimização de processos e de recursos, enquanto

fatores de melhoria contínua, e promove-se também o desenvolvimento e satisfação dos colaboradores, tendo em conta as diferentes aspirações sociais, económicas e ambientais (HFA, 2020c).

A HFA incentiva os seus colaboradores a adquirirem, com frequência, novas competências e qualificações, de modo a que seja possível dar uma melhor resposta às constantes mudanças de mercado. Maximizando o potencial dos trabalhadores através de formação qualificada e programas de desenvolvimento, incluindo o suporte para qualificações profissionais específicas. Esta empresa promete aos seus consumidores ser uma referência a nível mundial na sua área de atuação, realizando o seu trabalho com base em três pilares fundamentais, qualidade, inovação e excelência de forma sustentável, estando sempre a par dos constantes avanços tecnológicos do mercado (HFA, 2020d).

### **3.1. Visão, Missão e Valores**

A visão da HFA resume-se a fazer desta uma referência a nível nacional e internacional no setor da produção e teste de produtos eletrónicos e isto apenas é possível através dos critérios estabelecidos na missão, sendo estes, a realização do trabalho solicitado de forma sustentada e com elevados padrões de qualidade, estando sempre a par das mudanças tecnológicas.

Os seus valores passam pela qualidade, tentando-se diariamente melhorar a resolução de problemas e implementar a cultura de “fazer bem à primeira”, o *Know-How*, onde se aproveita ao máximo a capacidade dos colaboradores e se aposta em formações e treinos especializados para um maior enriquecimento de competências, a inovação, que passa pela utilização de equipamentos que se encontram na vanguarda da tecnologia, a flexibilidade, visto que cada processo produtivo é adaptável às necessidades de cada cliente, a dedicação e a confiança/confidencialidade (HFA, 2020a).

### **3.2. Caracterização do Setor de Atividade**

Numa perspetiva macroeconómica e de acordo com a agregação setorial, ou seja, a CAE – Classificação da Atividade Económica, a empresa HFA enquadra-se nos seguintes CAEs, sendo o 26120 o principal e os restantes secundários (SICAE, 2020):

- 26120 – Fabricação de placas de circuitos eletrónicos;
- 26110 – Fabricação de componentes eletrónicos;
- 46690 – Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos.

Os CAEs 26110 e o 26120 pertencem à divisão 26 designada por “Fabricação de Equipamentos Informáticos, Equipamento para Comunicações e Produtos Eletrónicos e Óticos”. O grupo é o 261 “Fabricação de Componentes Eletrónicos” e a classe 2611 e 2612 respetivamente, sendo a subclasse que determina o CAE na sua totalidade.

O CAE 26110 inclui a fabricação de semicondutores e outros componentes para aplicações eletrónicas, nomeadamente, condensadores e resistências eletrónicas, microprocessadores, tubos de feixe, conectores eletrónicos, circuitos integrados, placas de circuitos impressos sem componentes, díodos, transístores, indutores, cristais eletrónicos, díodos emissores de luz (LED). Inclui fabrico de cabos para impressoras, monitores, conectores e outros equipamentos semelhantes.

O CAE 26120, fabricação de placas de circuitos eletrónicos, é o principal e compreende a fabricação de circuitos impressos, com componentes assim como a montagem de componentes em circuitos impressos. Inclui placas de interface (por exemplo: som vídeo, reguladores, etc.).

O CAE 46690, comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos, pertence à divisão 46 “Comércio por grosso (inclui agentes), exceto de veículos automóveis e motociclos”. O grupo é o 466, a classe a 4669 e por fim a subclasse 46690. Este CAE diz respeito ao comércio por grosso de dispositivos automatizados/robotizados para linhas de produção instrumentos e equipamentos de medição, motores elétricos, transformadores, cabos e fios, equipamento de instalação para uso industrial, entre outros.

### **3.3. Estrutura Organizacional da Empresa**

A HFA encontra-se dividida em seis departamentos diferentes, sendo eles:

- Departamento da Qualidade;
- Departamento de Engenharia do Processo
- Departamento Administrativo/Financeiro;
- Departamento de Compras;
- Departamento da Produção;
- Departamento de Controlo de Gestão e Planeamento;
- Departamento Comercial.

Na figura que se segue encontra-se ilustrado o organograma da empresa HFA, onde se podem ver estes 7 departamentos e todas as suas áreas e serviços.

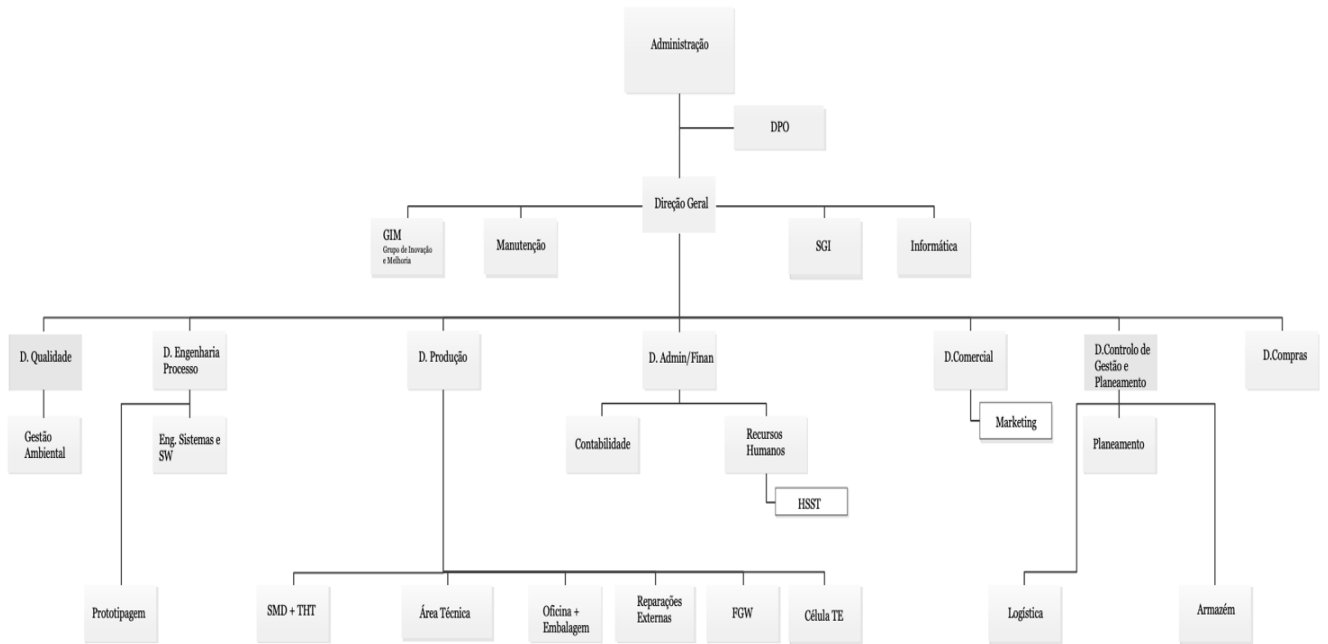


Figura 6 - Organograma da HFA.

### 3.4. Caracterização do Processo Produtivo

O processo produtivo da HFA está dividido em cinco áreas distintas, nomeadamente:

- **Armazém**

O armazém é o responsável pela receção, etiquetagem e registo de material proveniente dos fornecedores. É nesta zona que se armazena e acomoda os componentes, se procede à triagem de *stocks*, quer os *stocks* da empresa, como os *stocks* que são propriedade dos clientes.

No armazém é realizado todo o tratamento de informação no que diz respeito a encomendas e à ordem de saída das mesmas. Recorrendo-se ao sistema FIFO (*first in first out*), ou seja, o primeiro a entrar é o primeiro a sair. Este sistema não se aplica apenas às encomendas, mas também ao tratamento das matérias primas, ou seja, os primeiros componentes a sair são aqueles que chegaram em primeiro lugar.

- **SMD (*Surface Mount Device*)**

O SMD resume-se a um método de montagem de circuitos eletrónicos, na qual os componentes são montados diretamente na placa de circuito impresso (PCB), sendo estes colocados nas duas faces da placa. A capacidade de montagem destes componentes, neste momento, ronda os 300 000 componentes por hora.

- **THT (*Through Hole Technology*)**

Nesta área, a montagem dos componentes é manual. O processo seguinte à montagem dos componentes é a soldadura. Na HFA, o processo de soldadura está dividido em dois tipos: a soldadura por onda e a soldadura seletiva. A soldadura por onda é caracterizada pela ligação dos componentes eletrônicos e fios condutores a uma PCB, enquanto todos estes elementos são sujeitos à passagem por uma onda de solda no estado líquido. A PCB é transportada automaticamente e os lados da mesma são conectados ao sistema de transporte, de modo a que a parte inferior da placa seja exposta aos estágios de processamento. O processo de solda por onda consiste em três estágios. No primeiro estágio, a PCB com os componentes já ajustados, move-se ao longo do transportador e é molhada pelo fluxo. O principal objetivo do fluxo é melhorar o humedecimento das superfícies e proteger as partes metálicas da oxidação durante a soldadura. O segundo estágio é o pré-aquecimento da PCB em zonas adequadas para tal, por exemplo, tipos de elementos de aquecimento por infravermelho. O pré-aquecimento ativa o fluxo e reduz o choque térmico e, além disso, remove a humidade e as substâncias indesejáveis da superfície da PCB. O terceiro e último estágio, consiste na soldadura em si, onde a solda derretida é bombeada através de uma fenda para a parte inferior da placa (Liukkonen et al., 2009).

Na HFA, existem dois tipos de soldadura seletiva, aquele em que a placa roda e a ferramenta permanece fixa e aquela em que a placa está fixa e a ferramenta encontra-se em constantes movimentos. Estes movimentos, tanto da ferramenta como da placa, são programados num sistema em que são colocadas as coordenadas para a trajetória dos elementos. O conjunto de ferramentas para este método tem uns pequenos furos por onde a solda fundida é bombeada, criando uma série de pequenas poças. A placa é colocada sobre a ferramenta, onde as áreas desejadas irão ser mergulhadas pelas poças de solda.

Após a soldadura, as placas poderão estar sujeitas a acabamentos manuais, ou seja, há componentes que não podem estar expostos a altas temperaturas, como é o caso do plástico, então têm de ser montados de forma manual e após o processo de soldadura. É também nesta área que se realiza a lavagem, colagem e o envernizamento manual das PCBs.

- **Testes**

Na fase de testes, como o próprio nome indica, os operadores testam todos os equipamentos provenientes das áreas SMD e THT. Os equipamentos estão sujeitos a vários testes e, posteriormente, são separados. Separa-se os que têm anomalias (para prosseguirem para a reparação, com a identificação KO) dos que não têm (para prosseguirem para o embalamento, com a identificação OK). Portanto, nesta área, realizam-se testes de caráter

funcional, elabora-se a programação específica de componentes e registam-se as PCBs testadas quanto à quantidade e respetiva qualidade.

- **Embalagem**

Neste ponto, apenas chegam os produtos identificados sem anomalias na fase anterior (testes) e serão embalados de acordo com as especificações do cliente. Todos os produtos são protegidos com um plástico anti estático e, obviamente, separados por cliente. Alguns clientes, como é o caso da Altice, enviam os protetores de embalagem, para um melhor acondicionamento do produto.

Para além destes serviços, a HFA apresenta aos seus clientes outras ofertas, nomeadamente reparações, protótipos e apoio à industrialização. A área de reparações trata de todos os produtos que foram identificados com anomalias, KO, na zona de testes. Também é nesta área que são reparados todos os equipamentos, nos quais foram detetadas anomalias pelos clientes, e que tiveram de retornar à fábrica para sofrerem alterações e, posteriormente, voltarem para o cliente. Há uma fase de testes, onde o equipamento é analisado e onde são identificadas todas as anomalias. Posteriormente, com base naquilo que foi detetado, o produto é reparado.

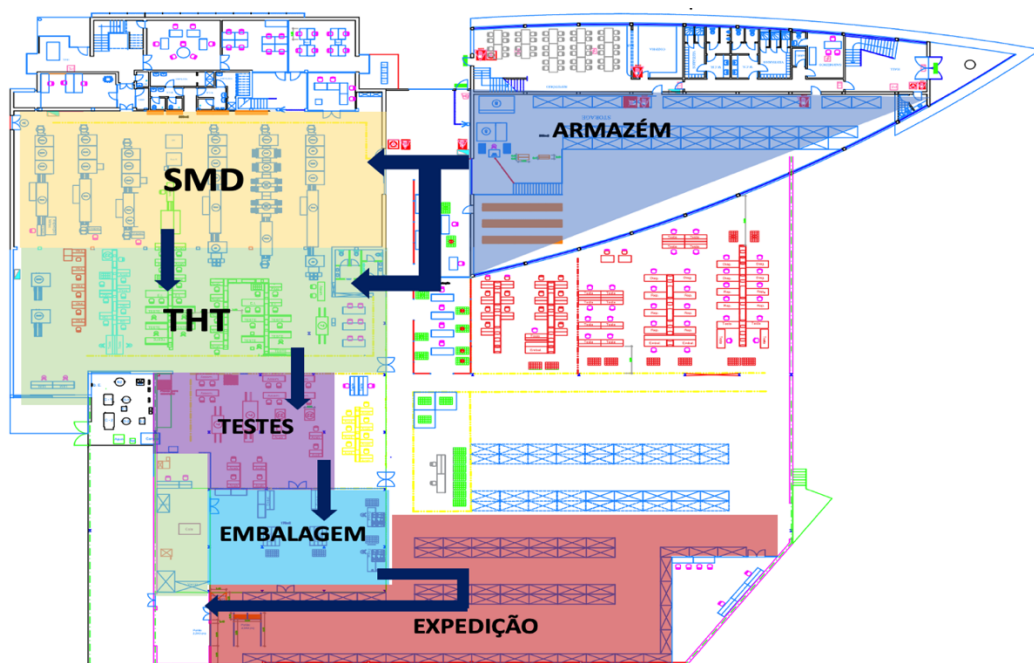


Figura 7 - Layout da empresa HFA.

Na figura 10 está ilustrado o fluxo produtivo desde a matéria-prima até ao produto final acabado pronto para ser enviado para o cliente. O armazém recebe a ordem de fabrico (OF)

e prepara a matéria-prima para essa mesma OF. Depois, consoante o tipo de produto, este pode seguir para a área SMD ou THT. Posteriormente à montagem, a PCB é testada e, consoante o resultado, seguirá para a área de embalagem ou para a de reparações. Caso vá para a embalagem, de seguida estará pronta para ser entregue ao cliente, caso vá para as reparações, será novamente sujeita a testes e, após ser considerada OK, o processo será o mesmo, embalagem, expedição e cliente final.



## Capítulo 4

### Caso de Estudo: Área SMD (Surface Mount Device)

Nesta secção irá ser introduzido o Sistema de Montagem Superficial de componentes eletrónicos, designado por SMD. Apresenta-se também o fluxograma da área SMD na empresa HFA e o Layout das linhas SMD, tanto esquematizado, como em fotografias reais da empresa. Para complementar a parte teórica deste capítulo, também é explanada a ferramenta Lean a aplicar no caso de estudo e todas as suas componentes teóricas.

Em termos práticos, irá ser apresentada a descrição e análise da situação inicial, a implementação da metodologia em si e as propostas e implementações de melhorias.

#### 4.1. Área de Aplicação

A área de aplicação prática desta metodologia será a área SMD. Por sugestão da empresa, a aplicação irá ser feita na linha 1, uma vez que é uma das linhas que apresenta uma maior mudança de produção, ou seja, está sujeita a vários *setups* por semana.

##### 4.1.1. Área SMD (Surface Mount Device)

Na HFA, há relativamente pouco tempo, esta área que, atualmente, se designa como área SMD (*Surface Mount Device*), denominava-se como área SMT (*Surface Mount Technology*). Como contextualização, surge então uma breve explicação sobre o SMT, para uma melhor compreensão do SMD.

A SMT, tecnologia de montagem superficial, é conhecida como um método essencial para a montagem de componentes eletrónicos (Cao et al., 2019). Os quais são montados diretamente na Placa de Circuito Impresso (PCB) e são aproveitados os dois lados da mesma. Uma PCB é uma placa onde é montado um circuito elétrico. Tem duas funções: manter os componentes eletrónicos em si e transmitir os sinais elétricos entre os dispositivos da placa. Os sinais elétricos são transmitidos por um padrão de cobre gravado na superfície do substrato de componente para componente. De forma resumida, a tecnologia de montagem superficial recorre ao uso de componentes SMD, dispositivos de montagem superficial. O processo SMD trata-se dos componentes que são montados à superfície da PCB sem furos (figura 8), sendo estes componentes e este método o oposto daquilo que é considerado o convencional (figura 9).

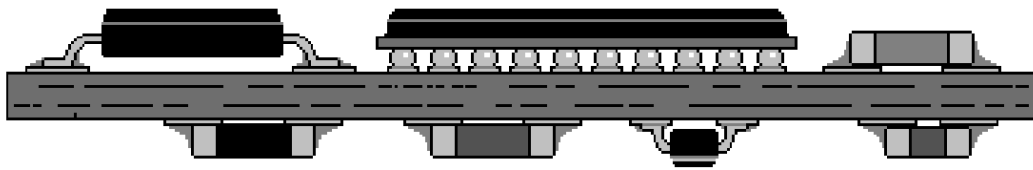


Figura 8 - Montagem SMD (Fonte: Tummala, 2001)

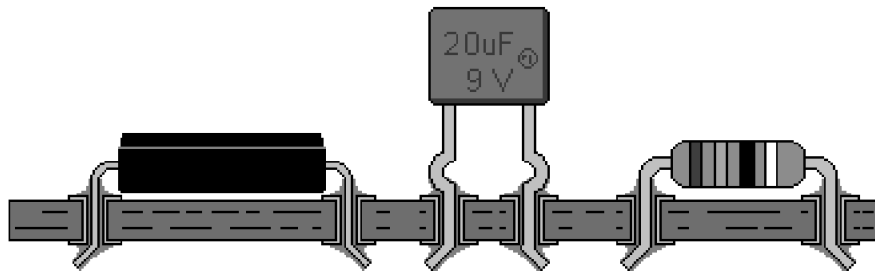


Figura 9 - Montagem Convencional. (Fonte: Tummala, 2001)

Na tecnologia convencional, ilustrada na figura 9, a PCB tem um orifício passante e os componentes são ligados à placa por pinos de solda que passam através desses orifícios. Uma das principais desvantagens deste processo é o tamanho dos pinos e dos orifícios. Esta tecnologia tem vindo a ser substituída pela montagem em superfície, ilustrada na figura 8, que consiste na ligação dos componentes na superfície da placa e não é necessário a existência de orifícios e, portanto, o espaçamento dos pinos pode ser reduzido.

O uso de SMDs, já em 1989, era considerado uma revolução na indústria eletrónica, tendo em conta as reduções de tamanho ou volume que poderiam vir a ser alcançadas. Conforme se pode observar nas figuras 8 e 9, os componentes apresentam algumas diferenças, nomeadamente no seu tamanho e volume. O uso de SMDs auxilia na redução dos custos de produção e também na redução dos prazos de entrega, uma vez que apresenta um alto nível de automação (Meesemaeker et al., 1989). Além disto, à medida que a experiência aumenta, produtos e ideias são desenvolvidos a partir da junção de vários esforços, nomeadamente fornecedores e utilizadores nas organizações (Hutchins, 1986).

A montagem SMD é realizada através da impressão de solda em pasta na placa de circuito impresso, com a auxílio de um “*stencil*”, que é uma espécie de molde em aço. De seguida vem a colocação dos componentes e, por último a soldadura da pasta de solda para conectar eletricamente os componentes e a placa. Também é possível realizar a montagem dos componentes SMD através do processo de soldadura por onda, quando a PCB contém componentes convencionais e componentes SMD.

#### 4.1.2. Fluxograma da Área SMD

O fluxograma ilustrado na figura 10, esquematiza o fluxo da PCB ao longo da área de montagem superficial.

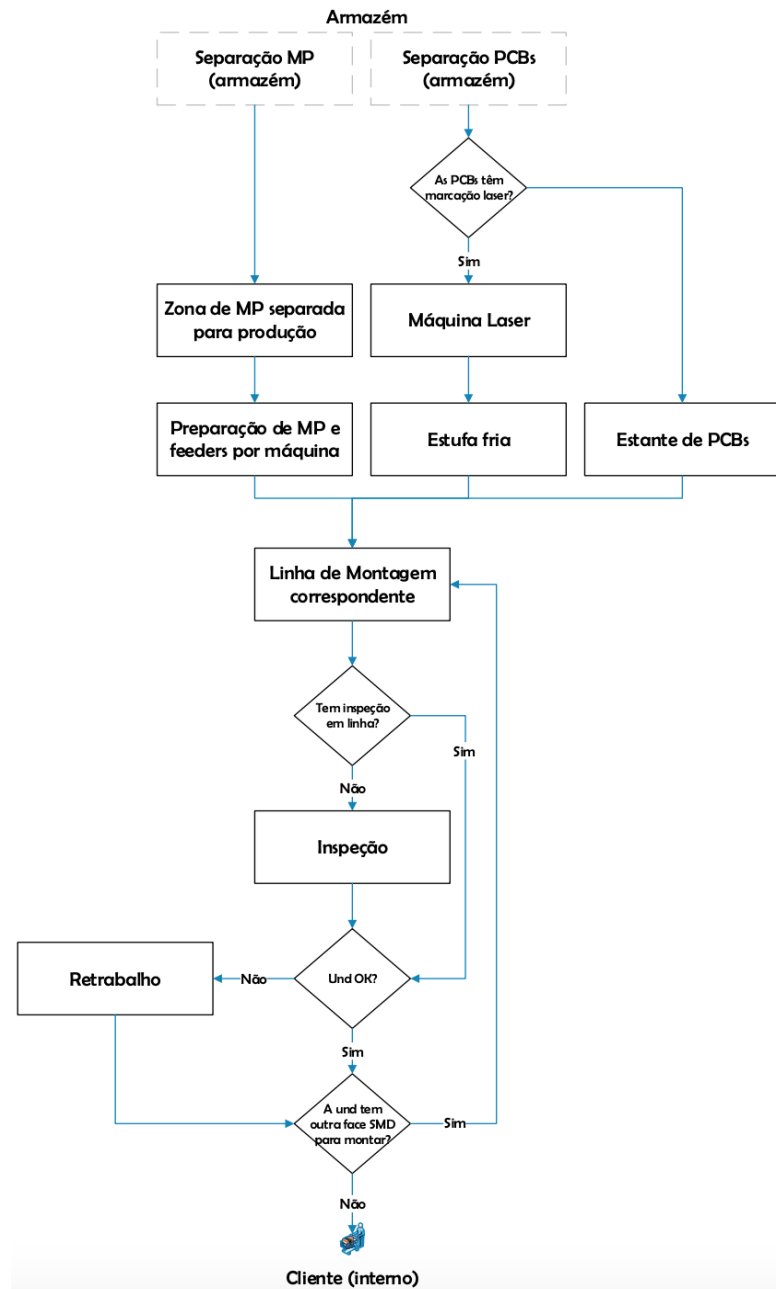


Figura 10 - Fluxograma da Área SMD.

O armazém recebe a matéria prima, tanto PCBs como componentes e procede à sua separação. Os componentes, em bobine, *stick* ou tabuleiro, seguem para a Bancada de Preparação (BP), para serem montados nos *feeders* por máquina. As PCBs seguem ou para a zona de marcação a laser ou para a estante. Quando a matéria-prima está pronta a ser transformada, esta segue para a linha de montagem correspondente. Na linha é

transformada e inspecionada (se a linha tiver sistema de inspeção, esse controlo será feito na própria linha, caso contrário terá de ser feita noutra linha). Após a inspeção, e se tudo estiver conforme a PCB poderá seguir dois caminhos, sendo eles o cliente final ou então, caso tenha montagem das duas faces da placa, terá de iniciar todo o processo de montagem, ou seja, regressa à linha correspondente e inicia a sua montagem. Caso a placa na inspeção tenha sido identificada com anomalias, esta terá de ir para o retrabalho, para que seja possível identificar a origem dos problemas.

#### 4.1.3. Layout das Linhas SMD

Uma linha SMD tem de estar disposta de uma forma inteligente, ou seja, uma sequência que evite deslocações desnecessárias de pessoas e de equipamentos. O produto segue uma ordem lógica. Uma linha de montagem SMD é composta pelos seguintes equipamentos:

- 1- *Loader*
- 2- *Solder Paste Printer*
- 3- *Pick & Place*
- 4- *Conveyor*
- 5- Forno de Soldadura por Refluxo
- 6- *Unloader*



Figura 11 - Esquema representativo do layout de uma linha SMD. (Adaptado de Allpoint, s.d.)

Tendo em conta o esquema ilustrado na figura 11, o *Loader* (1) será o responsável pelo abastecimento de placas que, em seguida, entram na *Solder Paste Printer* (2), onde realiza a impressão, através de um *stencil*, na PCB. Através de um *Conveyor* a PCB já com a impressão da solda segue para a *Pick&Place* (3) onde se realiza a montagem superficial dos componentes para, novamente através de um *Conveyor* (4), seguir para o forno (5), no qual ocorre a conexão elétrica dos componentes e da placa. Por último, as placas são descarregadas no *Unloader* (6).

O método de montagem superficial fornece um processo de fabricação rápido, mas existe sempre o risco da ocorrência de defeitos devido ao facto de os componentes, em alguns casos, serem ou demasiado densos ou muito pequenos. Embora se recorra aos sons para a

deteção de anomalias, esta análise acaba por ser bastante superficial, porque uma máquina SMD é relativamente complexa e o facto de o padrão da máquina mudar consoante os componentes que vão ser montados, não facilitam esta deteção de problemas. Então, sendo os sons produzidos pela máquina demasiados complexos, é necessário a utilização de outros métodos de deteção de falhas que sejam mais pormenorizados (Oh & Yun, 2018).

As placas de circuito impresso têm de ser testadas. As duas formas mais usuais e adequadas para este efeito é a inspeção SPI (*Solder Paste Inspection*) e a inspeção AOI (*Automatic Optical Inspection*). A inspeção SPI é realizada logo após a impressão, sendo avaliada a qualidade da solda. A inspeção AOI é realizada após a montagem dos componentes executada na *Pick & Place* para verificar a qualidade dos componentes colocados e também é utilizada novamente esta inspeção após as PCBs passarem no forno. Esta última inspeção é a mais popular e examina os componentes montados após o processo de refusão (Cao et al., 2019).

A HFA encontra-se equipada com estes dois sistemas de inspeção, estando o SPI logo a seguir à *Solder Paste Printer* e o AOI no fim da linha de produção, sendo utilizado para o pré-AOI (efetuado depois da montagem dos componentes) e o pós-AOI (efetuado após a passagem da PCB pelo forno).

De seguida são apresentadas algumas fotografias dos equipamentos existentes na HFA, que mostram uma linha SMD idêntica à ilustração da figura 11.



Figura 12 - Loader e respetiva recarga, HFA.

Conforme ilustrado na figura 12 apresenta-se em primeiro lugar o equipamento assinalado com 1, o *Loader*, o primeiro da linha e o responsável pela alimentação da *Printer*. Assinalado com o algarismo 2, tem-se a recarga do *Loader*, designada por bastidor, que é onde se alinham as PCBs já com a ordem de entrada correta.



Figura 13 - Printer e Stencil, HFA.

Analisando a figura 13, o algoritmo 3 diz respeito à *Printer*, o equipamento responsável pela impressão da solda na PCB, através do *stencil* ou tela (4). O *stencil* é o molde utilizado para imprimir a solda na PCB e cada ordem de fabrico terá o seu *stencil*/tela. A zona azul designa-se por quadros e a montagem destes é designada, nas tarefas, por preparação da nova tela.

De seguida, tem-se a inspeção SPI, ilustrada na figura 14, que tem como objetivo a inspeção da solda impressa na PCB. Através do ecrã, o operador consegue ver a qualidade da impressão da solda na PCB. Há, na *Printer*, um intervalo de valores que torna ou não a impressão aceitável, ilustrado no lado direito da figura 14.



Figura 14 - SPI (Solder Paste Inspection), HFA.

A seguir à inspeção, a linha conta com duas *Pick&Place* preparadas para a montagem de 300 000 componentes por hora, aproximadamente. As *Pick&Place* levam *feeders* nos dois lados, na frente (figura 15) e retaguarda.



Figura 15 - Pick&Place, HFA.

Quando necessário, os equipamentos precisam de ser ligados por *conveyors*, que são uma espécie de transportadores que levam as PCBs para a máquina seguinte. Na figura 16 encontra-se um dos *conveyors* presentes na linha. Este transporta a placa da *Pick&Place* para o Forno. O outro *conveyor* faz a ligação do Forno à inspeção AOI.



Figura 16 - Conveyor, HFA.

O Forno, responsável pela soldadura dos componentes à PCB, é o antepenúltimo elemento da linha 1. Ocupa uma maior dimensão, em comparação aos outros equipamentos e já atingiu na HFA os 300 graus. Na figura 17, encontra-se ilustrado o Forno de Soldadura por Refluxo e no ecrã, no qual é possível ver o ajuste de temperatura do mesmo.



Figura 17 - Forno de Soldadura por Refluxo, HFA.

O posto seguinte ao Forno (figura 17) será então o sistema de inspeção AOI (figura 18). Este sistema é o responsável por validar a qualidade da placa já completa, ou seja, com a solda, com os componentes e já soldada. Se tudo estiver conforme a placa segue para a área seguinte, caso contrário terá de sofrer alterações.



Figura 18 - Sistema de Inspeção AOI, HFA.

Em último lugar, encontra-se o *Unloader* (figura 19). Este é o equipamento responsável por receber as placas que saem conformes do sistema de inspeção AOI.

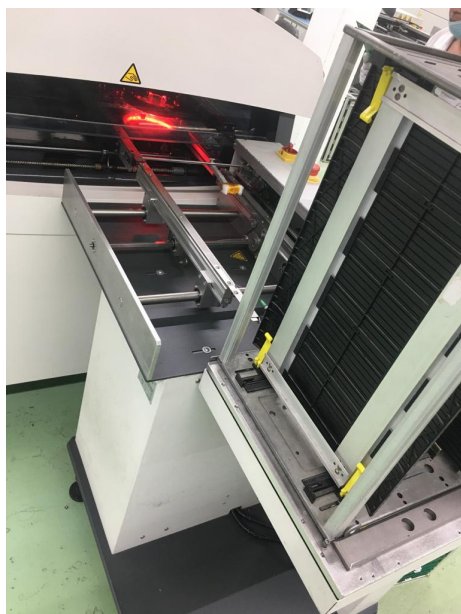


Figura 19 - Unloader, HFA

Para além destes equipamentos, encontram-se no chão de fábrica vários equipamentos e produtos que são essenciais para todo o processo produtivo.

Em primeiro lugar existem os *feeders*, que são utilizados para colocar as bobines. As bobines são rolos de fita, normalmente em plástico ou papel, que contêm os componentes que irão ser montados na PCB. Uma bobine pode conter entre 100 a 50 000 componentes (Asghar et al., 2019). Os *feeders* são alocados nos dois lados da *Pick&Place*. Para além dos ditos *feeders* clássicos, encontra-se também na HFA *feeders* de tabuleiro ou *tray*, que contêm os componentes “ao ar livre”, ou seja, estão organizados no tabuleiro e a cabeça da *Pick&Place* pega neles diretamente no tabuleiro. Tem também os *feeders* vibratórios de *stick*, que com a vibração da *Pick&Place* vai libertando os componentes para a zona de alimentação para, posteriormente, a cabeça da *Pick&Place* os montar na placa.

Na HFA deparamo-nos com três tipos distintos de *feeders*, sendo eles:

- *Feeders* de bobine (figura 20);
- *Feeders* de tabuleiro (figura 21);
- *Feeders* vibratórios de sticks (figura 22).



Figura 20 - Feeder de bobine.



Figura 21 - Feeder de tabuleiro (tray).

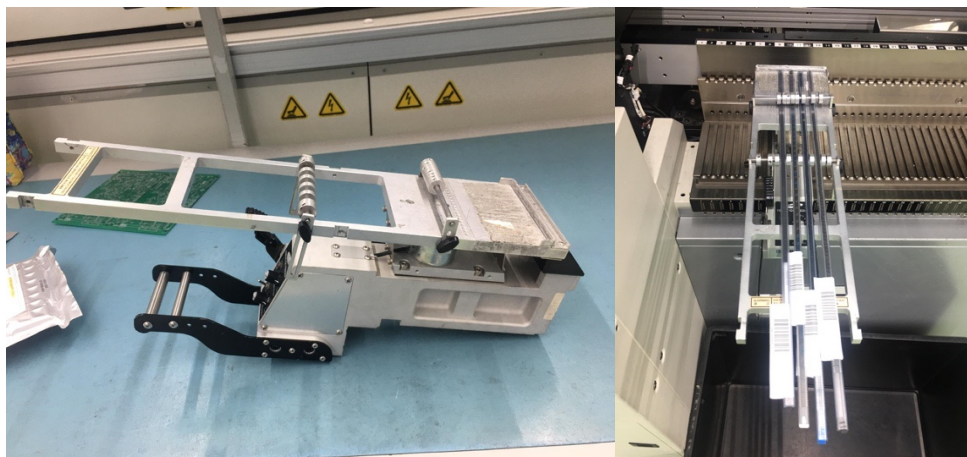


Figura 22 - Feeder vibratório de Stick.

As bobines são os rolos que contêm os componentes. Estas são de plástico (figura 23, lado direito) ou em cartão (figura 23, lado esquerdo), sendo o mais usual estas serem de plástico. São compostas por duas espécies de fitas, onde uma, normalmente branca ou preta, acarreta os componentes e a outra, à partida transparente, serve para proteger os componentes.

Consoante os componentes são utilizados, de forma automática, essas fitas são dispensadas para a caixa que se encontra por baixo destas.



Figura 23 - Bobines para montagem de feeders, em papel e plástico.

Ao longo da parte prática, também serão referidos os pinos e os blocos, representados na figura 24. Os pinos e os blocos são utilizados na *Printer* e têm como função proteger a PCB de dobras e até de quebras. Os pinos incidem sobre partes específicas da PCB e os blocos são normalmente colocados nas laterais.



Figura 24 - Pinos e Blocos utilizados na Printer.

## 4.2. Metodologia SMED

A metodologia SMED foi a ferramenta escolhida para ser aplicada no contexto industrial em estudo, a HFA – Henrique, Fernando e Alves, S.A.. Esta escolha baseou-se nas necessidades da empresa, ou seja, tendo em conta a sua situação inicial que será apresentada posteriormente e, também, tendo em consideração as especificidades desta metodologia, que serão apresentadas nas subsecções seguintes.

A escolha desta metodologia foi decidida em conjunto com a empresa, pois seria a mais útil tendo em conta os elevados tempos de *setup* registados.

Nas subsecções será apresentada uma breve definição de tempo e custo de *setup*, o desenvolvimento histórico da metodologia SMED para permitir uma melhor compreensão do seu crescimento ao longo do tempo e as etapas concetuais, que são mais conhecidas como estágios da metodologia SMED.

#### **4.2.1. Definição de Tempo e Custo de Setup**

Um *setup*, para Silva (2019), é um conjunto de atividades que prepara um determinado sistema para fabricar um produto. As intervenções feitas num equipamento para a realização de um *setup* podem dividir-se em duas subcategorias, no *setup* interno e no *setup* externo. As atividades consideradas internas são aquelas em que a intervenção implica que a máquina esteja parada e as externas podem ser executadas com o equipamento em funcionamento.

Para Allahverdi & Soroush (2008), o tempo de *setup* pode ser definido como o tempo necessário para preparar um recurso necessário para executar uma tarefa, sendo esse recurso uma máquina ou pessoas. Para Ferradás & Salonitis (2013), o tempo de troca de uma ferramenta (*setup*) é o período entre o último produto válido da ordem de produção anterior e o primeiro produto válido da ordem de produção seguinte.

O custo de *setup* está associado ao custo gasto na preparação de qualquer recurso usado antes da execução de uma tarefa. Este custo pode ser, por exemplo, a aquisição de uma ferramenta (Allahverdi & Soroush, 2008).

#### **4.2.2. Desenvolvimento Histórico da Metodologia SMED**

Recuando até à década de 1950, com o TPS de Eiji Toyoda e Taiichi Ohno pretendia-se principalmente, a redução de desperdícios e, para isso acontecer, foram criadas técnicas que adotavam a produção de pequenos lotes, a redução de stocks, o foco na qualidade e na manutenção preventiva (Sugai et al., 2007). Se a preparação de uma máquina ou de um molde demorar muito tempo, há uma forte tendência de a empresa regredir para a produção em grandes lotes. Para conseguirem dar resposta à procura diferenciada por parte dos clientes, é necessário as empresas agirem e executarem as alterações das máquinas de forma rápida (Rosa et al., 2017). As técnicas utilizadas pela Toyota foram todas desenvolvidas internamente, à exceção do SMED, pois este foi desenvolvido com a colaboração do

consultor Shigeo Shingo, tendo como objetivo a redução do tempo de *setup* das máquinas (Sugai et al., 2007).

A Toyota produzia quantidades reduzidas de automóveis, mas com elevada diversidade, sendo necessário efetuar trocas de moldes e ferramentas com muita frequência. Ao aumentar as intervenções para a elaboração de *setups*, ficou clara a urgência em agilizar este processo. Já na produção em massa, as prensas produziam o mesmo produto por um período de tempo muito alargado ou então, dedicavam-se apenas à produção de um componente. O que Ohno (1988) e Shingo (1985) pretendiam era que os *setups* se tornassem algo rápido e simples, e que fossem realizados pelos operadores da fábrica. Para tal, era necessário implementar técnicas, desenvolver sistemas e mecanismos, formar operadores, treiná-los e movimentá-los (Ohno, 1988).

A metodologia SMED foi pensada e desenvolvida durante um período de 19 anos, de 1950 a 1969, por Shigeo Shingo (Antosz & Pacana, 2018). Shingo (1985), separa o desenvolvimento da ferramenta SMED em três fases distintas.

A primeira etapa deu-se em 1950 na empresa Toyo Kogyo's Mazda, na cidade de Hiroshima, onde Shingo ao observar a troca de matrizes de uma prensa, classificou um conjunto de operações internas, que só podem ser realizadas com a máquina parada e outro conjunto de operações externas, que podiam ser realizadas com a máquina em funcionamento (Sugai et al., 2007).

Em 1957, na Mitsubishi em Hiroshima, aconteceu a segunda etapa das três estipuladas por Shingo, onde surgiu a duplicação de ferramentas, ou seja, o *setup* passou a ser feito separadamente, o que gerou um aumento de 40% na produção (Sugai et al., 2007).

Por último, na empresa Toyota Motors Company, Shingo reduziu-se um tempo de *setup* de quatro horas numa prensa de 1000 toneladas, para noventa minutos, mas a empresa exigiu menos tempo e então, é neste momento em 1969, que surge a conversão do *setup* interno em *setup* externo, ou seja, reduz-se o tempo despendido num *setup* feito com a máquina parada. Com isto, o *setup* que demorava noventa minutos, passou a durar apenas três minutos (Sugai et al., 2007).

Com o desenvolvimento destas três etapas, Shigeo Shingo criou a sua metodologia onde, na versão inglesa, originou a sigla SMED, que quer dizer “*Single Minute Exchange of Die*”. Esta metodologia traz consigo um conceito e uma meta de tempo, que se baseia numa troca de matrizes em menos de dez minutos (Sugai et al., 2007).

A metodologia SMED surge do TPS, e hoje em dia é uma das ferramentas incorporadas na filosofia Lean. Lida com um conjunto de técnicas para minimizar os tempos de *setup*, contribuindo para a redução do tempo de inatividade dos equipamentos e para o aumento do rendimento da produção. Além disso, a diversidade de produtos e o aumento da produção em pequenos lotes, levam as organizações a otimizar os seus processos de modo a dar resposta à diversidade da procura. Tornar os *setups* mais rápidos significa reduzir a inatividade das máquinas e, ao mesmo tempo, convergir para a necessidade de eliminar atividades que não agregam qualquer tipo de valor para a organização (Vieira et al., 2019).

#### 4.2.3. Etapas Conceituais

De acordo com Shingo (1985), a metodologia SMED é uma abordagem científica que consiste na redução dos tempos de *setup*, que pode ser implementada em qualquer empresa e em qualquer equipamento. A sua implementação deve ser realizada por fases. Em suma, a metodologia SMED resume-se a quatro estágios, nomeadamente, o estágio 0 ou preliminar, o estágio 1, estágio 2 e o estágio 3, conforme ilustrados na figura 25 (Rosa et al., 2017).

Através da análise da figura 25, é possível verificar que existem dois níveis distintos no SMED, que são os estágios conceituais e as técnicas correspondentes aos estágios conceituais. Os estágios de implementação da metodologia SMED apresentam-se da seguinte forma (Sugai et al., 2007):

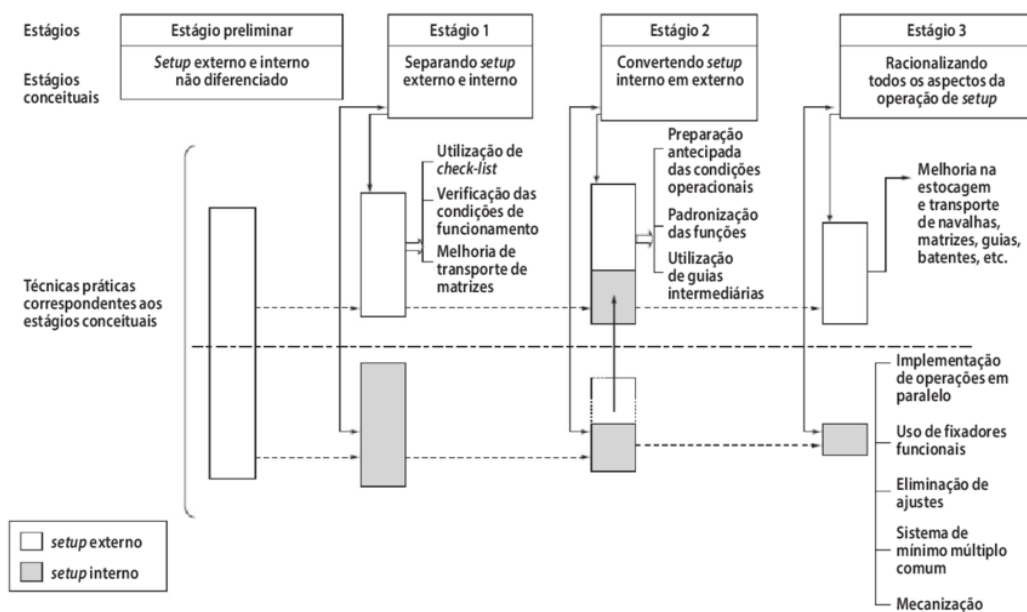


Figura 25 - Etapas/Estágios conceituais da Metodologia SMED (Sugai et al., 2007)

- **Estágio preliminar ou Estágio 0: *setup* interno e externo não se distinguem**

Nesta primeira fase, não há qualquer tipo de distinção entre o *setup* interno e o externo (Sugai et al., 2007). O objetivo deste estágio é ter uma imagem geral de todas as atividades incluídas num processo de mudança. Esta recolha de dados sobre o estado atual dos *setups* pode ser realizado através de entrevistas aos operadores responsáveis pelas máquinas e chefes de linha, através de filmagens e cronometragem dos tempos despendidos em cada atividade. O registo temporal será utilizado para a criação do tempo padrão para cada operação (Almomani et al., 2013).

- **Estágio 1: separação do *setup* interno e do *setup* externo**

Este estágio corresponde à organização das atividades, efetuando-se uma separação entre as tarefas realizadas com a máquina parada, denominadas por *setup* interno, e aquelas que são realizadas com o equipamento em funcionamento, o *setup* externo (Sugai et al., 2007). Shingo (1985) referiu que, se fosse feito um esforço para que as atividades internas fossem reduzindo, prevalecendo assim *setups* externos, o tempo necessário para a realização de um *setup* interno reduzir-se-ia em cerca de 30% a 50%.

Para separar estes dois tipos de *setup*, Shingo sugeriu o uso de três ferramentas distintas, como está ilustrado na figura 25 (Almomani et al., 2013):

- Lista de verificação ou *checklist*: lista que apresenta todos os recursos essenciais necessários à elaboração do *setup*, nomeadamente ferramentas e procedimentos;
- Verificação das condições de funcionamento: indicação da disponibilidade e da condição de todas as ferramentas essenciais à elaboração do *setup*;
- Aquando do *setup*, ter as ferramentas e os componentes já preparados, antes de se iniciar qualquer configuração.

- **Estágio 2: conversão do *setup* interno em *setup* externo**

A redução prevista no estágio 1 ainda não é suficiente para atingir a meta de tempo proposta pelo SMED. É necessário analisar as tarefas para que, caso haja tarefas a ser executadas com a máquina parada desnecessariamente, sejam convertidas em *setup* externo (Almomani et al., 2013).

As melhorias neste estágio podem ser realizadas através de modificações nos equipamentos e/ou eliminação de algumas tarefas que, como já foi referido anteriormente, poderão ser consideradas desnecessárias à atividade de *setup*. Conforme apresentado na figura 25, existem algumas técnicas para auxiliar no processo de conversão, nomeadamente (Almomani et al., 2013):

- Preparação prévia da máquina, tendo em conta aquilo que é requerido para o trabalho que será executado;
- O uso de procedimentos padrão, ou seja, padronizar as atividades para que, sempre que possível, os operadores terem um guia para a realização do *setup*. A padronização aplica-se também às ferramentas utilizadas.

- **Estágio 3: simplificação de cada operação do *setup* interno e externo**

Shigeo Shingo (Shingo, 1988) definiu o seu terceiro estágio como uma melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo. Este terceiro estágio fez com que a metodologia SMED fosse vista como uma ferramenta de melhoria contínua. É necessária a melhoria contínua de cada elemento do *setup* interno e externo, e esse objetivo pode não ser atingido apenas com a utilização dos estágios enumerados anteriormente (Sugai et al., 2007).

Segundo Almomani *et al.* (2013), Shingo (1985) separou os dois *setups* e nomeou algumas atividades em cada um deles:

- Melhorar o *setup* interno: a melhoria neste ponto pode ser realizada de várias formas, ou seja, implementar operações que podem ser executadas ao mesmo tempo, usar fixadores funcionais e não os manuais ou eliminar pequenos ajustes. Com estas e outras atividades, espera-se a redução significativa dos tempos despendidos em *setups*.
- Melhorar o *setup* externo: inclui-se aqui, como possível melhoria, a utilização de atividades que ajudem o operador a executar as tarefas da melhor maneira, ou seja, a eliminação de desperdícios relativos a deslocações desnecessárias resultantes da má localização das ferramentas e, também, se sugere uma inspeção prévia das ferramentas de modo a garantir o ótimo funcionamento das mesmas, evitando a substituição destas durante o *setup*.

Todo o trabalho desenvolvido para implementar a metodologia SMED tem que ser verificado de forma contínua. Manter os tempos de *setup* alcançados implica a fixação de métodos e a realização de auditorias com bastante frequência (Sugai et al., 2007).

Segundo Kusar et al. (2010), o sucesso da redução dos tempos de *setup* deve-se a três aspetos:

- Aos métodos aplicados para executar as tarefas;
- À organização do trabalho que é necessário ser feito;
- Às características técnicas dos equipamentos e ferramentas utilizadas.

Estes três aspetos dão respostas às questões “*Como?, Quem?, O quê? e Quando?*”. Tudo isto tem de ser suportado por uma base de motivação sólida onde os objetivos têm de ser estabelecidos desde a gestão de topo até aos operadores. Conforme apresentado na figura 26, à semelhança do LM, a estrutura da metodologia SMED também pode ser ilustrada com a analogia da casa TPS.



Figura 26 - Elementos do setup (Fonte: Kusar et al., 2010)

Para Kusar et al. (2010), uma mudança rápida e eficiente de uma máquina requer valores ótimos dos três elementos do *setup*, apoiados pela motivação dos operadores responsáveis pela elaboração da preparação da máquina.



## Capítulo 5

### Implementação da Metodologia SMED

Neste capítulo apresenta-se a implementação da metodologia SMED. Começando por se apresentar a linha 1 de produção e a descrição do processo de *setup* existente antes de qualquer intervenção no mesmo. Nesta descrição do processo, apresenta-se a identificação das tarefas internas e externas e no ponto seguinte, a quantificação dos tempos de execução de cada uma tarefa identificadas. Após esta primeira análise procedeu-se à definição de proposta de melhoria, que consistiu na conversão de tarefas internas em externas e, logo de seguida, eliminam-se as tarefas consideradas desnecessárias, com base no *setup* filmado.

Após a implementação das propostas de melhoria, são apresentados os resultados obtidos. Foi efetuada uma nova filmagem do *setup*, para o qual os operadores já tinham indicações sobre as alterações efetuadas nas ordens de trabalho e no modo como as tarefas deveriam ser executadas.

Devido à falta de tempo, não foi possível acompanhar mais *setups* após a filmagem da implementação do novo método de trabalho, mas o objetivo desta nova filmagem foi comprovar que é possível reduzir os tempos, com base nas alterações sugeridas.

#### 5.1. Levantamento Inicial

A implementação da metodologia SMED incidiu sobre a área SMD da empresa HFA, na linha 1. As considerações iniciais resumem-se a uma linha minimamente organizada, rica em equipamentos e com operadores especializados. Quanto às tarefas que constituem o *setup*, estas encontram-se completamente desorganizadas e sem qualquer tipo de consequência definida.

##### 5.1.1. Linha 1

O desenvolvimento deste caso de estudo será aplicado na linha 1 da área SMD, inserida no departamento de Produção da empresa HFA.

A Linha 1 funciona em dois turnos de 8 horas, nomeadamente das 05:00h às 13:00h e das 13:00h às 22:00h, com uma hora de pausa para refeição. Possui 2 equipas, sendo cada uma delas constituída por o operador de linha, que altera consoante o turno, tal como o responsável de turno. Para além destes operadores, conta ainda com um operador específico para a *Printer* que atua em todas as linhas e não exclusivamente na 1.

A linha 1, como as restantes, tem uma lógica inteligente, pois a disposição dos equipamentos foi pensada para que alguns desperdícios não aconteçam, nomeadamente as perdas de tempo em movimentações desnecessárias.

A disposição organizacional da linha segue um formato em linha reta, ou seja, o início da linha e o seu final encontram-se nas extremidades da linha. A disposição desta não poderia ser de outra maneira, uma vez que as PCBs têm de seguir uma determinada ordem para a montagem dos componentes e, desta forma, uma disposição em linha reta facilita a movimentação automática (através de *Conveyors*) das placas, sem que seja necessário que esse trabalho seja feito por um colaborador.

À semelhança de todas as linhas SMD, a linha 1 é constituída por um *Loader*, uma *Printer* Automática, um Sistema de Inspeção SPI, duas *Pick&Place*, Forno de Soldadura por Refluxo, um Sistema de Inspeção AOI e um *Unloader*. Existem também dois transportadores, denominados de *Conveyor*.

### 5.1.2. Descrição do Processo de Setup e Classificação das Tarefas

Segundo Farlow (2005), a tendência das empresas que têm como atividade a montagem de PCBs, aproxima-se cada vez mais da estrutura de produção *High-mix, Low-volume*, ou seja, produzem grande variedade de produtos em pequenas quantidades. Esta tendência pode ser explicada por uma procura altamente diversificada.

**Percentagem do tempo de produção despendido com o Setup**

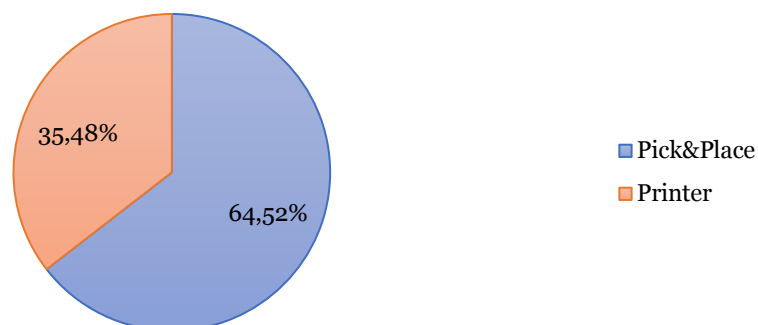


Gráfico 1 - Percentagem do tempo de produção despendido com o *setup* na *Printer* e na *Pick&Place* (Fonte: Farlow, 2005)

Através da análise do gráfico 1, é possível concluir-se que ao retirar-se o *Loader*, o Forno de Refluxo e o *Unloader*, um *setup* é maioritariamente constituído pelas tarefas executadas na

*Printer* e na *Pick&Place* (Farlow, 2005). Contudo, o objetivo deste caso de estudo será reduzir, ao máximo, o tempo total de *setup*, portanto, serão incluídas com a mesma relevância todas as atividades executadas ao longo de um *setup*.

Para uma correta aplicação do SMED é necessário estudar e analisar todas as operações realizadas num *setup*. Numa fase inicial, filmou-se um *setup* de forma a retirar todas as tarefas e os seus respetivos tempos. A análise dessa filmagem, permitiu que fosse possível identificar todas as tarefas e os seus respetivos tempos médios. É importante salientar que cada *setup* é diferente e, consoante a OF em questão, o tempo poderá mudar.

Na tabela 1 são apresentadas todas as tarefas realizadas durante um *setup*, com os respetivos tempos e o modo como foram executadas, internamente ou externamente. Foi criada uma folha de registo com o objetivo de identificar todas as tarefas de uma forma mais rápida e sistematizada.

O processo de *setup* é bastante demorado e inclui muitas tarefas. Este irá ser apresentado pela ordem que é realizado e não por máquina, para uma melhor perceção da organização e sequência das tarefas.

Na tabela 1 são apresentadas todas as atividades pela ordem que são executadas sem qualquer racionalização, ou seja, existe uma ausência de métodos, o tempo de preparação é muito variável e optou-se por efetuar já a separação das tarefas internas e externas, para uma melhor perceção do problema real. A tabela 1 corresponde ao estágio 1 da metodologia SMED. A sequência das tarefas está apresentada ao pormenor. É possível fazer uma simplificação, mas para detetar os gargalos mais facilmente, numa fase inicial, optou-se por este método.

Tabela 1-Registo detalhado de todas as tarefas de um *setup*.

<b>Descrição das Tarefas</b>	<b>Tarefas Interna</b>	<b>Tarefa Externa</b>
1.Pegar na solda		X
2.Pegar na espátula		X
3.Limpar a solda restante da produção anterior	X	
4.Tirar tela e levá-la para zona de lavagem	X	
5.Tirar os pinos e os blocos e colocá-los no carrinho de apoio	X	
6. Preparação da nova tela	X	
7.Programar <i>Printer</i>	X	
8.Buscar pinos e blocos	X	
9.Montar/Posicionar os pinos e os blocos	X	
10.Colocar/posicionar a tela	X	

11. Programar e testar	X	
12. Ajustes	X	
13. Colocar a pasta	X	
14. Primeira impressão	X	
15. Testar a 1ª placa	X	
16. Validar a qualidade SPI	X	
17. Pegar num carrinho vazio à Bancada de Preparação (BP)	X	
18. Cortar as fitas excedentes da produção anterior e armazená-las nos recipientes junto à linha	X	
19. Arrumar sobras da produção anterior	X	
20. Remover os <i>Feeders</i> (máq. 1 e 2)	X	
21. Movimentação do operador	X	
22. Colocar o lixo nos contentores da reciclagem	X	
23. Identificação da Ordem de Fabrico (OF)	X	
24. Levar o carrinho para a BP	X	
25. Buscar carrinho para nova OF	X	
26. Buscar caixa dos suplentes à BP	X	
27. Terminar a sessão do trabalho anterior e iniciar a nova ordem	X	
28. Dar entrada da matéria prima no programa RCF - rastreabilidade	X	
29. Definição das quantidades esperadas no OEE ( <i>Overall Equipment Effectiveness</i> – Programa que tem como objetivo “medir” a eficiência da máquina)	X	
30. Tirar o <i>Skip</i> para guardar programa limpo	X	
31. Fechar o dossier de produção antiga	X	
32. Definir o programa de linha	X	
33. Picagem e colocação de <i>Feeders</i>	X	
34. Movimentação do carrinho para parte de trás da linha	X	
35. Picagem e colocação dos <i>Feeders</i>	X	
36. Mover o carrinho para a parte da frente da linha	X	
37. Colocar os restantes <i>Feeders</i> na parte da frente da linha	X	
38. Verificação das bobines não identificadas	X	
39. Colocar os 2 <i>Feeders</i> identificados na parte de trás da linha	X	
40. Picar os 2 <i>Feeders</i> e programar um <i>Feeder</i> que estava programado como <i>stick</i> em vez de bobine	X	
41. Colocação de um <i>Feeder</i> na parte de trás da linha	X	
42. Identificação dos <i>Feeders</i> em falta	X	
43. Confirmar a forma como a placa irá entrar, ou seja, verificar qual o lado de cima da placa e qual a parte da frente da mesma	X	
44. Colocação dos pinos para evitar dobras na PCB	X	
45. Mudança de máquina e ajustes no <i>Conveyor</i>	X	
46. Confirmar a programação da deslocação dos componentes após a colocação dos pinos	X	
47. Após a confirmação, retirar PCB do <i>Conveyor</i>	X	
48. Abertura do dossier da nova produção	X	

49.Verificação de alterações estabelecidas no dossier e ajuste do perfil do forno	X	
50.Ajuste na entrada do forno	X	
51.Ajuste na saída do forno	X	
52.Preparação do <i>Loader</i>	X	
53.Levar <i>Feeders</i> que estavam a mais para a bancada de preparação	X	
54.Trazer <i>Feeders</i> de tabuleiro	X	
55.Levar tabuleiro para a parte de trás da linha e montagem	X	
56.Deslocação, confirmação do programa e testar máquina	X	
57.Criar base de dados com os componentes utilizados e picagem das bobines colocadas nos <i>Feeders</i>	X	
58.Passar leitor de códigos para o outro lado da linha	X	
59.Deslocação e picagem das bobines colocadas na parte de trás da linha	X	
60.Picagem dos códigos dos <i>Feeders</i> de tabuleiro	X	
61.Deslocação e ajuda na preparação dos <i>Feeders</i> em falta na BP	X	
62.Deslocar o carrinho da BP para a Linha	X	
63.Dar entrada da Matéria Prima – Leitura dos códigos de barras dos <i>Feeders</i> colocados ainda no carrinho - Rastreabilidade	X	
64.Picagem e colocação dos <i>Feeders</i> nos respetivos lugares	X	
65.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	X	
66.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 2	X	
67.Picagem e colocação de <i>Feeders</i> na máquina 2	X	
68.Arrumar o leitor e desviar os fios	X	
69.Deslocação do carrinho para a parte de trás da linha e colocação dos <i>Feeders</i>	X	
70.Levar o carrinho vazio para a bancada de preparação	X	
71.Deslocação até à linha 7 para recolher um ferro e colocá-lo na bobine	X	
72.Colocação do ferro na bobine	X	
73.Ajustes dos recipientes que recebem as fitas gastas das bobines	X	
74.Verificação da posição dos <i>Feeders</i> na máquina 1	X	
75.Deslocação para a parte de trás da linha para a colocação de 1 <i>Feeder</i>	X	
76.Marcas os componentes que faltam	X	
77.Retornar à parte da frente da linha e fazer a verificação na máquina 2	X	
78.Deslocação à BP (ida e volta) para pegar nos <i>Feeders</i> em falta	X	
79.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	X	
80.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte da frente da linha – máquina 1	X	
81.Picagem dos <i>Feeders</i> e do <i>Slot</i> para verificar se estão na posição correta	X	
82.Mover o leitor e enrolar o fio	X	
83.Movimentação e picagem dos <i>Feeders</i> e <i>Slots</i> na parte de trás da linha	X	
84.Movimentar e confirmação da correta colocação dos <i>Feeders</i>	X	
85.Movimentar para a parte de trás da linha e terminar	X	
86.Colocação de PCB na <i>Pick&amp;Place</i> para verificar se os componentes estão a ser recolhidos no local correto	X	

87. Analisar e testar se os componentes vão ser recolhidos nos locais corretos	X	
88. Pegar em mais placas à zona da serigrafia (Gravuras de códigos nas PCBs)	X	
89. Retirar a placa da <i>Pick&amp;Place</i>	X	
90. Ajustes do <i>Conveyor</i> que liga a <i>Pick&amp;Place</i> ao forno	X	
91. Ajustes no <i>Convoyer</i> que liga o forno à SPI	X	
92. Colocação da placa "teste" no bastidor do <i>Loader</i>	X	
93. Executar a primeira PCB	X	
94. Levar a placa para a validação da qualidade	X	
95. Colocação do bastidor no <i>Loader</i>	X	
96. Buscar placa já colocada no bastidor do <i>Loader</i> para ajustar os bastidores do <i>Unloader</i>	X	

A partir do momento em que a última PCB é produzida, dá-se início ao *setup*. Analisando-se a tabela 1, é possível verificar que o *setup* não tem uma ordem específica. Começa na *Printer*, uma vez que é a primeira máquina da linha a parar, pois após o momento da impressão da última placa, que ainda estará sujeita à montagem dos componentes, esta está pronta para ser modificada para a nova produção. Nos restantes equipamentos da linha, não há propriamente uma ordem definida, nem quanto aos equipamentos, nem quanto às tarefas em si.

Na *Printer*, um operador começa por trazer a solda da sala das telas, pois esta tem que estar a uma determinada temperatura. Normalmente, junto à *Printer* há uma espátula para se retirar a solda que resta da produção anterior, caso não haja, tem de se ir buscar a outra linha. Depois de a solda excedente da produção anterior ser retirada, tira-se a tela e leva-se para a zona de lavagem. Tiram-se os pinos e os blocos e inicia-se a programação da *Printer*. Prepara-se a nova tela, na zona de lavagem e a mesma é levada para a produção, onde se inicia a sua montagem e posicionamento dos pinos e dos blocos para que a PCB não sofra qualquer tipo de quebra ou dobra. Após a execução dos ajustes e posicionamentos coloca-se a tela e, após isso, a *Printer* fica à espera da restante linha, uma vez que apenas se coloca a solda quando faltarem 15/20 minutos para a produção arrancar, visto que a solda não pode estar exposta à temperatura ambiente durante muito tempo. A impressão é testada com o recurso a uma folha de papel. Posteriormente, é testada a primeira placa, a qual segue então para a inspeção SPI. Quando a validação é executada e é obtido um resultado que, dentro dos parâmetros estabelecidos se considera positivo, assume-se que a *Printer* está pronta a produzir.

Após o término da última placa da produção anterior, iniciam-se as operações de *setup* na *Pick&Place*. Estas são as mais demoradas e também as que apresentam um maior número de tarefas. De forma resumida, estas operações consistem em retirar os *feeders* da produção

anterior, programar as máquinas para a nova produção e colocar os *feeders* com as bobines com os novos componentes da produção seguinte. A entrada de matéria prima tem de ser registada através da leitura dos códigos de barras presentes na bobine. A este processo chama-se rastreabilidade e é utilizada para que o cliente, se assim entender, possa ver que todos os processos de produção foram cumpridos e também para um melhor controlo da saída de matérias primas do armazém. Para a colocação dos *feeders*, o operador tem de ler o código de barras da bobine e o cenário que aparece no computador, é o da figura 27.

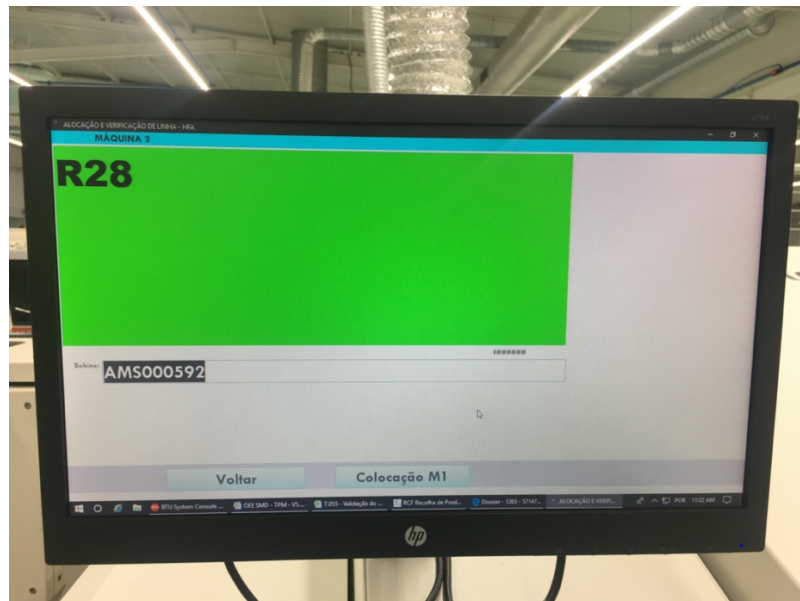


Figura 27 - Programa de colocação dos *feeders*.

Ao analisar a figura 27, vê-se R28 que será o sítio de colocação do *feeder*, ou seja, retaguarda no *slot* 28, temos também a designação do código correspondente a esse componente e, no canto superior esquerdo do ecrã, pode-se ver também em qual máquina está a ser feita a colocação, neste caso, na máquina 2.

Na *Pick&Place* realiza-se também uma verificação da colocação dos *Feeders*, ou seja, através da leitura dos códigos de barras do *feeder* e do *slot* (régua com códigos de barras colocada na máquina), verifica-se se este se encontra colocado no local correto com base naquilo que está estipulado no *dossier* de produção (figura 28). A este processo, a empresa denomina por confirmação da linha.

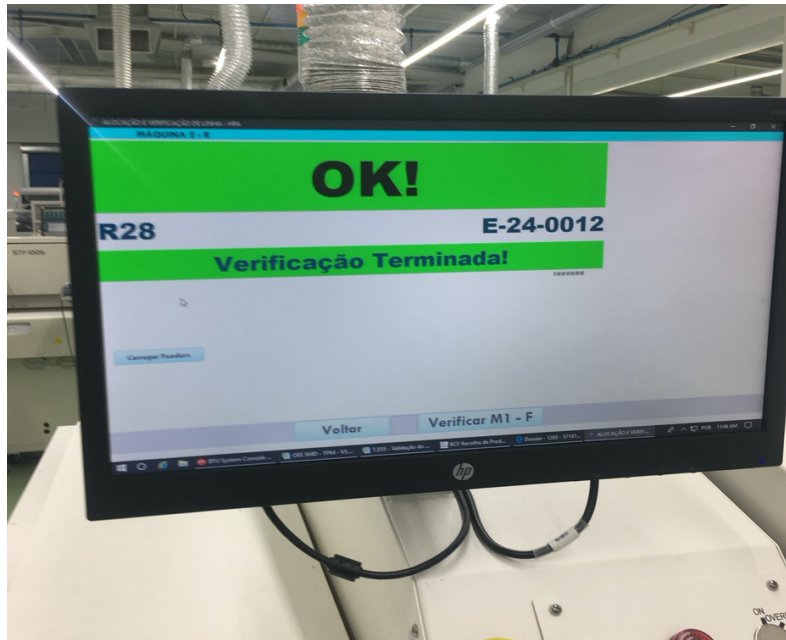


Figura 28 - Confirmação da Linha.

Ao analisar-se a figura 28, verifica-se o processo de confirmação da linha onde, neste caso, se fez a confirmação da máquina 2 – retaguarda (legível no canto superior esquerdo, na barra a azul) e o *feeder* continua a ser o R28. Quando essa confirmação é efetuada com sucesso, o que acontece é o computador transmitir a mensagem de “Verificação Terminada” a cor verde, dando indicação de que está tudo OK.

É também realizada outra verificação, sendo esta a da deslocação dos componentes, ou seja, através de uma espécie de comando o operador verifica se o componente está a ser colocado exatamente no local correto na PCB e caso não esteja, através desse comando, o operador consegue “movimentar” o componente para o local correto.

Além disto, são também realizadas verificações na configuração do forno para a nova produção, nos ajustes das larguras dos *conveyors* e nos do *Loader/Unloader*.

Quando a placa é levada para a validação da qualidade através da inspeção AOI, a linha fica parada durante aproximadamente 15 minutos.

A maior preocupação nesta parte do processo é o facto de as tarefas não terem uma sequência definida e a maior parte delas estarem a ser realizadas com a máquina parada, como é possível analisar através do gráfico 2.

### Classificação das Tarefas como Internas ou Externas

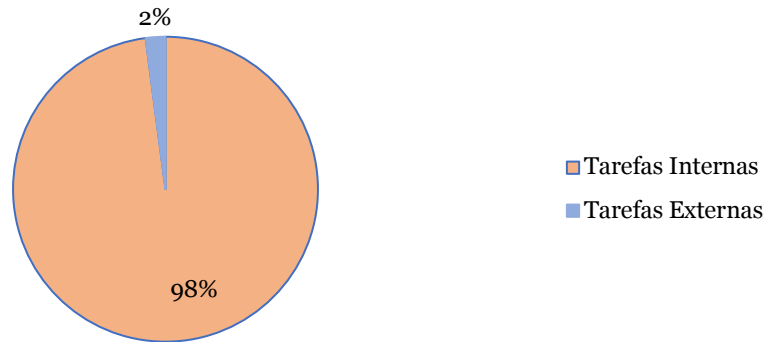


Gráfico 2 - Distribuição das tarefas pelas duas categorias.

Num total de 96 tarefas realizadas num *setup*, 94 foram realizadas com a máquina parada o que em percentagem representa 98%, conforme é possível analisar através da informação apresentada no gráfico 2. Apenas duas tarefas foram realizadas de forma externa, correspondendo a 2% da totalidade. É importante salientar que, cada *setup* é diferente e há fatores que podem influenciar os tempos, como por exemplo quando se trata de uma produção nova, pois é o primeiro contacto que o colaborador tem com a placa e com todo o seu sistema de produção. Neste primeiro *setup* filmado, foram identificadas um total de 96 tarefas, mas nem sempre são 96, pois podem até ser mais ou menos. O número de tarefas e o tempo das mesmas é diferente consoante a produção que será executada.

Na tabela 2, apresentam-se as mesmas tarefas, mas desta vez, com os respetivos tempos. Estes são apresentados em segundos e no final de cada máquina, neste caso no final da *Printer* e no final da restante linha, consta o tempo em horas e minutos, para uma melhor perceção.

Tabela 2 - Classificação das Tarefas e os seus respetivos tempos, em segundos.

Descrição das Tarefas	Tarefas Interna	Tarefa Externa	Tempo por Tarefa (Segundos)
1.Pegar na solda		X	29
2.Pegar na espátula		X	17
3.Limpar a solda restante da produção anterior	X		22
4.Tirar tela e levá-la para zona de lavagem	X		26
5.Tirar os pinos e os blocos e colocá-los no carrinho de apoio	X		23
6. Preparação da nova tela	X		120

7.Programar <i>Printer</i>	X		174
8.Buscar pinos e blocos	X		10
9.Montar/Posicionar os pinos e os blocos	X		14
10.Colocar/posicionar a tela	X		13
11.Programar e testar	X		469
12.Ajustes	X		155
13.Colocar a pasta	X		60
14.Primeira impressão	X		40
15.Testar a 1ª placa	X		124
16.Validar a qualidade SPI	X		40
17.Pegar num carrinho vazio à Bancada de Preparação (BP)	X		60
<b>Printer</b>			<b>1391 segundos ≈ 23 minutos</b>
18.Cortar as fitas excedentes da produção anterior e armazená-las nos recipientes junto à linha	X		182
<b>19. Arrumar sobras da produção anterior</b>	X		610
20.Remover os <i>Feeders</i> (máq. 1 e 2)	X		191
21.Movimentação do operador	X		47
22.Colocar o lixo nos contentores da reciclagem	X		70
23.Identificação da Ordem de Fabrico (OF)	X		97
24.Levar o carrinho para a BP	X		68
25.Buscar carrinho para nova OF	X		102
26.Buscar caixa dos suplentes à BP	X		40
27.Terminar a sessão do trabalho anterior e iniciar a nova ordem	X		38
28.Dar entrada da matéria prima no programa RCF - rastreabilidade	X		176
29.Definição das quantidades esperadas no OEE ( <i>Overall Equipment Effectiveness</i> – Programa que tem como objetivo “medir” a eficiência da máquina)	X		47
30.Tirar o <i>Skip</i> para guardar programa limpo	X		191
31.Fechar o dossier de produção antiga	X		36
32.Definir o programa de linha	X		44
33.Picagem e colocação de <i>Feeders</i>	X		225
34.Movimentação do carrinho para parte de trás da linha	X		25
35.Picagem e colocação dos <i>Feeders</i>	X		189
36.Mover o carrinho para a parte da frente da linha	X		19
37.Colocar os restantes <i>Feeders</i> na parte da frente da linha	X		103
38.Verificação das bobines não identificadas	X		128

39.Colocar os 2 <i>Feeders</i> identificados na parte de trás da linha	X		57
40.Picar os 2 <i>Feeders</i> e programar um <i>Feeder</i> que estava programado como <i>stick</i> em vez de bobine	X		118
41.Colocação de um <i>Feeder</i> na parte de trás da linha	X		22
42.Identificação dos <i>Feeders</i> em falta	X		33
43.Confirmar a forma como a placa irá entrar, ou seja, verificar qual o lado de cima da placa e qual a parte da frente da mesma	X		184
44.Colocação dos pinos para evitar dobras na PCB	X		130
45.Mudança de máquina e ajustes no <i>Conveyor</i>	X		54
46.Confirmar a programação da deslocação dos componentes após a colocação dos pinos	X		236
47.Após a confirmação, retirar PCB do <i>Conveyor</i>	X		16
48.Abertura do dossier da nova produção	X		138
49.Verificação de alterações estabelecidas no dossier e ajuste do perfil do forno	X		95
50.Ajuste na entrada do forno	X		74
51.Ajuste na saída do forno	X		41
52.Preparação do <i>Loader</i> e abastecimento de um bastidor com PCBs	X		199
53.Levar <i>Feeders</i> que estavam a mais para a bancada de preparação	X		62
54.Trazer <i>Feeders</i> de tabuleiro	X		135
55.Levar tabuleiro para a parte de trás da linha e montagem	X		88
56.Deslocação, confirmação do programa e testar máquina	X		76
57.Criar base de dados com os componentes utilizados e picagem das bobines colocadas nos <i>Feeders</i>	X		94
58.Passar leitor de códigos para o outro lado da linha	X		10
59.Deslocação e picagem das bobines colocadas na parte de trás da linha	X		46
60.Picagem dos códigos dos <i>Feeders</i> de tabuleiro	X		27
61.Deslocação e ajuda na preparação dos <i>Feeders</i> em falta na BP	X		857
62.Deslocar o carrinho da BP para a Linha	X		38
63.Dar entrada da Matéria Prima – Leitura dos códigos de barras dos <i>Feeders</i> colocados ainda no carrinho - Rastreabilidade	X		160
64.Picagem e colocação dos <i>Feeders</i> nos respetivos lugares	X		210

65.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	X		32
66.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 2	X		58
67.Picagem e colocação de <i>Feeders</i> na máquina 2	X		155
68.Arrumar o leitor e desviar os fios	X		10
69.Deslocação do carrinho para a parte de trás da linha e colocação dos <i>Feeders</i>	X		55
70.Levar o carrinho vazio para a bancada de preparação	X		62
71.Deslocação até à linha 7 para recolher um ferro e colocá-lo na bobine	X		22
72.Colocação do ferro na bobine	X		23
73.Ajustes dos recipientes que recebem as fitas gastas das bobines	X		27
74.Verificação da posição dos <i>Feeders</i> na máquina 1	X		267
75.Deslocação para a parte de trás da linha para a colocação de 1 <i>Feeder</i>	X		12
76.Marcas os componentes que faltam	X		112
77.Retornar à parte da frente da linha e fazer a verificação na máquina 2	X		39
78.Deslocação à BP (ida e volta) para pegar nos <i>Feeders</i> em falta	X		113
79.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	X		17
80.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte da frente da linha – máquina 1	X		20
81.Picagem dos <i>Feeders</i> e do <i>Slot</i> para verificar se estão na posição correta	X		50
82.Mover o leitor e enrolar o fio	X		15
83.Movimentação e picagem dos <i>Feeders</i> e <i>Slots</i> na parte de trás da linha	X		95
84.Movimentar e confirmação da correta colocação dos <i>Feeders</i>	X		23
85.Movimentar para a parte de trás da linha e terminar	X		86
86.Colocação de PCB na <i>Pick&amp;Place</i> para verificar se os componentes estão a ser recolhidos no local correto	X		82
87.Analisar e testar se os componentes vão ser recolhidos nos locais corretos	X		84
88. Pegar em mais placas à zona da serigrafia (Gravuras de códigos nas PCBs)	X		46

89.Retirar a placa da <i>Pick&amp;Place</i>	X		18
90.Ajustes do <i>Conveyor</i> que liga a <i>Pick&amp;Place</i> ao forno	X		51
91.Ajustes no <i>Convoyer</i> que liga o forno à SPI	X		37
92.Colocação da placa "teste" no bastidor do <i>Loader</i>	X		16
93.Executar a primeira PCB	X		365
94.Levar a placa para a validação da qualidade	X		68
95.Colocação do bastidor no <i>Loader</i>	X		40
96. Buscar placa já colocada no bastidor do <i>Loader</i> para ajustar os bastidores do <i>Unloader</i> e programar	X		261
<b><i>Pick&amp;Place, Loader, Forno e Unloader</i></b>			<b>8189 segundos</b> <b>≈ 2 horas e 16 minutos</b> <b>+</b> <b>15 minutos validação AOI</b> <b>≈ 2 horas e 31 minutos</b>

Com base na tabela 2, é possível verificar que o tempo médio despendido num *setup* na *Printer* ronda os 23 minutos, sendo a tarefa mais demoradas a programação que na totalidade ronda os 7 minutos. A programação da *Printer* resume-se, essencialmente, à colocação das coordenadas para programar a máquina, para que esta faça a deslocação correta para a impressão.

O *setup* da *Printer*, embora apresente um valor de tempo elevado, acaba por não prejudicar o tempo de *setup* total, uma vez que quando a produção estiver pronta a arrancar, a *Printer* já está preparada a produzir, o que faz com que o resto da linha não tenha de esperar pela disponibilidade da *Printer*. Cerca de 2 minutos são gastos em ajustes, ou seja, correções que são necessárias realizar, como é o caso de correções à colocação da tela, dos pinos e dos blocos, mas também podem ser ajustes na programação. Também a preparação da nova tela consome 2 minutos do *setup* da *Printer*. A preparação desta consiste na montagem dos quadros (espécie de moldura azul) em volta da folha de alumínio, denominada de tela/*stencil*. Esta preparação é realizada na sala das telas, que é uma pequena sala junto à produção que armazena a solda das várias linhas e produções e onde estão também os equipamentos de lavagem das telas e das PCBs (das PCBs que são separadas quando a impressão da solda não foi validada. Estas três tarefas, consideradas as mais preocupantes, encontram-se expostas no gráfico seguinte.

### Tempo Médio das Tarefas mais Demoradas na Printer

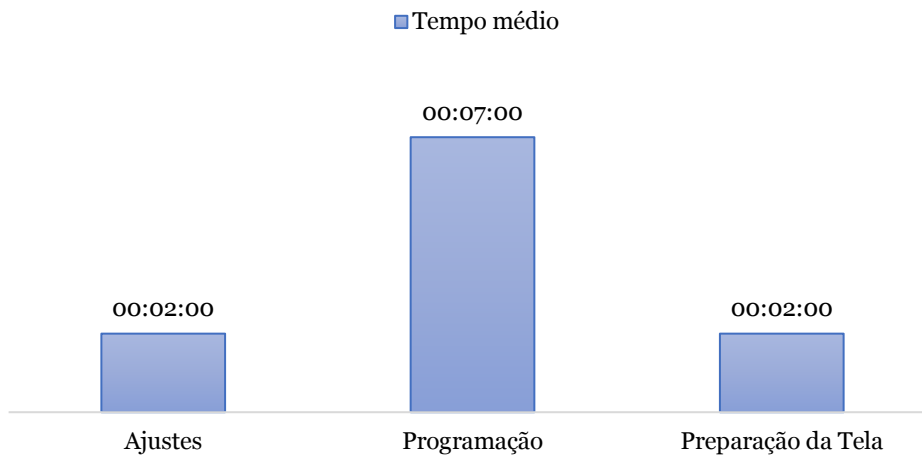


Gráfico 3 - Tempo Médio das Tarefas mais Demoradas na *Printer*.

Estas tarefas apresentadas no gráfico 3, serão aquelas que irão ter especial atenção no que toca às intervenções feitas na *Printer*, uma vez que ocupam cerca de 60% do tempo total de um *setup* feito na mesma.

Quanto à *Pick&Place* são consumidos cerca de 136 minutos, o que corresponde a um total de 2 horas e 16 minutos, mas a este total é necessário adicionar os 15 minutos de validação da placa, quando a PCB vai ser inspecionada na AOI e depois de confirmada a sua qualidade, regressa à linha para ser soldada e para dar indicação de que a produção pode arrancar. Acrescentam-se estes 15 minutos, porque a linha está parada enquanto a inspeção é feita. Deste modo, o tempo médio total despendido num *setup* da *Pick&Place* é de 2 horas e 31 minutos.

No gráfico seguinte dá-se enfoque às tarefas que ocupam um maior período de tempo num *setup* da *Pick&Place*. Estes valores são definidos com base na filmagem realizada, conforme já foi referido anteriormente, cada *setup* é diferente e os tempos podem oscilar consoante as diferentes produções, o que se irá analisar mais à frente neste trabalho.

### Tempo Médio das Tarefas mais Demoradas na Pick&Place

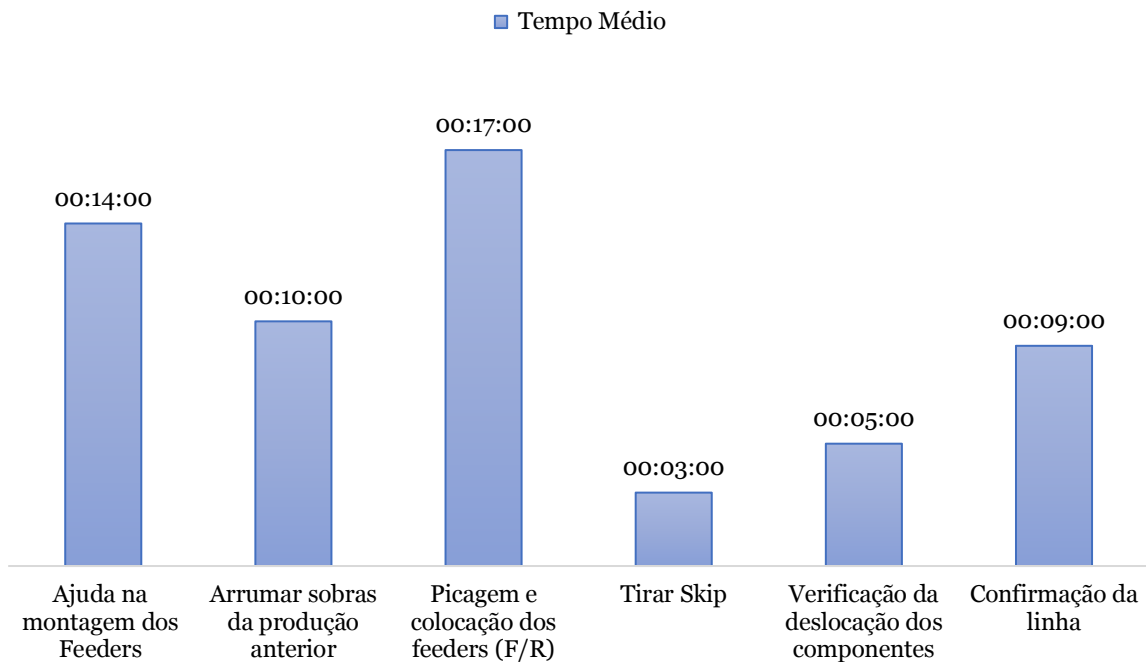


Gráfico 4 - Tempo médio das tarefas mais demoradas na *Pick&Place*.

No gráfico 4 encontram-se as tarefas na *Pick&Place* com os tempos mais elevados, sendo as que apresentam um maior período de tempo a ajuda na montagem dos componentes e a picagem e colocação dos componentes. A ajuda é dada pelo colaborador da linha quando, no momento de montar a linha, esta ainda não está preparada, então o operador desloca-se para a Bancada de Preparação e auxilia o colaborador da BP na montagem dos *feeders*. Esta tarefa ocupa cerca de 14 minutos, mas varia tendo em conta a quantidade de *feeders* que faltam montar. A picagem e colocação dos componentes é a tarefa mais demorada com cerca de 17 minutos.

A terceira tarefa mais demorada, trata-se da arrumação de sobras da produção anterior, que consiste no ensacamento de componentes que ficam soltos. O que o operador faz é simplesmente colocar esses componentes em pequenos sacos com um *zip* e colocar a referência dos componentes e a quantidade e, mais tarde, essas sobras serão enviadas para o armazém para voltarem a ser utilizadas noutra produção. Esta tarefa ocupa cerca de 10 minutos e, como todas as tarefas, pode ter uma duração variável consoante o número de componentes que houver para arrumar.

Tirar o *skip* para guardar o programa limpo, ou seja, sem modificações naquilo que está estipulado no *dossier*, ocupa cerca de 3 minutos e a verificação da deslocação dos componentes demora cerca de 5 minutos, senado esta a terceira tarefa mais demorada. Por último, tem-se a confirmação da linha, ou seja, a leitura dos códigos de barras do *feeder* e

da *slot* para se verificar se os feeders estão colocados no *slot* correto, a qual consome cerca de 9 minutos.

Ao analisar novamente a tabela 2, constata-se que na *Printer* duas tarefas foram realizadas com a máquina em funcionamento, num total de 17. Já na *Pick&Place*, todas as alterações que foram realizadas nos equipamentos foram executadas com a linha parada, num total de 79 tarefas.

Analisou-se apenas os tempos mais elevados da *Printer* e da *Pick&Place*, uma vez que estes dois equipamentos são os que consomem mais tempo no processo de *setup* na HFA.

Tendo em conta os *setups* analisados e demonstrados no gráfico 6, constatou-se que, em média, o *setup* gasto na *Printer* é relativamente mais baixo do que o utilizado para a *Pick&Place*. Os resultados percentuais estão apresentados no gráfico 5.

**Percentagem do tempo de produção despendido com o Setup na HFA**

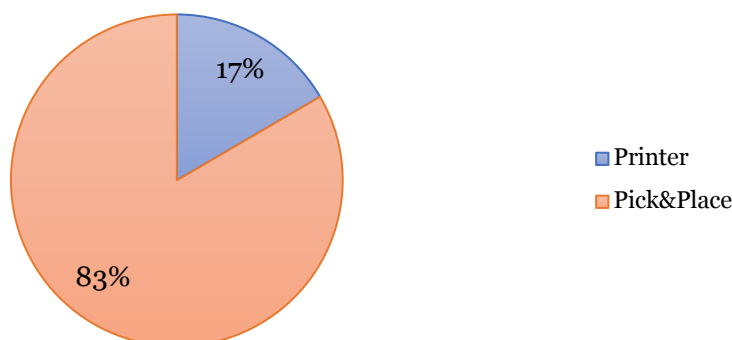


Gráfico 5 - Tempo médio de produção despendido na *Printer* e na *Pick&Place* durante uma *Setup*, na HFA.

Partindo dos tempos que constam do gráfico 6, e fazendo a média dos 5 tempos, constata-se que o resultado será de 150 minutos, ou seja, 2 horas e meia e, se para este resultado se considerar que na *Printer* são gastos, normalmente, 25 minutos dos 150, resulta numa percentagem de 17% para a *Printer* e de 83% para a *Pick&Place*.

Foram acompanhados 5 *setups*, sem se efetuar qualquer tipo de alteração, ou seja, os operadores não foram sensibilizados para qualquer tipo de alteração e fizeram o *setup* tal e

qual como era habitual para eles. O objetivo foi registrar as oscilações que acontecem nos tempos de *setup* de diferentes produções (Ordens de Fabrico).

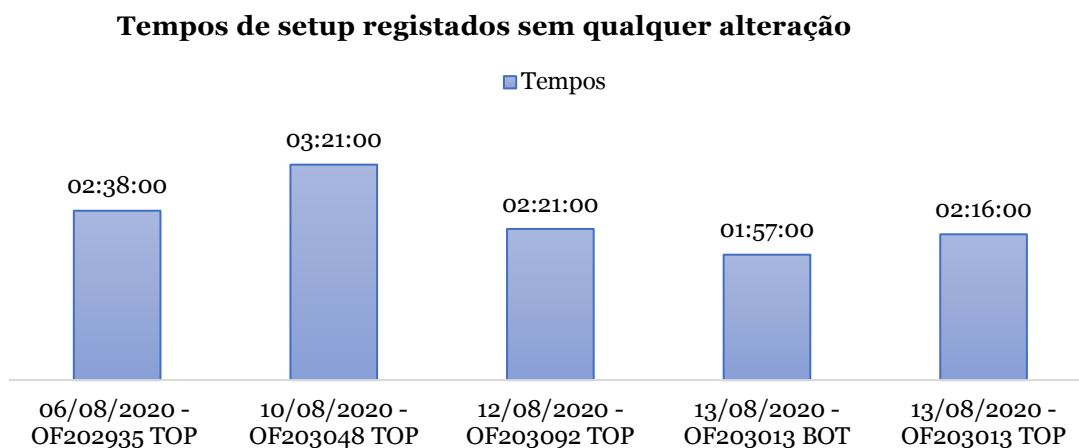


Gráfico 6 - Tempos de *setup* registados sem se efetuar qualquer alteração.

No gráfico 6 são apresentados os tempos dos 5 *setups* acompanhados na HFA. Para estes *setups* não foram efetuadas quaisquer alterações e, mesmo assim, verificaram-se pequenas oscilações em relação ao tempo registado na filmagem. Normalmente, as oscilações dos tempos de *setup* estão associadas ao número de componentes que constituem um *setup*, ou seja, se uma PCB for constituída por um elevado número de componentes, a montagem da linha será bastante mais demorada, uma vez que contém mais *feeders* para alocar.

Dos tempos apresentados no gráfico 6, o tempo mais baixo é de 1 hora e 57 minutos e o *setup* com um valor temporal maior é o do dia 10/08, com 3 horas e 21 minutos.

As variações do tempo são influenciadas por vários fatores distintos, nomeadamente, a falta de pessoal, devido a férias, baixas ou mesmo faltas injustificadas. A falta de pessoal resulta numa preparação extemporânea da linha e, além disso, verificar-se também um atraso na separação do material no armazém, devido à falta de matéria-prima. Outra situação que pode alterar o valor temporal é o facto da existência de produções novas, ou seja, quando se trata de uma produção nova o operador terá o primeiro contacto com as especificações. Por último, a composição da produção também influencia no tempo total de um *setup*, ou seja, quantos mais componentes a placa irá receber, mais demorado vai ser o seu *setup*.

Através da análise ao gráfico 6, pode concluir-se que os tempos de *setup* oscilam sempre, ou seja, raramente têm um período de tempo similar. O gráfico encontra-se dividido por ordens de fabrico e, como se pode observar, há dias que têm mais do que uma mudança de produção. Além desta divisão, existe também uma distinção entre o TOP e o BOT onde, no fundo, estas duas designações são as que definem o lado da placa, ou seja, quando se refere

ao BOT significa a parte de baixo da placa (onde normalmente são montados os componentes mais pequenos) e o TOP refere-se à face oposta da placa. A parte do BOT é sempre a primeira a ser montada. As PCBs podem ter as duas faces da placa para montar, como podem ter apenas uma. Nos casos expostos acima, apenas foi acompanhado a montagem de um lado da placa, seja TOP ou BOT.

As atividades executadas ao longo do *setup* são executadas manualmente e, neste caso, executadas apenas pelo operador da linha. A *Printer* é modificada por outro operador específico para essa alteração. Todas as linhas têm uma preparação prévia, ou seja, a Bancada de Preparação é a responsável por receber as matérias-primas provenientes de armazém e de as montar, para que na hora da montagem da linha, o operador não tenha de esperar pela matéria-prima.

## **5.2. Propostas de Melhoria**

Nesta secção são apresentadas todas as propostas de melhoria sugeridas à empresa.

Inclui-se aqui a transformação de tarefas internas e externas e também a eliminação de tarefas, uma vez que estes dois pontos retratam melhorias significativas para a possibilidade de redução dos tempos de *setup*.

No primeiro ponto, a transformação de tarefas internas em externas, retratar-se a conversão das tarefas realizadas com a máquina parada, para a possibilidade de estas virem a ser executadas com a máquina em funcionamento, antes da linha parar ou depois da linha arrancar.

No segundo ponto, simplificação de tarefas, eliminam-se as operações que, aparentemente, são consideradas desnecessárias.

Não foram realizadas medições temporais entre os dois estágios, apenas no final da implementação dos dois, uma vez que o tempo não foi um fator positivo na implementação prática desta metodologia. O que se apresenta é uma suposição, com base nos tempos já cronometrados, ou seja, se uma determinada tarefa fosse realizada de outra forma, em termos temporais, qual seria o impacto no tempo total apurado na primeira medição.

### **5.2.1. Conversão de Tarefas Internas em Externas**

Um dos estágios do SMED, nomeadamente o estágio 2, tem como finalidade a conversão do *setup* interno em externo, ou seja, converter as tarefas que são executadas com os

equipamentos parados, para tarefas que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento.

Neste ponto não há qualquer alteração nas tarefas, ou seja, a ordem e a quantidade destas referida na tabela 3 será a mesma que foi apresentada na tabela 1 da secção anterior. De seguida apresenta-se a tabela 3 com a conversão de tarefas internas em externas.

Tabela 3 - Conversão do *setup* interno em externo.

Descrição das Tarefas	Tempo por Tarefa	Classificação Inicial		Nova Classificação	
		Tarefa Interna	Tarefa Externa	Tarefa Interna	Tarefa Externa
1.Pegar na solda	29		X		X
2.Pegar na espátula	17		X		X
3.Limpar a solda restante da produção anterior	22	X		X	
4.Tirar tela e levá-la para zona de lavagem	26	X		X	X
5.Tirar os pinos e os blocos e colocá-los no carrinho de apoio	23	X		X	
6. Preparação da nova tela	120	X			X
7.Programar <i>Printer</i>	174	X		X	
8.Buscar pinos e blocos	10	X			X
9.Montar/Posicionar os pinos e os blocos	14	X		X	
10.Colocar/posicionar a tela	13	X		X	
11.Programar e testar	469	X		X	
12.Ajustes	155	X		X	
13.Colocar a pasta	60	X		X	
14.Primeira impressão	40	X		X	
15.Testar a 1ª placa	124	X		X	
16.Validar a qualidade SPI	40	X		X	
17.Pegar num carrinho vazio à Bancada de Preparação (BP)	60	X			X
18.Cortar as fitas excedentes da produção anterior e armazená-las nos recipientes junto à linha	182	X			X
19. Arrumar sobras da produção anterior	610	X			X
20.Remover os <i>Feeders</i> (máq. 1 e 2)	191	X		X	
21.Movimentação do operador	47	X		X	
22.Colocar o lixo nos contentores da reciclagem	70	X			X
23.Identificação da Ordem de Fabrico (OF)	97	X		X	
24.Levar o carrinho para a BP	68	X			X

25. Buscar carrinho para nova OF	102	X			X
26. Buscar caixa dos suplentes à BP	40	X			X
27. Terminar a sessão do trabalho anterior e iniciar a nova ordem	38	X		X	
28. Dar entrada da matéria prima no programa RCF - rastreabilidade	176	X		X	
29. Definição das quantidades esperadas no OEE ( <i>Overall Equipment Effectiveness</i> – Programa que tem como objetivo “medir” a eficiência da máquina)	47	X		X	
30. Tirar o <i>Skip</i> para guardar programa limpo	191	X		X	
31. Fechar o dossier de produção antiga	36	X		X	
32. Definir o programa de linha	44	X		X	
33. Picagem e colocação de <i>Feeders</i>	225	X		X	
34. Movimentação do carrinho para parte de trás da linha	25	X		X	
35. Picagem e colocação dos <i>Feeders</i>	189	X		X	
36. Mover o carrinho para a parte da frente da linha	19	X		X	
37. Colocar os restantes <i>Feeders</i> na parte da frente da linha	103	X		X	
38. Verificação das bobines não identificadas	128	X		X	
39. Colocar os 2 <i>Feeders</i> identificados na parte de trás da linha	57	X		X	
40. Picar os 2 <i>Feeders</i> e programar um <i>Feeder</i> que estava programado como <i>stick</i> em vez de bobine	118	X		X	
41. Colocação de um <i>Feeder</i> na parte de trás da linha	22	X		X	
42. Identificação dos <i>Feeders</i> em falta	33	X		X	
43. Confirmar a forma como a placa irá entrar, ou seja, verificar qual o lado de cima da placa e qual a parte da frente da mesma	184	X		X	
44. Colocação dos pinos para evitar dobras na PCB	130	X		X	
45. Mudança de máquina e ajustes no <i>Conveyor</i>	54	X		X	
46. Confirmar a programação da deslocação dos componentes após a colocação dos pinos	236	X		X	
47. Após a confirmação, retirar PCB do <i>Conveyor</i>	16	X		X	
48. Abertura do dossier da nova produção	138	X		X	

49.Verificação de alterações estabelecidas no dossier e ajuste do perfil do forno	95	X		X	
50.Ajuste na entrada do forno	74	X		X	
51.Ajuste na saída do forno	41	X		X	
52.Preparação do <i>Loader</i> e abastecimento de um bastidor com PCBs	199	X		X	
53.Levar <i>Feeders</i> que estavam a mais para a bancada de preparação	62	X			X
54.Trazer <i>Feeders</i> de tabuleiro	135	X			X
55.Levar tabuleiro para a parte de trás da linha e montagem	88	X		X	
56.Deslocação, confirmação do programa e testar máquina	76	X		X	
57.Criar base de dados com os componentes utilizados e picagem das bobines colocadas nos <i>Feeders</i>	94	X		X	
58.Passar leitor de códigos para o outro lado da linha	10	X		X	
59.Deslocação e picagem das bobines colocadas na parte de trás da linha	46	X		X	
60.Picagem dos códigos dos <i>Feeders</i> de tabuleiro	27	X		X	
61.Deslocação e ajuda na preparação dos <i>Feeders</i> em falta na BP	857	X		X	
62.Deslocar o carrinho da BP para a Linha	38	X			X
63.Dar entrada da Matéria Prima – Leitura dos códigos de barras dos <i>Feeders</i> colocados ainda no carrinho - Rastreabilidade	160	X		X	
64.Picagem e colocação dos <i>Feeders</i> nos respetivos lugares	210	X		X	
65.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	32	X		X	
66.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 2	58	X		X	
67.Picagem e colocação de <i>Feeders</i> na máquina 2	155	X		X	
68.Arrumar o leitor e desviar os fios	10	X		X	
69.Deslocação do carrinho para a parte de trás da linha e colocação dos <i>Feeders</i>	55	X		X	
70.Levar o carrinho vazio para a bancada de preparação	62	X			X
71.Deslocação até à linha 7 para recolher um ferro e colocá-lo na bobine	22	X			X
72.Colocação do ferro na bobine	23	X		X	

73.Ajustes dos recipientes que recebem as fitas gastas das bobines	27	X			X
74.Verificação da posição dos <i>Feeders</i> na máquina 1	267	X		X	
75.Deslocação para a parte de trás da linha para a colocação de 1 <i>Feeder</i>	12	X		X	
76.Marcar os componentes que faltam	112	X		X	
77.Retornar à parte da frente da linha e fazer a verificação na máquina 2	39	X		X	
78.Deslocação à BP (ida e volta) para pegar nos <i>Feeders</i> em falta	113	X			X
79.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	17	X		X	
80.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte da frente da linha – máquina 1	20	X		X	
81.Picagem dos <i>Feeders</i> e do <i>Slot</i> para verificar se estão na posição correta	50	X		X	
82.Mover o leitor e enrolar o fio	15	X		X	
83.Movimentação e picagem dos <i>Feeders</i> e <i>Slots</i> na parte de trás da linha	95	X		X	
84.Movimentar e confirmação da correta colocação dos <i>Feeders</i>	23	X		X	
85.Movimentar para a parte de trás da linha e terminar	86	X		X	
86.Colocação de PCB na <i>Pick&amp;Place</i> para verificar se os componentes estão a ser recolhidos no local correto	82	X		X	
87.Analisar e testar se os componentes vão ser recolhidos nos locais corretos	84	X		X	
88. Pegar em mais placas à zona da serigrafia (Gravuras de códigos nas PCBs)	46	X			X
89.Retirar a placa da <i>Pick&amp;Place</i>	18	X		X	
90.Ajustes do <i>Conveyor</i> que liga a <i>Pick&amp;Place</i> ao forno	51	X		X	
91.Ajustes no <i>Convoyer</i> que liga o forno à SPI	37	X		X	
92.Colocação da placa "teste" no bastidor do <i>Loader</i>	16	X		X	
93.Executar a primeira PCB	365	X		X	
94.Levar a placa para a validação da qualidade	68	X		X	
95.Colocação do bastidor no <i>Loader</i>	40	X		X	

96. Buscar placa já colocada no bastidor do <i>Loader</i> para ajustar os bastidores do <i>Unloader</i> e programar	261	X		X	
---	-----	---	--	---	--

Após esta nova análise, verifica-se que o número de tarefas internas ainda é muito elevado. A redução foi bastante pequena, tendo em conta o número total de tarefas. O resultado da conversão de tarefas encontra-se exposto no gráfico 7.

### Conversão de tarefas internas em externas

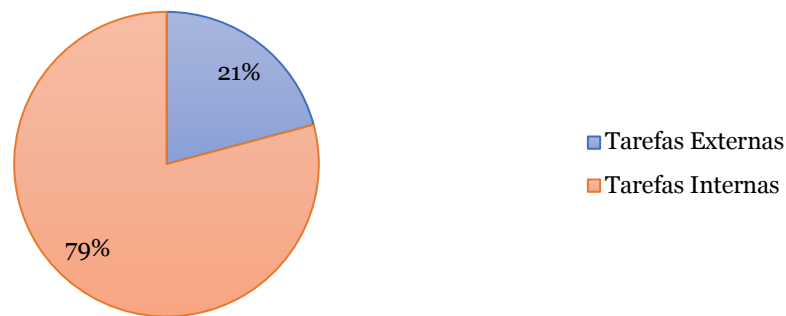


Gráfico 7 - Conversão de tarefas internas em externas.

Em comparação com a situação inicial da distribuição das tarefas, verifica-se uma pequena melhoria através da comparação dos gráficos 2 e 7.

Na totalidade de 96 tarefas, há a possibilidade de 76 serem executadas internamente e 20 externamente, o que representa apenas uma pequena melhoria. Esta conversão, em pontos percentuais, representa 79% de tarefas internas e 21% de tarefas externas.

Na *Printer*, numa fase inicial, obteve-se uma redução de 14 tarefas internas para 11 internas, num total de 16. A tela tem de já estar montada antes da produção parar e os pinos e blocos têm de estar junto à *Printer* no carrinho de apoio. A tela da produção anterior só deverá ser levada após a *Printer* estar pronta ou então, quando se faz a pausa no *setup* da *Printer* para que o operador da linha possa adiantar o *setup* da restante linha, juntamente com o frasco da solda.

Quanto ao *setup* na *Pick&Place* e da restante linha, estipulou-se que, quando este começar, já tem de existir um carrinho vazio na linha para a colocação dos *feeders* e as fitas dos *feeders* da produção anterior têm de ser cortadas antes de as máquinas pararem. A colocação dessas fitas nos contentores da reciclagem tem de ser realizada antes da paragem da linha. O carrinho com os *feeders* da produção anterior tem de ser levado à BP, mas para

evitar deslocamentos desnecessários, estipulou-se que essa tarefa será executada depois da linha arrancar ou então, devido à falta de espaço entre linhas, o operador da BP ao trazer o carrinho com a nova OF, leva o da OF antiga. A caixa/carrinho de suplentes e os *feeders* de tabuleiro também têm de estar na linha ou quando esta arrancar ou, novamente, ser o operador da BP a trazê-la.

Uma situação que acontece e deve ser prevenida é a ocorrência de atrasos na preparação dos *feeders* para a nova produção, ou seja, no momento em que é necessário proceder à alteração das máquinas, os *feeders* terão de estar montados para serem colocados na máquina. O operador da BP tem de garantir que, pelo menos, 20 minutos antes do início do *setup* que tem a nova produção completamente pronta. Esta responsabilidade deve ser atribuída ao responsável de turno.

Com a conversão de tarefas internas e externas, o resultado que se espera obter seria o exposto no gráfico 8. O objetivo seria acompanhar alguns *setups* após esta conversão de tarefas, mas devido à falta de tempo para essa implementação, o que se fez foi apenas estudar as alterações que poderiam vir a ser feitas e os resultados foram estabelecidos com base nos tempos retirados na primeira filmagem.

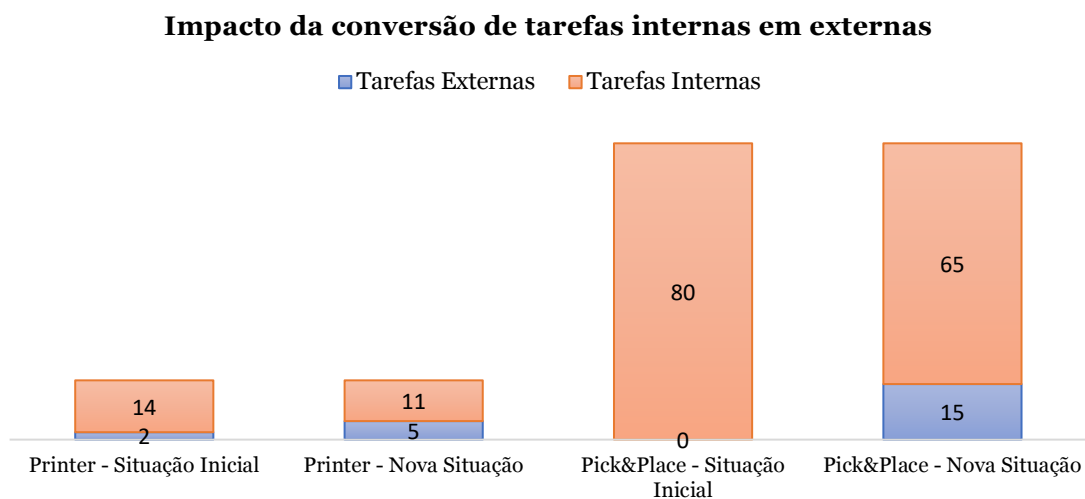


Gráfico 8 - Impacto da conversão de tarefas internas e externas.

Com a conversão das tarefas internas em externas, a redução prevista na *Printer* seria de cerca de 3 minutos, o que daria um total de *setup* de 20 minutos. Nas *Pick&Place* e restante linha, espera-se uma redução de 27 minutos, o que daria um *setup* de aproximadamente 1 hora e 50 minutos. Não se trata de uma melhoria muito significativa, mas já é possível notar uma pequena redução temporal.

### 5.2.2. Simplificação de Tarefas

Nesta subsecção será apresentado o último estágio da metodologia SMED que, resumidamente, consiste na simplificação das tarefas, tanto externas como internas, ou seja, na redução do número de tarefas executadas ao longo de um *setup*, quer estas sejam executadas com a máquina parada ou em funcionamento. Apesar deste estágio ser aplicado nos dois tipos de tarefas, tem de se ter especial atenção às tarefas executadas internamente, pois são estas as que mais causam desperdício à organização.

Tendo como ponto de partida a tabela 3, foi acrescentada uma coluna com as tarefas a eliminar do *setup* em si (tabela 4), ou seja, aquelas que sendo ou não internas não irão interferir no processo de preparação das máquinas e não são consideradas necessárias para a execução deste. Posteriormente será elaborada uma simplificação das tarefas e do esquema do *setup*.

Tabela 4 - Eliminação de tarefas consideradas desnecessárias para a alteração dos equipamentos.

Descrição das Tarefas	Tempo por Tarefa (segundos)	Classificação Inicial		Nova Classificação		Tarefas a Eliminar
		Tarefa Interna	Tarefa Externa	Tarefa Interna	Tarefa Externa	
1.Pegar na solda	29		X		X	
2.Pegar na espátula	17		X		X	X
3.Limpar a solda restante da produção anterior	22	X		X		
4.Tirar tela e levá-la para zona de lavagem	26	X		X	X	
5.Tirar os pinos e os blocos e colocá-los no carrinho de apoio	23	X		X		
6. Preparação da nova tela	120	X			X	
7.Programar <i>Printer</i>	174	X		X		
8.Buscar pinos e blocos	10	X			X	X
9.Montar/Posicionar os pinos e os blocos	14	X		X		
10.Colocar/posicionar a tela	13	X		X		
11.Programar e testar	469	X		X		
12.Ajustes	155	X		X		X
13.Colocar a pasta	60	X		X		
14.Primeira impressão	40	X		X		
15.Testar a 1ª placa	124	X		X		
16.Validar a qualidade SPI	40	X		X		

17.Pegar num carrinho vazio à Bancada de Preparação (BP)	60	X			X	X
18.Cortar as fitas excedentes da produção anterior e armazená-las nos recipientes junto à linha	182	X			X	
19. Arrumar sobras da produção anterior	610	X			X	
20.Remove os <i>Feeders</i> (máq. 1 e 2)	191	X		X		
21.Movimentação do operador	47	X		X		
22.Colocar o lixo nos contentores da reciclagem	70	X			X	
23.Identificação da Ordem de Fabrico (OF)	97	X		X		
24.Levar o carrinho para a BP	68	X			X	X
25.Buscar carrinho para nova OF	102	X			X	X
26.Buscar caixa dos suplentes à BP	40	X			X	X
27.Terminar a sessão do trabalho anterior e iniciar a nova ordem	38	X		X		
28.Dar entrada da matéria prima no programa RCF - rastreabilidade	176	X		X		
29.Definição das quantidades esperadas no OEE ( <i>Overall Equipment Effectiveness</i> – Programa que tem como objetivo “medir” a eficiência da máquina)	47	X		X		
30.Tirar o <i>Skip</i> para guardar programa limpo	191	X		X		
31.Fechar o dossier de produção antiga	36	X		X		
32.Definir o programa de linha	44	X		X		
33.Picagem e colocação de <i>Feeders</i>	225	X		X		
34.Movimentação do carrinho para parte de trás da linha	25	X		X		
35.Picagem e colocação dos <i>Feeders</i>	189	X		X		
36.Mover o carrinho para a parte da frente da linha	19	X		X		X

37.Colocar os restantes <i>Feeders</i> na parte da frente da linha	103	X		X		X
38.Verificação das bobines não identificadas	128	X		X		X
39.Colocar os 2 <i>Feeders</i> identificados na parte de trás da linha	57	X		X		X
40.Picar os 2 <i>Feeders</i> e programar um <i>Feeder</i> que estava programado como <i>stick</i> em vez de bobine	118	X		X		X
41.Colocação de um <i>Feeder</i> na parte de trás da linha	22	X		X		X
42.Identificação dos <i>Feeders</i> em falta	33	X		X		X
43.Confirmar a forma como a placa irá entrar, ou seja, verificar qual o lado de cima da placa e qual a parte da frente da mesma	184	X		X		
44.Colocação dos pinos para evitar dobras na PCB	130	X		X		
45.Mudança de máquina e ajustes no <i>Conveyor</i>	54	X		X		
46.Confirmar a programação da deslocação dos componentes após a colocação dos pinos	236	X		X		
47.Após a confirmação, retirar PCB do <i>Conveyor</i>	16	X		X		
48.Abertura do dossier da nova produção	138	X		X		
49.Verificação de alterações estabelecidas no dossier e ajuste do perfil do forno	95	X		X		
50.Ajuste na entrada do forno	74	X		X		
51.Ajuste na saída do forno	41	X		X		
52.Preparação do <i>Loader</i> e abastecimento de um bastidor com PCBs	199	X		X		
53.Levar <i>Feeders</i> que estavam a mais para a bancada de preparação	62	X			X	X
54.Trazer <i>Feeders</i> de tabuleiro	135	X			X	X
55.Levar tabuleiro para a parte de trás da linha e montagem	88	X		X		

56.Deslocação, confirmação do programa e testar máquina	76	X		X		
57.Criar base de dados com os componentes utilizados e picagem das bobines colocadas nos <i>Feeders</i>	94	X		X		
58.Passar leitor de códigos para o outro lado da linha	10	X		X		
59.Deslocação e picagem das bobines colocadas na parte de trás da linha	46	X		X		
60.Picagem dos códigos dos <i>Feeders</i> de tabuleiro	27	X		X		
61.Deslocação e ajuda na preparação dos <i>Feeders</i> em falta na BP	857	X		X		X
62.Deslocar o carrinho da BP para a Linha	38	X			X	
63.Dar entrada da Matéria Prima – Leitura dos códigos de barras dos <i>Feeders</i> colocados ainda no carrinho - Rastreabilidade	160	X		X		X
64.Picagem e colocação dos <i>Feeders</i> nos respetivos lugares	210	X		X		
65.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	32	X		X		X
66.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 2	58	X		X		X
67.Picagem e colocação de <i>Feeders</i> na máquina 2	155	X		X		X
68.Arrumar o leitor e desviar os fios	10	X		X		
69.Deslocação do carrinho para a parte de trás da linha e colocação dos <i>Feeders</i>	55	X		X		X
70.Levar o carrinho vazio para a bancada de preparação	62	X			X	X
71.Deslocação até à linha 7 para recolher um ferro e colocá-lo na bobine	22	X			X	X
72.Colocação do ferro na bobine	23	X		X		

73.Ajustes dos recipientes que recebem as fitas gastas das bobines	27	X			X	X
74.Verificação da posição dos <i>Feeders</i> na máquina 1	267	X		X		
75.Deslocação para a parte de trás da linha para a colocação de 1 <i>Feeder</i>	12	X		X		X
76.Marcar os componentes que faltam	112	X		X		X
77.Retornar à parte da frente da linha e fazer a verificação na máquina 2	39	X		X		
78.Deslocação à BP (ida e volta) para pegar nos <i>Feeders</i> em falta	113	X			X	X
79.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte de trás da linha – máquina 1	17	X		X		X
80.Colocação de 1 <i>Feeder</i> na parte da frente da linha – máquina 1	20	X		X		X
81.Picagem dos <i>Feeders</i> e do <i>Slot</i> para verificar se estão na posição correta	50	X		X		
82.Mover o leitor e enrolar o fio	15	X		X		
83.Movimentação e picagem dos <i>Feeders</i> e <i>Slots</i> na parte de trás da linha	95	X		X		
84.Movimentar e confirmação da correta colocação dos <i>Feeders</i>	23	X		X		
85.Movimentar para a parte de trás da linha e terminar	86	X		X		
86.Colocação de PCB na <i>Pick&amp;Place</i> para verificar se os componentes estão a ser recolhidos no local correto	82	X		X		
87.Analisar e testar se os componentes vão ser recolhidos nos locais corretos	84	X		X		
88. Pegar em mais placas à zona da serigrafia (Gravuras de códigos nas PCBs)	46	X			X	X
89.Retirar a placa da <i>Pick&amp;Place</i>	18	X		X		

90. Ajustes do <i>Conveyor</i> que liga a <i>Pick&amp;Place</i> ao forno	51	X		X		
91. Ajustes no <i>Convoyer</i> que liga o forno à SPI	37	X		X		
92. Colocação da placa "teste" no bastidor do <i>Loader</i>	16	X		X		
93. Executar a primeira PCB	365	X		X		
94. Levar a placa para a validação da qualidade	68	X		X		
95. Colocação do bastidor no <b><i>Loader</i></b>	40	X		X		X
96. Buscar placa já colocada no bastidor do <i>Loader</i> para ajustar os bastidores do <i>Unloader</i> e programar	261	X		X		

Para a elaboração da tabela 4, foram definidos alguns pressupostos nomeadamente, a definição dos pontos que teriam de ser cumpridos para que o *setup* fosse realizado de forma otimizada. Relativamente às tarefas externas da *Printer*, pressupôs-se que a tela tem de ser montada previamente e colocada junto à *Printer* cerca de 15 minutos antes do *setup* começar. É também o operador deste equipamento que terá de trazer a ordem de fabrico e as PCBs e garantir que tem os pinos e os blocos para a produção seguinte, podendo trazê-los ou simplesmente utilizar os que estão na máquina da produção anterior. O operador terá também de trazer, antes do *setup* começar, o frasco respetivo à solda da produção anterior e a solda da produção seguinte só poderá ser colocada, no máximo, 15 minutos antes da produção arrancar e também tem de garantir que tem a espátula na *Printer*, para evitar deslocações desnecessárias. Por fim, cabe ao operador da *Printer* garantir a colocação de um bastidor no *Loader* com PCBs e também passa a ser tarefa deste, a programação do *Loader*.

As tarefas externas das *Pick&Place* resumem-se ao corte e separação das fitas excedentes da produção anterior, uma vez que não se justifica isto ser realizado com a máquina parada, pois se forem cortadas uns minutos antes da produção terminar a acumulação das fitas não irá influenciar na arrumação dos *feeders*. O operador da linha tem de garantir que, antes da produção terminar, tem um carrinho vazio para a colocação dos *feeders* e também o carrinho com os *feeders* que vão entrar na produção seguinte. O transporte dos *feeders* da produção anterior só será feito quando a produção nova arrancar, para evitar deslocações desnecessárias durante o *setup*. A outra solução será o operador da preparação ser o responsável pela movimentação dos carrinhos. Junta-se também às tarefas externas, a

deslocação à preparação para trazer a caixa ou carrinho de suplentes, a preparação do *Unloader* e a arrumação de possíveis sobras da produção anterior. A caixa ou o carrinho de suplentes dizem respeito às bobines ou aos componentes em tabuleiro que terão como objetivo o abastecimento dos *feeders* quando as bobines com componentes lá colocadas ficarem sem componentes, então o operador tira essa bobine gasta e coloca uma nova, por isso não é necessário que a caixa/carrinho esteja na linha enquanto esta não arranque.

A zona de preparação é responsável pela montagem da linha, ou seja, a montagem dos *feeders* e a colocação destes no carrinho. As ordens de fabrico têm de conter a informação das bobines que estão a ser utilizadas como alternativas e a engenharia do processo tem de ajustar o programa às condições do tipo de fornecimento, ou seja, se o componente vem em bobine, *stick* ou tabuleiro, para que o operador não tenha de fazer essas alterações durante o *setup*. Caso a resolução dada às movimentações dos carrinhos da linha à BP não funcione, será da responsabilidade do operador da BP o transporte das matérias primas.

Com a eliminação das tarefas, espera-se que as operações internas da *Pick&Place* se resumam a retirar os *feeders* da produção anterior, alocar os da nova produção e a programar os equipamentos. Inclui-se na programação os ajustes feitos nos *conveyors* e no forno.

Ao serem eliminadas tarefas no processo de *setup*, resultará em ganhos de tempo de produção efetiva, ou seja, vai reduzir-se o tempo em que a máquina está parada. Para o cálculo da redução do tempo devem ser consideradas as tarefas externas e as que foram eliminadas, podendo ser internas ou externas, ou seja, à totalidade do tempo previsto no *setup*, serão retiradas frações das operações externas que não foram eliminadas e também uma fração referente a todas as tarefas eliminadas para o cálculo de um novo tempo total, para a *Printer* e para as *Pick&Place* e restante linha. Esta nova estimativa apresenta-se ilustrada no gráfico 9.

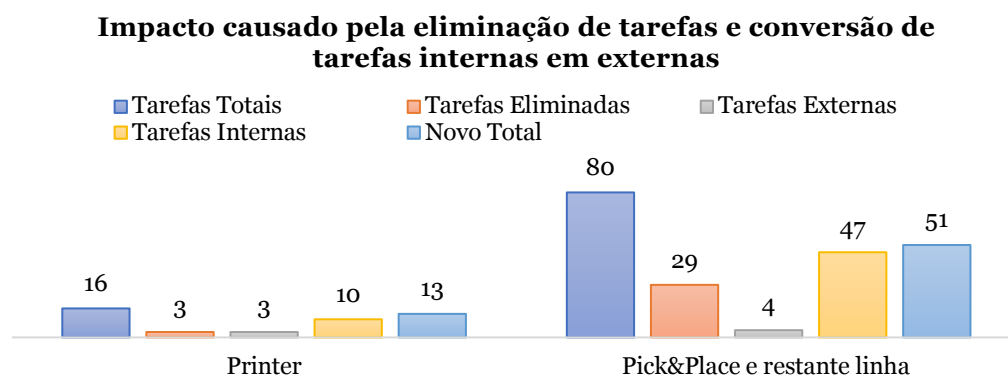


Gráfico 9 - Impacto causado pela eliminação de tarefas e conversão de tarefas internas em externas.

Tendo em conta a informação presente no gráfico 9, em termos de tarefas, na *Printer* verifica-se uma redução de uma totalidade de 16, para 13 tarefas, onde 3 são feitas externamente e 10 internamente. É uma pequena redução que em termos temporais iria representar uma redução de 6 minutos, ou seja, prevê-se que um *setup* na *Printer*, em média, demore 17 minutos. Quanto à *Pick&Place* e aos restantes equipamentos da linha, em termos de tarefas, espera-se que a sua totalidade passe para 51, em que 4 são externas e 47 internas e ao *setup* inicial foram retiradas 29 tarefas. Tendo em conta as tarefas, principalmente as internas, é possível verificar que ainda representam a quase totalidade de tarefas num *setup*, mas em termos temporais ganhou-se algum tempo, nomeadamente, espera-se agora um *setup* total de 1 hora e 16 minutos, ao qual se tem de acrescentar os 15 minutos da validação da qualidade AOI. Espera-se, portanto, uma redução de 1 hora com a eliminação e conversão de tarefas. O resumo da redução total das tarefas, encontra-se exposto no gráfico seguinte.

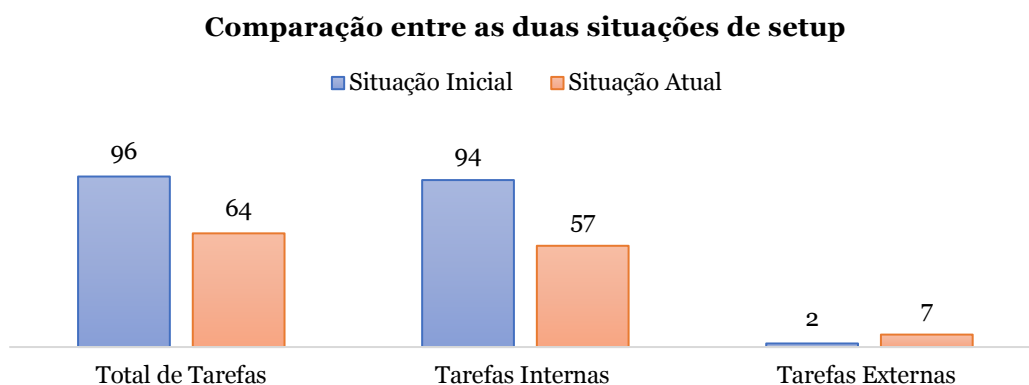


Gráfico 10 - Comparação entre as duas situações de setup, a inicialmente encontrada e a situação atual.

Com a implementação das melhorias propostas, o cenário que se espera é o que está representado nos gráficos 10. Espera-se que as tarefas totais passem a ser, em média 64, com base na lista de tarefas apresentada na tabela 4. As tarefas internas ainda são muito superiores às externas, mas tendo em conta o cenário anterior, nota-se uma melhoria, não muito significativa, mas ainda assim digna de nota. Passam a ser 57 as tarefas internas e 7 as tarefas externas, quando inicialmente as tarefas externas eram 2 e as internas 94. Em relação à redução de tarefas internas, não se nota uma grande diferença, mas tendo em conta a quantidade de tarefas, pode-se afirmar que se tem um cenário melhor, pois foram 32 as tarefas eliminadas.

O processo de *setup* é todo manual, o que implica um maior consumo de tempo, uma vez que depende das condições humanas e das suas capacidades. Dos *setups* acompanhados,

alguns deles apanharam a mudança de turno e isso reflete-se no tempo final, pois quando se aproxima a hora da mudança de turno, verificou-se um abrandamento do ritmo por parte do operador presente na linha e, quanto ao que vai começar a trabalhar, também ainda se verificou que demora algum tempo até começar a trabalhar a um ritmo considerado normal.

### 5.2.3. Ajustes Feitos no *Setup* e Criação de um *Setup* Modelo

As sugestões apresentadas anteriormente encontram-se resumidas na tabela 5, na qual se encontram as tarefas internas e externas dos equipamentos. Esta divisão foi elaborada com base na disposição da linha, onde o *Loader* e *Printer* são os primeiros equipamentos da linha e as *Pick&Place*, o Forno e o *Unloader* os restantes equipamentos que constituem a linha. Teve-se também em consideração os operadores responsáveis por cada parte da linha, ou seja, uma vez que há um operador específico para a *Printer*, não fazia sentido fazer um *setup* sem distinção. De forma resumida, na tabela seguinte encontra-se um *setup* modelo, com as tarefas ordenadas e divididas em *setup* interno e externo.

Tabela 5 - Simplificação do *setup* - *setup* modelo.

<b>Atividades de Preparação Externa – <i>Printer</i></b>
Pegar na solda
Pegar na espátula
Preparação da nova tela
Pegar em pinos e blocos
<b>Atividades de Preparação Interna – <i>Printer</i></b>
Desmontagem da linha: Limpar a solda, tirar pinos e blocos e tela
Montar/Posicionar pinos e blocos
Colocar tela
Programar e testar
Colocar pasta
Primeira impressão
Testar 1ª Placa
Validar qualidade SPI
Programação do <i>Loader</i>
Abastecimento de um bastidor e colocar no <i>Loader</i>
<b>Atividades de Preparação Externa – <i>Printer</i></b>
Levar tela para lavagem

<b>Atividades de Preparação Externa – <i>Pick&amp;Place</i></b>
Carrinho vazio para colocação dos <i>feeders</i>
Fitas excedentes cortadas e separadas nos respetivos contentores
Rastreabilidade – Feita na BP
Carrinho com nova OF e respetivos suplentes (em caixa/carrinho)
PCBs suficientes
<b>Atividades de Preparação Interna – <i>Pick&amp;Place</i></b>
Desmontagem da linha – Remover <i>feeders</i> , pinos e fechar <i>dossier</i>
Abrir novo <i>dossier</i> com os dados da nova produção
Ajustar a temperatura do Forno consoante o perfil definido no <i>dossier</i>
Programação
Colocar <i>feeders</i>
Confirmação da linha, para certificação da colocação dos <i>feeders</i>
Verificação da deslocação dos componentes
Fazer a primeira placa
Levar PCB para validar
<b>Durante os 15 minutos de validação da Placa:</b>
Preparação do Forno e do <i>Unloader</i> – Ajustes nas entradas/saídas

O seguimento do *setup* presente na tabela 5, diz respeito a um *setup* modelo, ou seja, foi elaborado tendo como base nas melhorias sugeridas. As tarefas não estão descritas ao pormenor, apenas se apresentam as tarefas consideradas principais para não gerar confusões nos operadores da linha. Através da análise das tarefas em si, é possível constatar que na *Printer* as tarefas externas são 5 e as internas 10 e na *Pick&Place* o cenário repete-se.

Nesta tabela já foi realizado um agrupamento de tarefas, ou seja, o *setup* já não está descrito ao pormenor, não sendo tão extenso e, visualmente, passa a ser mais atrativo.

O *setup* foi separado por equipamentos, ou seja, em primeiro lugar temos a *Printer* e o *Loader* que são da responsabilidade do colaborador da *Printer* e em segundo lugar tem-se a restante linha, as *Pick&Place*, Forno e *Unloader*. Para que seja possível obterem-se resultados, a preparação da linha tem de estar pronta antes do *setup* começar, pois tendo em conta tudo o que foi observado no chão de fábrica, é uma das principais razões de um *setup* ter valores temporais elevados.

De forma resumida, a *Printer* conta como tarefas externas com a preparação da tela, com o garantir do frasco da solda e da espátula na linha antes do *setup* se dar e pegar nos pinos e blocos ou usar os que se vão retirar da *Printer*. Já existe na zona de produção uma estante com as PCBs prontas a serem utilizadas na produção, caso contrário seria também da responsabilidade do operador da *Printer* trazer as PCBs para a linha. Este operador fica também responsável por abastecer um bastidor com placas e colocar no *Loader*, depois de o programar. Como tarefa externa final, sugere-se que a tela só seja levada para a zona de lavagem no final das intervenções feitas na *Printer*, ou então, no momento em que o operador da *Printer* tem de esperar para colocar a pasta, visto que esta só pode ser colocada no máximo 15 minutos antes da produção arrancar.

Quanto às *Pick&Place* e aos restantes equipamentos, estes são da responsabilidade do operador da linha e como tarefas de preparação externas tem-se como principais a garantia de um carrinho vazio para colocação dos *feeders* que vão ser retirados da produção anterior e o corte e separação das fitas excedentes das bobines. A rastreabilidade que antes era efetuada na linha, passa a ser realizada na Preparação, mas acaba por ser uma tarefa externa da linha, visto que tem de ser garantida antes do *setup* começar.

As tarefas internas da linha acabam por ser garantir a conclusão do trabalho, ou seja, tudo o que engloba a desmontagem da linha, desde a desmontagem dos *feeders* ao fechar do dossier e dar a produção como finalizada. Após isso, abre-se um novo dossier e começa-se por definir o perfil do forno, pois pode requerer uma temperatura superior à que tem naquele momento, ou uma inferior, e como são procedimentos que podem demorar algum tempo, sugere-se que sejam feitos no início.

Após isto estar concluído, inicia-se a programação e a alocação dos *feeders*, para que depois se proceda à confirmação da linha, o que implica a verificação da colocação correta ou não dos *feeders* e, após isso, a verificação da deslocação dos componentes. Eliminam-se aqui todas as colocações de *feeders*, pois esta começa a ter uma ordem específica, sendo a colocação efetuada apenas de uma vez com a seguinte ordem, em primeiro lugar, as frentes das duas máquinas e depois a parte de trás de ambas.

Após a colocação e as confirmações, procede-se à montagem da primeira placa com os componentes e, neste caso, muitas das vezes as máquinas requerem novos ajustes no que diz respeito à deslocação dos componentes. De seguida, a PCB é levada para a validação da qualidade AOI, ocupando um tempo de cerca de 15 minutos em que a linha se encontra parada, aqui sugeriu-se que os *conveyors*, as entradas e saídas dos fornos e a preparação do *Unloader* fossem efetuadas neste período de tempo.

Após esta sugestão, chegou-se à conclusão que definir apenas um modelo de *setup* não seria o mais indicado, uma vez que, em muitos casos, foram detetados vários tipos de *setup* ao longo da implementação.

Concluiu-se que era necessário criar vários modelos de *setup*, ou seja, um modelo de *setup* para quando o produto já tivesse sido produzido na HFA e na linha (projeto recorrente), um modelo de *setup* para quando o produto já tivesse sido produzido na HFA e não na linha (projeto recorrente, mas novo em linha) e, também, um modelo de *setup* para modelos completamente novos na produção (projetos novos).

Em primeiro lugar, definiram-se novamente as tarefas que tinham de ser garantidas antes do *setup* começar, seguidamente definiram-se os intervenientes no *setup*, quer de forma interna ou externa. O operador mais importante será, obviamente, o operador da linha, uma vez que é quem executa o *setup*, mas, para além deste, existem outros operadores chave para que tudo se desenrole conforme é expectável, sendo eles o operador da bancada de preparação, o responsável do turno e também um engenheiro do Departamento de Engenharia do Processo.

O operador da preparação será responsável por garantir que a OF estará pronta, pelo menos, 20 minutos antes de se iniciar o *setup* (este irá avisar com antecedência o responsável do turno, para que seja possível uma verificação prévia de que tudo está pronto). A preparação da linha terá de ser realizada com uma determinada ordem, ou seja, os *feeders* vão ser colocados no carrinho com a seguinte forma: separados por máquina (máquina 1 (M1) e máquina 2 (M2)) e, dentro dessa separação, distinguidos entre frente e retaguarda (frente da máquina 1 (F1), frente da máquina 2 (F2), retaguarda da máquina 1 (R1) e retaguarda da máquina 2 (R2)). Para além disto, cabe também ao operador da preparação todas as movimentações dos carrinhos, quer da BP para a linha, quer da linha para a BP. A partir deste momento, a rastreabilidade passa a ser realizada na preparação, ou seja, é o operador da BP que dá a entrada do material em produção e, com isto, poupam-se alguns minutos no *setup*.

O Engenheiro será responsável pelo auxílio ao operador de linha e também ao responsável de turno, quando se trata de um projeto novo em linha e na fábrica. O responsável de turno terá de colaborar em conjunto com o operador de linha em todos os *setups*, sempre que possível.

De seguida, são apresentados os fluxogramas dos novos modelos de *setup*. Estes esquemas foram elaborados tendo como base as sugestões apresentadas pela colaboradora Ana Maia.

Em primeiro lugar apresenta-se o fluxograma correspondente a um *setup* na *Printer* (figura 30), o qual está separado dos restantes, uma vez que é executado por outro operador, não fazendo sentido fazer um *setup* em conjunto, visto que as tarefas não iriam sofrer alterações consoante o tipo de produção. Elaborou-se também um modelo de *setup* para projetos completamente novos na produção (figura 31), um modelo para quando o produto já tivesse sido produzido na HFA e não na linha (figura 32) e um modelo de *setup* para quando o produto já tivesse sido produzido na HFA e na linha (figura 33).

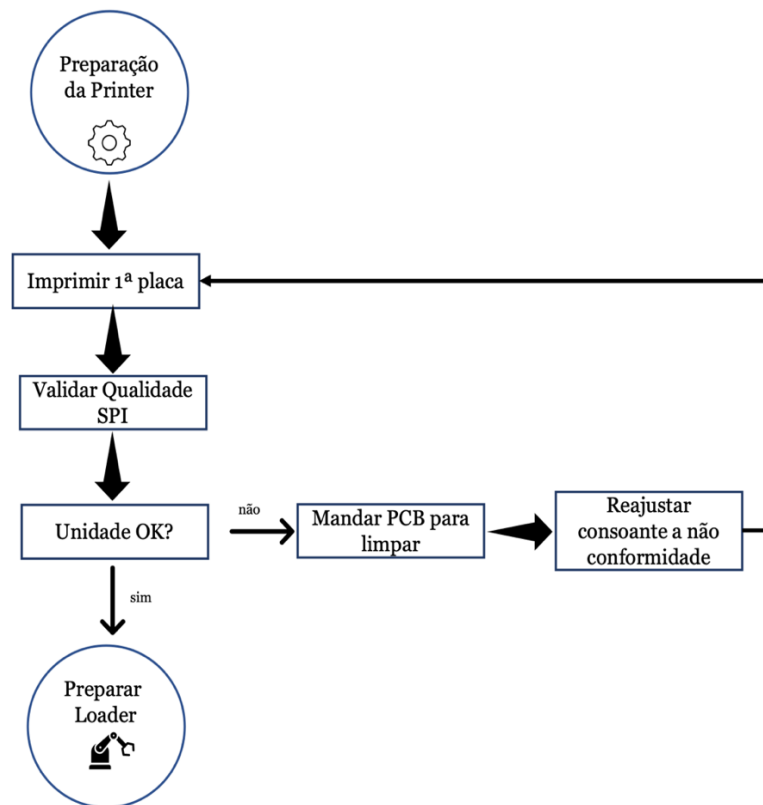


Figura 29 - Fluxograma de um Setup para a Printer.

Este primeiro esquema, apresentado na figura 29, diz respeito à *Printer*. O operador da *Printer* terá de a preparar, estando incluído nessa preparação a programação da mesma e também a montagem da tela, dos pinos e blocos. Após a conclusão destas tarefas, irá colocar a solda para, posteriormente, imprimir a primeira placa e validar a sua qualidade SPI. Se a placa não estiver dentro dos parâmetros estabelecidos terá de ser colocada no bastidor destinado a placas que necessitam de lavagem e, após isso, terá de reajustar a programação da *Printer*, com base na falha detetada. Depois dos reajustes, esta segue novamente para a impressão e passa por todas as etapas produtivas seguintes. Após a validação ser feita com

sucesso, o operador da *Printer* terá de garantir a preparação do *Loader*, deixando um bastidor completo com PCBs para a nova produção.

As atividades da *Printer* são sempre realizadas por um operador específico para este equipamento e não irão sofrer qualquer tipo de alteração influenciada pelo tipo de projeto que vai ser feito em linha.

Após o *setup* da *Printer*, surgem esquematizados os vários exemplos para diferentes tipos de projeto. Estes esquemas foram feitos para dois colaboradores, o operador da linha e outro operador.

Para modelos completamente novos produzidos em linha, apresenta-se o fluxograma ilustrado na figura 30.

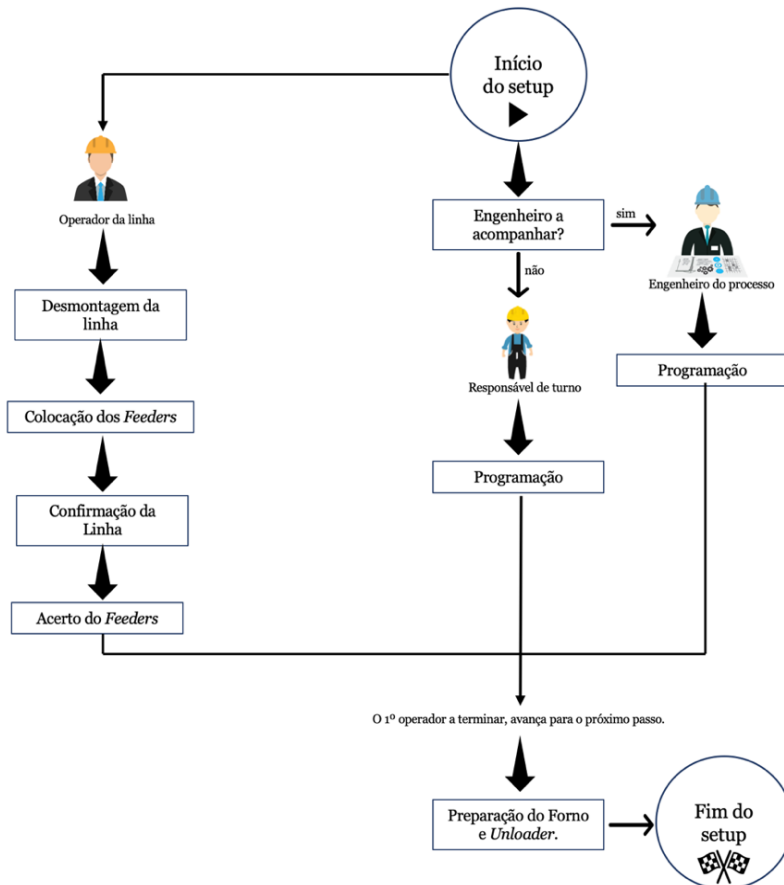


Figura 30 - Fluxograma do Setup para um projeto novo na fábrica.

No acompanhamento a um projeto novo na fábrica, concluiu-se que o operador da linha, como era expectável, não se sente tão à vontade com todas as suas especificações, então sugeriu-se o acompanhamento de alguém que se sentisse mais ciente de todas as condições

técnicas que um projeto envolve. Neste sentido, sugere-se em primeiro lugar o auxílio do engenheiro do processo, e caso este não consiga estar presente no momento do *setup*, esta função deverá ser assumida pelo responsável de turno. Com isto, o operador da linha fica responsável por retirar os *feeders* da produção anterior, a colocação dos *feeders* novos, a confirmação da linha, que consiste na verificação da colocação dos *feeders* e, por fim, o acerto dos *feeders* que é utilizado para a certificação de que os componentes estão a ser retirados e colocados no sítio correto da PCB. O engenheiro do processo e/ou o responsável de turno serão as pessoas encarregues pela programação das máquinas. Quanto à preparação do forno, *conveyors* e do *Unloader*, estipulou-se que o primeiro operador a terminar as tarefas, que lhes competem será o encarregue pela elaboração da última tarefa do *setup*.

Quando se refere o início do *setup*, inclui-se o fecho do *dossier* da produção anterior e a abertura do novo.

Na presença de um projeto que já tenha sido produzido na HFA, mas não em determinada linha, ilustra-se no fluxograma representado na figura 31, o fluxo de tarefas produtivas.

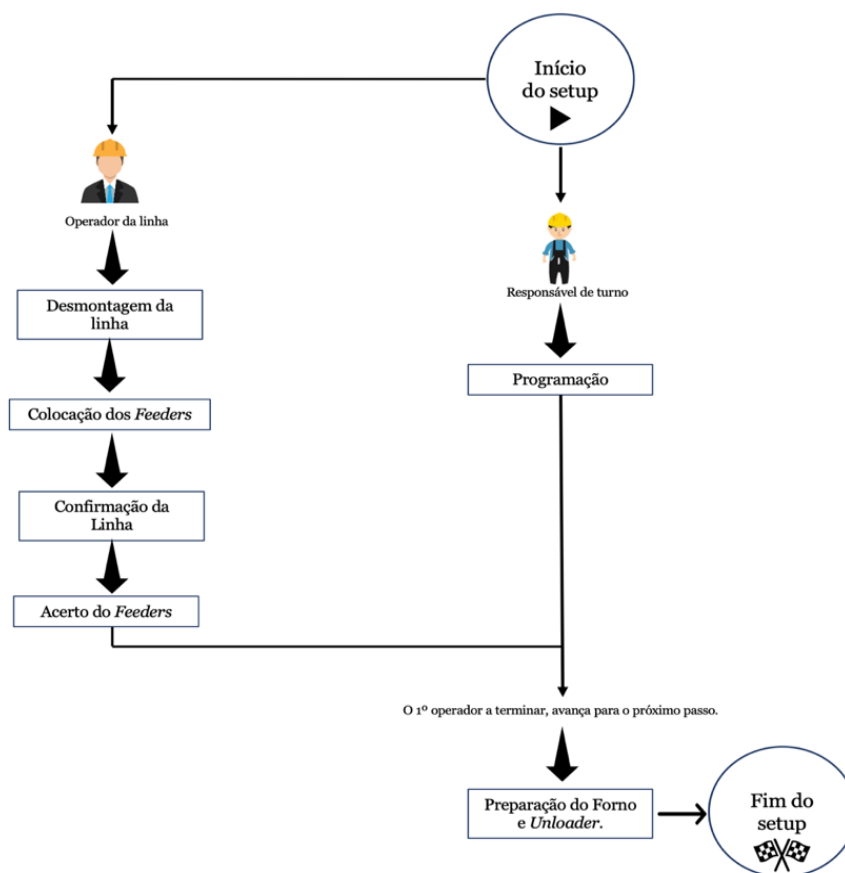


Figura 31 - Fluxograma do Setup para um projeto recorrente na fábrica, mas novo na linha.

Há muitas situações em que um projeto já foi produzido em determinadas linhas da fábrica, mas não em todas, então, para estes casos específicos, estabeleceu-se este fluxograma produtivo, pois para os colaboradores de uma linha que nunca executaram esse projeto, este é como um projeto novo. Neste caso, o operador da linha conta com a colaboração do responsável de turno. O responsável de turno tem como principal função a programação, enquanto que o operador da linha fica responsável por desmontar a linha e preparar a montagem para a produção que se vai iniciar. Cabe também ao operador de linha, a confirmação da linha (verificação da colocação dos *feeders* nos respectivos *slots*) e os acertos dos *feeders*. Mais uma vez, o primeiro interveniente a terminar as suas funções, avança para a preparação do Forno e do *Unloader*.

Por último, é apresentado o fluxograma ilustrado na figura 32 relativo a projetos recorrentes em toda a fábrica, ou seja, projetos que já foram produzidos pelo menos uma vez em cada linha.

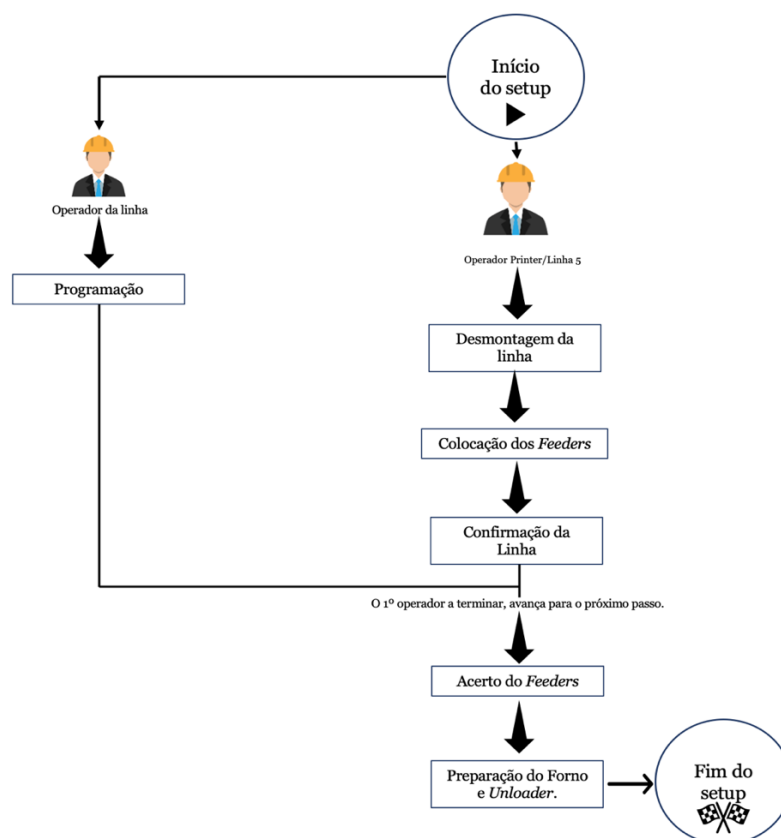


Figura 32 - Fluxograma do Setup para um projeto recorrente na fábrica e na linha.

Para este esquema produtivo, sugeriu-se o auxílio de outro operador, sendo ele o operador da linha 5 ou o operador da *Printer*. Sempre que o responsável de turno verificar a existência da necessidade de outro colaborador, quer seja para rentabilizar o *setup* ou por existirem vários ao mesmo tempo, coloca a linha 5 a trabalhar autonomamente, deixando os

colaboradores da linha 4 e da 6 encarregues de gerir a linha caso ela pare e, assim, o operador da linha fica livre para ajudar no *setup*.

O operador da linha fica responsável pela programação dos equipamentos, enquanto que a um segundo colaborador cabe-lhe a desmontagem da linha, a montagem da nova produção e a confirmação da linha, que é a verificação de que o *feeder* se encontra no *slot* correto.

#### 5.2.4. Resultados Obtidos

Para a obtenção de resultados recorreu-se à filmagem de outro *setup*, mas neste caso com todas as indicações das alterações e o objetivo foi perceber-se se seria de facto viável. Nem todas as indicações foram cumpridas, mas, para uma primeira tentativa, pode considerar-se que o objetivo foi cumprido.

No *setup* estiveram presentes o operador da linha, o chefe de turno e o operador da Bancada de Preparação. Devido a um problema durante a programação, foi necessária a intervenção de um Engenheiro do Processo. Trata-se de um projeto novo em fábrica, ou seja, esta será a primeira vez que será produzido e será também o primeiro contacto que o operador e os restantes intervenientes terão com o projeto.

Para a apresentação dos resultados, utilizou-se como base a tabela 5 e, em relação aos dados recolhidos anteriormente, apenas se adicionaram os tempos das tarefas que constituem a tarefa principal, que será a descrita na tabela 6, de forma similar à tabela 5. O resultado do *setup* anterior ronda, como previsto, 1 hora e 27 minutos. O objetivo é perceber se na realidade, é o que acontece ao implementar-se as melhorias definidas. Caso aconteça, considera-se que o objetivo de provar que é possível reduzir o tempo total apenas com a conversão e eliminação das tarefas foi alcançado.

Tabela 6 - Apresentação dos resultados obtidos.

<b>Atividades de Preparação Externa – Printer</b>	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>
Pegar na solda	29	20
Pegar na espátula	17	2
Preparação da nova tela	120	65
Pegar em pinos e blocos	10	3
<b>Atividades de Preparação Interna – Printer</b>		
Desmontagem da linha: Limpar a solda, tirar pinos e blocos e tela	71	24

Montar/Posicionar pinos e blocos	23	10
Colocar tela	13	7
Programar e testar	469	450+60
Colocar pasta	60	38
Primeira impressão	40	21+21
Testar 1ª Placa	124	100+40
Validar qualidade SPI	40	25+33
Programação do <i>Loader</i>	40	20
Abastecimento de um bastidor e colocar no <i>Loader</i>	149	60
<b>Atividades de Preparação Externa – <i>Printer</i></b>		
Levar tela para lavagem	29	20
<b>Tempo Total – <i>Printer</i></b>	<b>1234 segundos ≈ 20 minutos</b>	<b>1019 segundos ≈ 17 minutos</b>
<b>Atividades de Preparação Externa – <i>Pick&amp;Place</i></b>		
Carrinho vazio para colocação dos <i>feeders</i>	60	0
Fitas excedentes cortadas e separadas nos respetivos contentores	252	60
Rastreabilidade – Feita na BP	176	0
Carrinho com nova OF e respetivos suplentes (em caixa/carrinho)	102	0
PCBs suficientes	46	0
<b>Atividades de Preparação Interna – <i>Pick&amp;Place</i></b>		
Desmontagem da linha – Remover <i>feeders</i> , pinos e fechar <i>dossier</i>	456	449
Abrir novo <i>dossier</i> com os dados da nova produção	282	111
Ajustar a temperatura do Forno consoante o perfil definido no <i>dossier</i>	95	91
Programação	398	750
Colocar <i>feeders</i>	1033	417
Confirmação da linha, para certificação da colocação dos <i>feeders</i>	560	106
Verificação da deslocação dos componentes	320	312
Fazer a primeira placa	365	840
Levar PCB para validar	68	30
<b>Durante os 15 minutos de validação da Placa:</b>	<b>900</b>	<b>600</b>

Preparação do Forno e do <i>Unloader</i> – Ajustes nas entradas/saídas	115	80
<b>Tempo Total – <i>Pick&amp;Place</i></b>	<b>5228 segundos ≈ 1 hora e 27 minutos</b>	<b>3846 segundos ≈ 1 hora e 4 minutos</b>

Os resultados obtidos na *Printer*, foram de encontro ao que foi especulado anteriormente. Houve alguns percalços pelo caminho, mas uma das vantagens de reduzir os tempos totais de *setup*, é dar margem para o caso da existência de algum problema. Na *Printer*, começou tudo como é habitual, o operador iniciou as operações de mudança logo após a impressão da última placa. As operações externas foram cumpridas, ou seja, o operador quando se dirigiu ao equipamento, já levava consigo o frasco da solda para retirar o excedente da produção anterior e a máquina já tinha uma espátula, o que levou a que não fosse necessário a deslocação do operador a outra linha. A tela já tinha sido montada nos quadros e demorou cerca de 65 segundos o que, em comparação com o primeiro tempo registado, resultou numa pequena melhoria.

A desmontagem da linha, também foi realizada de forma bastante rápida e o facto de o operador não levar logo a tela para a zona de lavagem facilitou a redução deste tempo. Todas as outras tarefas se desenrolaram c normalmente na *Printer*. Como foi referido no parágrafo anterior, houve um problema, o qual ocorreu na inspeção SPI, ou seja, a impressão da placa não estava dentro dos parâmetros estabelecidos para que seja aceite e prossiga para a produção, o que levou a uns ajustes no programa que, por sinal, até foram rápidos, e fez com que o processo da impressão, do teste e da validação fosse repetido. Na segunda vez que este processo foi realizado, a PCB já foi aceite.

O operador da *Printer* também foi o responsável pela programação do *Loader* e pela colocação de um bastidor com PCBs. Deixou ainda uma mesa de apoio já com todas as placas já sem a protecção de plástico, para que depois fosse mais prático para o operador da linha abastecer o *Loader*.

Portanto, o novo *setup* da *Printer* teve um total de 17 minutos e, tendo em conta todas as alterações estabelecidas anteriormente, este era o tempo previsto.

Na *Pick&Place*, conseguiu-se cumprir todas as tarefas externas definidas, ou seja, antes do *setup* começar já existia na linha um carrinho vazio para colocação dos *feeders*, um carrinho com os *feeders* da nova produção e também a caixa com as bobines suplentes e os *feeders* de tabuleiro. O operador teve o cuidado de, antes de iniciar a mudança da máquina, cortar as fitas e fazer a separação do lixo nos contentores próprios. Destas tarefas externas, apenas foram definidos os tempos para o corte e separação das fitas, uma vez que foi a única tarefa

executada pelo operador da linha. As PCBs, neste momento, estão junto à produção e, assim, o operador da linha tem um acesso mais facilitado às mesmas, pois anteriormente tinha de se deslocar à serigrafia ou até ao armazém. Quanto ao início do *setup*, este iniciou-se pela desmontagem da linha, onde se inclui a remoção dos *feeders*, dos pinos e o fecho do *dossier* da produção antiga. Este processo é bastante longo, sendo um dos aspetos críticos a apontar no *setup*. A abertura do novo dossier inclui a identificação da ordem de fabrico, a definição das quantidades esperadas no OEE e a abertura do *dossier* para a consulta de todas as informações respetivas à nova produção. O ajuste do forno é realizado logo de seguida à abertura e consulta do dossier.

Para a programação e colocação dos *feeders*, seguiu-se o que consta na figura 28, ou seja, a programação é da responsabilidade do responsável de turno ou de um engenheiro. O chefe de turno iniciou a programação, mas devido a um problema, foi necessário que o engenheiro se deslocasse à produção para o ajudar na programação. Devido ao problema detetado, esta tarefa tornou-se muito longa, ocupando cerca de 12 minutos. Enquanto a programação era realizada, o operador da linha ocupou-se da colocação dos *feeders*, começando pelas frentes das *Pick&Place* e depois, colocou o número do *slot* correspondente na bobine e foi colocar nas partes de trás das máquinas. Após terminar estas tarefas, levou o carrinho à Bancada de Preparação, demorando cerca de 1 minuto, sendo esta tarefa da responsabilidade da BP, mas devido à acumulação de trabalho, o operador da linha levou o carrinho com os *feeders* para serem desmontados. Ao regressar à linha, a programação ainda não tinha sido terminada, por isso o operador iniciou os ajustamentos da entrada e saída do Forno e das larguras do *Unloader* e a sua programação. Após isto, o operador de linha passou à confirmação da linha, ou seja, à leitura dos códigos dos *feeders* e dos *slots* para verificar se estes estavam colocados no *slot* correto. Pode verificar-se uma diferença em relação ao tempo que esta tarefa demorou na primeira filmagem e na segunda. Esta redução deve-se ao facto de as réguas dos *slots* terem sido alteradas, conforme se pode observar na figura 33.



Figura 33 - Régua dos *slots* na primeira filmagem (lado esquerdo) e na segunda (lado direito).

Esta melhoria era uma necessidade urgente, pois os códigos estavam muito danificados, como é possível observar na figura 33 (lado esquerdo) e com os novos (figura 31, lado direito), a leitura dos códigos tornou-se muito mais rápida, evitando que o colaborador tenha de colocar esses códigos de forma manual.

O chefe de turno encontrava-se na *Pick&Place* número 2 e o engenheiro do processo na 1 e, quando este último terminou, o operador da linha iniciou a confirmação da deslocação dos componentes na máquina 1. O chefe de turno fez essa verificação na máquina 2.

Chegou o momento de produzir a primeira placa que, inicialmente, foi impressa na *Printer* e agora prossegue para a montagem dos componentes para depois seguir para a inspeção AOI para ser validada. Este processo demorou muito tempo, mormente 14 minutos, pois é aqui que é possível verificar se a deslocação dos componentes foi efetuada corretamente. Surgiram alguns erros, nomeadamente, um *feeder* que não estava a soltar os componentes de forma correta, o que levou que o operador o tivesse de ir trocar à BP. Verificou-se aqui que os componentes não estavam a ser agarrados no local correto e isso levou a uma nova reestruturação da deslocação dos componentes, daí o tempo longo. De seguida, o operador levou a PCB à inspeção AOI, a qual tem uma duração de cerca de 10 minutos. Nestes 10 minutos o operador manteve-se na zona de inspeção, deixando a linha parada. De seguida, a PCB volta com a validação positiva e a produção arranca. Todo o processo de setup da *Pick&Place* e restante linha demorou cerca de 1 hora e 4 minutos, já com a validação da PCB incluída.

De seguida são apresentadas as melhorias em relação às tarefas definidas nos gráficos 3 e 4 como as mais preocupantes e aquelas que teriam de ter uma atenção especial, uma vez que eram as que apresentavam um tempo de *setup* mais elevado. Para isso, foram comparados os tempos obtidos no primeiro registo e no último, e os resultados obtidos estão expostos nos gráficos 11 e 12.

### Comparação das tarefas mais demoradas na Printer

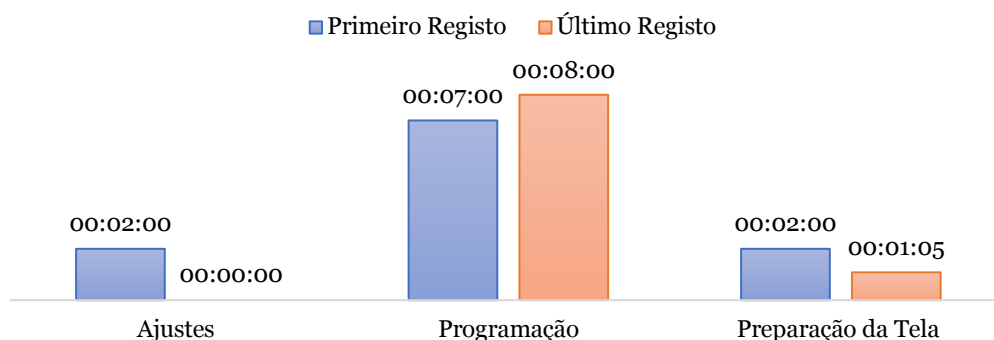


Gráfico 11 - Comparação das tarefas mais demoradas na Printer, na primeira e última filmagem.

Através da análise do gráfico 11, pode concluir-se que a Programação foi a única tarefa que apresentou valores superiores aos anteriores, uma vez que houve um problema e a PCB não foi validade na inspeção SPI, o que implicou uma reestruturação na Programação, daí ter sofrido este aumento.

Quanto aos ajustes, estes foram eliminados e a preparação da tela também sofreu uma alteração temporal e, além disso, já está a ser efetuada externamente.

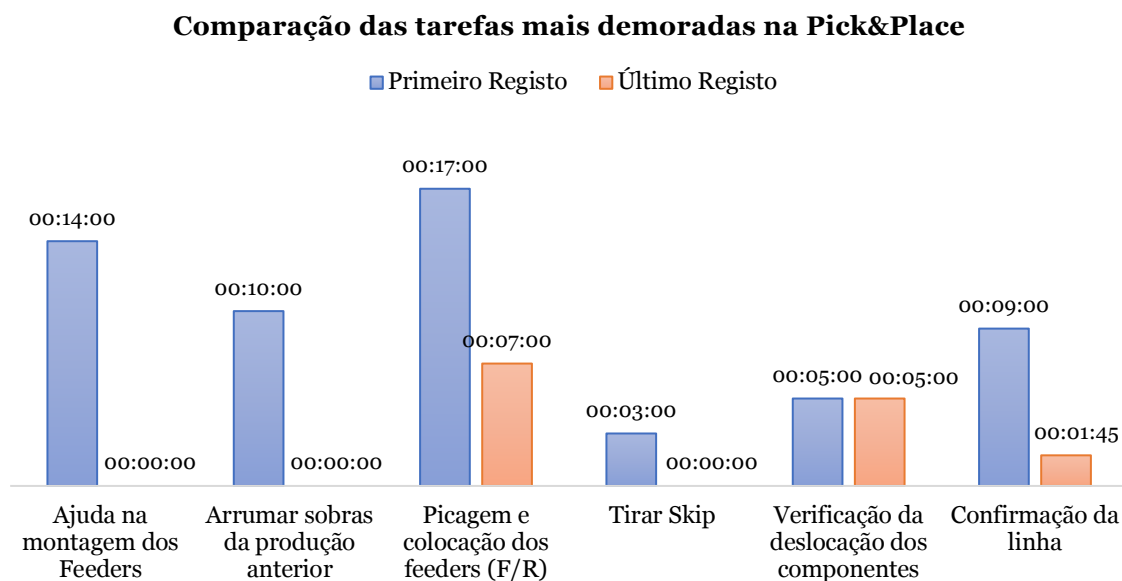


Gráfico 12 - Comparação das tarefas mais demoradas na Pick&Place, na primeira e última filmagem.

Tendo em conta a informação exposta no gráfico 12, pode-se constatar que as reduções foram bastante satisfatórias, excetuando a verificação da deslocação dos componentes. A ajuda na montagem dos *feeders*, a arrumação das sobras e a tarefa tirar *skip* foram eliminadas na totalidade.

A implementação dos resultados não pôde ir muito mais além disto, uma vez que o fator tempo não foi favorável e, deste modo, não foi possível acompanhar mais *setups* após a sua implementação. Outro fator negativo foi a falta de pessoal na produção, principalmente na área SMD, pois estavam outros operadores de diferentes áreas colmatar a falta de pessoal, então, o pretendido não faria sentido ser realizado, uma vez que em alguns casos não eram os operadores normalmente afetos à linha.

O objetivo, com esta nova medição, foi provar que de facto é possível reduzir de forma notável os tempos de *setup* e que, através de uma sequência de tarefas e sincronização entre colaboradores, é possível fazer-se um *setup* diferente, mais curto e menos demorado.

O objetivo de provar que é possível reduzir o tempo e fazer uma sequência de tarefas foi alcançado. O passo seguinte seria cronometrar mais *setups* para ser possível retirar novas conclusões e, também, iniciar a implementação de intervenções técnicas, ou seja, começar a pensar em formas de o *setup* não ser 100% manual e optar por algo mais mecanizado. Só após estas condições estarem satisfeitas, é que seria possível proceder a novas conversões e eliminações de tarefas, principalmente, internas.



# Capítulo 6

## Conclusões

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas do desenvolvimento do projeto. São ainda apresentadas as limitações à elaboração do presente projeto e as propostas de trabalhos futuros. Nas conclusões finais faz-se um balanço sobre o objetivo primordial, nas limitações apontam-se os aspetos menos positivos, no que diz respeito à implementação da metodologia e nas propostas de trabalhos futuros é relatado um ponto de situação sobre aquilo que ainda poderá a vir a implementado na empresa.

### 6.1. Considerações finais

Este estudo enquadrou-se no plano de melhoria contínua da HFA e na sua necessidade de diminuir os tempos de *setup*, uma vez que estavam a causar demasiados desperdícios. O objetivo passou por identificar as oportunidades de melhoria, propor soluções e implementá-las para que os resultados fossem obtidos.

O objetivo, desde início, era implementar uma ferramenta Lean, que permitisse dar resposta à necessidade mais premente de otimização da produção da empresa. Depressa se identificou que os tempos de *setup* eram uma “dor de cabeça” para a organização e, com base nas ferramentas abordadas ao longo desta dissertação, a metodologia SMED foi selecionado por ser aquela que mais se adequava a este fim.

Pode-se afirmar que a HFA já é considerada uma empresa Lean, ou seja, já tem implementadas ferramentas *Lean*, nomeadamente o 5S, o sistema *Andon*, o *Poka-Yoke* e, agora, a metodologia SMED. Estando neste momento a ser implementado o *Kaizen*.

As propostas foram implementadas e os resultados recolhidos, embora o objetivo principal não fosse concretizado na totalidade, porque apenas se conseguiu provar que é possível reduzir através de uma pequena reorganização das tarefas e eliminação de outras. O objetivo seria agora começar a intervir nos *setups*, indicando as melhorias possíveis de serem feitas e acompanhar todos, sem exceção, para que os operadores assimilassem as tarefas e assim, criassem uma rotina. Não foi possível devido ao tempo disponível, embora não houvesse qualquer entrave por parte da empresa, pois sempre se mostraram disponíveis para tudo.

## 6.2. Limitações

A primeira limitação à realização do presente trabalho e à concretização de todos os objetivos iniciais, foi originada pela situação pandémica, que condicionou o acesso à empresa e o tempo necessário para a implementação de todas as propostas. As empresas estão mais fragilizadas quer em termos de recursos humanos como em termos de volume de negócios, além disto estão a adaptar-se a uma nova forma de trabalhar com muitas condicionantes e incertezas.

O tempo para implementação da metodologia SMED rondou um mês e meio, de julho a setembro, com duas semanas de interrupção para férias da empresa. Considera-se que este período de tempo é insuficiente, tendo em conta a quantidade de tarefas e mudanças que teriam de ser efetuadas. Na impossibilidade de acompanhar os *setups* após sugeridas novas ideias e métodos, o que se fez foi apenas filmar um *setup* com características idênticas ao primeiro filmado e fazer uma comparação final, para se verificar se de facto era possível alcançar uma melhoria com o que foi sugerido.

Outro ponto importante é o facto dos meses de julho e agosto, serem, normalmente, os meses das férias de verão, ou seja, os colaboradores têm férias alternadamente, verificando-se um número reduzido de trabalhadores no chão de fábrica. Com menos colaboradores, o tempo previsto de produção aumentou, não existem tantos *setups* e o número de colaboradores está mais reduzido. Como se notou ao longo dos acompanhamentos do processo produtivo, verificaram-se alguns casos em que a preparação estava mais demorada, uma vez que não havia mão de obra e, nesse sentido, o operador da linha tinha de ser auxiliado para que a linha estivesse pronta a ser montada, parando assim por completo a linha de produção.

Aponta-se também como limitação, a resistência à mudança por parte de alguns colaboradores, ou seja, não foi fácil sensibilizar os operadores sobre a importância da redução dos tempos de *setup*.

Outra dificuldade sentida ao longo da implementação da metodologia, mais concretamente na última semana, quando se iria implementar a última parte para se retirarem os novos tempos de *setup*, foi o facto de a empresa ter uma auditoria de renovação da norma IATF 16949:2016. Esse momento levou a que os colaboradores e técnicos estivessem mais ocupados, esquecendo por completo as questões relacionadas com o *setup*.

Mesmo com todas estas limitações e dificuldades, tentou-se, desde início, corresponder às expectativas e cumprir os objetivos estipulados, a redução dos tempos de *setup* através da

implementação da metodologia SMED. Uma vez que não foi possível testar as ideias sugeridas para um *setup*, mais do que uma vez, fica então uma sugestão que poderá ser utilizada futuramente.

### **6.3. Propostas Futuras**

Como propostas futuras, sugere-se a continuação da implementação da metodologia SMED para solucionar a questão dos *setups* muito demorados, pois ainda se avizinha um longo caminho pela frente. Ainda neste sentido, sugere-se também a mecanização de algumas tarefas pois, até ao momento, o *setup* está a ser elaborado 100% manualmente.

É importante também sensibilizar os operadores das linhas sobre quanto um *setup* demorado é desvantajoso para a organização, pois ainda se notou alguma resistência por parte destes. Sugere-se uma aposta rígida na organização e disciplina dos operadores e das tarefas em si, ou seja, determinar uma ordem de elaboração das tarefas e determinar a forma correta de as executar.

Seria vantajoso para a organização a implementação de outras ferramentas Lean e apostar ainda mais na melhoria contínua, pois tem ainda mais potencial do que aquele que já demonstra ter. Esta implementação de novas ferramentas deveria estender-se a toda a organização e não apenas à área SMD.

Frisa-se ao longo da aplicação prática a importância de o responsável de turno auxiliar o operador da linha ao longo do *setup*, mas mais do que isso, sugere-se que daqui em diante o responsável de turno tenha um papel mais ativo nos *setups*, que além de prestar ajuda ao operador, também acompanhe os *setups* para que os problemas sejam detetados na raiz e não apenas nos números, quer na demora do *setup*, quer na demora de produção.

Sugere-se à HFA a colocação de tempos previstos de *setup* mais baixos, ou seja, ao fazer-se o planeamento colocar-se o tempo previsto da duração de um *setup*, o que se sugere é uma diminuição drástica nesses tempos, pois um operador ao ver que o tempo previsto de um *setup* é de, por exemplo, 3 horas, vai sentir-se mais relaxado e não vai fazer numa hora aquilo que está programado para demorar 3.

Para fazer face a faltas de pessoal não programadas, sugere-se a formação de operadores de diferentes áreas para que, nestas situações eles sejam capazes de satisfazer as necessidades mínimas de uma linha SMD.

Por fim, mas não menos importante, sugere-se a colocação de outro operador da Bancada de Preparação, pois como se pôde reparar ao longo da aplicação prática, havia sempre muitos atrasos na preparação da matéria-prima que iria entrar na nova produção, o que implicava a deslocação do operador da linha para auxiliar o operador da BP na preparação dos *feeders*.

É importante que a empresa adote um pensamento Lean e que implemente uma metodologia de melhoria contínua em todos os departamentos e áreas e não apenas na Produção.

# Bibliografia

Akanbi, O. A., Oyedolapo, O. & Steven, G. J., 2019. Lean Principles in Construction. Em: *Sustainable Construction Technologies*. Butterworth - Heinemann: Vivian W. Y. Tam and Khoa N. Le, pp. 317-348.

Al-Araidah, O., Jaradat, M. A. K. & Batayneh, W., 2010. Using a fuzzy Poka-Yoke based controller to restrain emissions in naturally ventilated environments. *Expert Systems with Applications*, Volume 37, pp. 4787-4795.

Allahverdi, A. & Soroush, H. M., 2008. The significance of reducing setup times/setup costs. *European Journal of Operational Research*, Volume 187, pp. 978-984.

Almomani, M. A., Aladeemy, M., Abdelhakim, A. & Mumani, A., 2013. A proposed approach for setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 66, pp. 461-469.

Antosz, K. & Pacana, A., 2018. Comparative Analysis of the Implementation of the SMED Method on Selected Production Stands. *Technical Gazette*, Volume 25, pp. 276-282.

Asghar, R., Rehman, F., Aman, A. & Iqbal, K., 2019. Low RH and temperature effect on 0201 sized passive components during SMT mounting. *Soldering & Surface Mount Technology*, Volume 32, pp. 48-54.

Bell, S., 2006. *Lean Enterprise Systems: Using IT for Continuous Improvement*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, Volume 33.

Botelho, J. M. & Cruz, V. A., 2013. *Metodologia científica*. São Paulo: Pearson Education do Brasil.

Cao, S. et al., 2019. Prediction of Component Shifts in Pick and Place Process of Surface Mount Technology Using Support Vector Regression. *Procedia Manufacturing*, Volume 39, pp. 210-217.

Cardoso, A. P. P. D. O., 2014. *Inovar Com A Investigação-Ação: Desafios Para A Formação de Professores*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Choudhary, S. et al., 2019. An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the U.K.. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, Volume 30, pp. 353-368.

Citeve, 2012. *Ferramenta de Desenvolvimento e aplicação do Lean Thinking no STV*. s.l.:s.n.

Correia, D. et al., 2018. Improving manual assembly lines devoted to complex electronic devices by applying Lean tools. *Procedia Manufacturing*, Volume 17, pp. 663-671.

Dilanthi, M. G. S., 2015. Conceptual Evolution of Lean Manufacturing. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, Volume 3, pp. 574-585.

Farlow, D., 2005. Efficient Line Changeover. *SMT Magazine*, Volume 19, pp. 44-45.

Ferradás, P. G. & Salonitis, K., 2013. Improving changeover time: a tailored SMED approach for welding cells. *Procedia CIRP*, Volume 7, pp. 598-603.

Ferreira, C. et al., 2019. iLeanDMAIC - A methodology for implementing the lean tools. *Procedia Manufacturing*, Volume 41, pp. 1095-1102.

Ghobadian, A. et al., 2020. Examining legitimatisation of additive manufacturing in the interplay between innovation, lean manufacturing and sustainability. *International Journal of Production Economics*, Volume 219, pp. 457-468.

Gupta, S. & Jain, S. K., 2013. A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Volume 8, pp. 241-249.

HFA, 2020a. *Empresa: Quem Somos*. [Online] Available at: <http://www.hfa.pt/empresa/quem-somos> [Acedido em 8 julho 2020].

HFA, 2020b. *Área de Atuação*. [Online] Available at: <http://www.hfa.pt/area-de-atuacao/> [Acedido em 8 julho 2020].

HFA, 2020c. *Empresa: Qualidade*. [Online] Available at: <http://www.hfa.pt/empresa/qualidade> [Acedido em 8 julho 2020].

HFA, 2020d. *Recursos Humanos*. [Online] Available at: <http://www.hfa.pt/recursos-humanos/> [Acedido em 8 julho 2020].

HFA, 2020. *Home*. [Online] Available at: <http://www.hfa.pt/> [Acedido em 8 julho 2020].

Holweg, M., 2007. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, Volume 25, pp. 420-437.

Hutchins, C. L., 1986. Surface Mounted Devices: Advantages and Issues. *Microelectronics Journal*, Volume 17, pp. 42-47.

Jasti, N. V. K. & Kodali, R., 2014. Lean production: literature review and trends. *International Journal of Production Research*, 30 Julho, Volume 53, pp. 867-885.

Kaizen Institute, 2013. *What is Kaizen*. [Online] Available at: <https://www.kaizen.com/what-is-kaizen.html> [Acedido em 10 abril 2020].

Karam, A.-A., Liviu, M., Cristina, V. & Radu, H., 2018. The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project.. *Procedia Manufacturing*, Volume 22, pp. 886-892.

Karlsson, C. & Ahlstrom, P., 1996. Assessing changes towards lean production. *International Journal of Operations & Production Management*, Volume 21, pp. 127-142.

Kiran, D. R., 2020. *Work organization and methods engineering for productivity*. Butterworth – Heinemann.

Krafcik, J. F., 1988. *Triumph of the Lean Production System*. *MIT Sloan Management Review*, Volume 30.

Kusar, J., Berlec, T., Zefran, F. & Starbek, M., 2010. Reduction of Machine Setup Time. *Journal of Mechanical Engineering*, Volume 56, pp. 833-845.

Lazarevic, M. et al., 2019. A Systematic Literature Review of Poka-Yoke and Novel Approach to Theoretical Aspects. *Journal of Mechanical Engineering*, Volume 65, pp. 454-467.

Liker, J. k., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.

Liker, J. K. & Morgan, J. M., 2006. The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of management perspectives*, Volume 20, pp. 5-20.

- Liukkonen, M., Havia, E., Leinonen, H. & Hiltunen, Y., 2009. Application of self-organizing maps in analysis of wave soldering process. *Expert Systems with Applications*, Volume 36, pp. 4604-4609.
- Maarof, M. G. & Mahmud, F., 2016. A Review of Contributing Factors and Challenges in Implementing Kaizen in Small and Medium Enterprises. *Procedia Economics and Finance*, Volume 35, pp. 522-531.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R. & Owen, G. W., 2000. A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology. *International Journal of Production Research*, Volume 38, pp. 2377-2395.
- Meesemaeker, P., Rozumek, W. & Tarrieu, R., 1989. Introduction of Surface Mounted Device Technology. *Electrical Communication*, Volume 63, pp. 122-129.
- Muharam, M. & Latif, M., 2019. *Design of poka-yoke system based on fuzzy neural network for rotary-machinery monitoring*. Indonesia: IOP Publishing.
- Nema, P., 2020. Use of Poka-Yoke in Modern Organizations. *Test Engineering & Management*, Volume 83, pp. 7314-7318.
- Ohno, T., 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland: Productivity Press.
- Oh, D. Y. & Yun, I. D., 2018. Residual Error Based Anomaly Detection Using Auto-Encoder in SMD Machine Sound. *Sensors*, Volume 18, pp. 1308.
- Oliveira, J., Sá, J. C. & Fernandes, A., 2017. Continuous improvement through "Lean Tools": An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, Volume 13, pp. 1082-1089.
- Ortiz, C. A., 2006. *Kaizen Assembly: Designing, Constructing, and Managing a Lean Assembly Line*. CRC Press.
- Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K. & Jambekar, A. B., 2003. Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, Volume 41, pp. 3075-3090.
- Pinto, J. P., 2009. *Pensamento Lean*. Lisboa: LIDEL-Edições Técnicas, Lda.

Powell, D., 2018. Kanban for Lean Production in High Mix, Low Volume Environments. IFAC-PapersOnLine, Volume 5, pp. 140-143.

Ribeiro, P. et al., 2019. The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study. *Procedia Manufacturing*, Volume 38, pp. 765-775.

Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P. & Campilho, R., 2017. SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, Volume 13, pp. 1034-1042.

Saurin, T. A., Ribeiro, J. L. D. & Vidor, G., 2012. A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 31, pp. 358-366.

Scotelano, L. S., 2007. Aplicação da Filosofia Kaizen e uma Investigação sobre a sua Difusão em uma Empresa Automobilística. *Revista da FAE*, Volume 10, pp. 165-177.

Shingo, S., 1981. *Study of Toyota Production System*. Portland: Productivity Press.

Shingo, S., 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Portland, Oregon: Productivity Press.

Shingo, S., 1992. *The Shingo Prize Production Management System: Improving Process functions*. Cambridge: MA: Productivity Press.

SICAE, 2020. *SICAE - Sistema Informação da Classificação Portuguesa de Atividades Económicas*. [Online] Available at: <http://www.sicae.pt/Detalhe.aspx?NIPC=503420948> [Acedido em 10 junho 2020].

Silva, A. S., Medeiros, C. F. & Vieira, R. K., 2017. Cleaner Production and PDCA cycle: Pratical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *Journal of Cleaner Production*, Volume 150, pp. 324-338.

Silva, I. B. & Filho, M. G., 2019. Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 102, pp. 4289-4307.

Sivaraman, P. et al., 2020. Productivity enhancement in engine assembly using tools and techniques. *Materials Today: Proceedings*.

Sly, D., 2018. Internet Based eKanban/eKitting Involving Suppliers. *Procedia Manufacturing*, Volume 17, pp. 484-490.

Spagnol, G. S., Min, L. L. & Newbold, D., 2013. Lean principles in Healthcare: an overview of challenges and improvements. *IFAC Proceedings Volumes*, Volume 46, pp. 229-234.

Sugai, M., McIntosh, R. I. & Novaski, O., 2007. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. Volume 14, pp. 323-335.

Velmurugan, V., Karthik, S. & Thanikaikarasan, S., 2020. Investigation and implementation of new methods in machine tool production using lean manufacturing system. *Materials Today: Proceedings*.

Veres, C., Marian, L., Moica, S. & Al-Akel, K., 2018. Case study concerning 5S method impact in an automotive company. *Procedia Manufacturing*, Volume 22, pp. 900-905.

Vieira, T. et al., 2019. Optimization of the cold profiling process through SMED. *Procedia Manufacturing*, Volume 38, pp. 892-899.

Womack, J. & Jones, D., 1996. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Simon & Schuster.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D., 1990. *The Machine That Change The World*. New York: Rawson Associates.

Wong, Y. C., Wong, K. Y. & Ali, A., 2009. *Key Practice Areas of Lean Manufacturing*. Em 2009 International Association os Computer Science and Information Technology Spring Conference, pp 267-271.