

• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo e Implementação da Metodologia SMED para a Redução de Tempos de Setup em Linhas de Produção de Componentes Eletrónicos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Analysis and Implementation of SMED Methodology for Setup Time Reduction in Production Lines of Electronic Products

Autor

Vitor Manuel Neves Pereira

Orientadores

Professor Doutor Cristóvão Silva

Engenheiro João Taveira

Júri

Presidente	Professora Doutora Cristina Louro Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogal	Professor Doutor Pedro Neto Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



HFA – Henrique, Fernando & Alves, S.A.

Coimbra, Setembro, 2016

“I think a simple rule of business is, if you do the things that are easier first, then you can actually make a lot of progress... If we want to have the biggest impact, the best way to do this is to make sure we always focus on solving the most important problems.”

Mark Zuckerberg, 2011.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta apenas foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento. A ordem pela qual os agradecimentos se seguem não constitui qualquer relação de hierarquia.

Em primeiro lugar, agradeço à empresa HFA pela oportunidade de integrar a sua equipa de profissionais, e principalmente pelas condições que permitiram a realização deste trabalho.

Um agradecimento especial ao meu orientador na empresa, Engenheiro João Taveira, pela disponibilidade, pelo apoio e pelas orientações ao longo deste estágio curricular.

Um grande obrigado ao Professor Doutor Cristóvão Silva, por todo o apoio e dedicação à orientação deste trabalho, mas também pelo conhecimento e conselhos transmitidos ao longo do meu percurso académico.

Agradeço também à fantástica equipa da área SMT da HFA, com quem estabeleci um contato diário e mais direto, pelo apoio prestado, troca de ideias, pela constante simpatia e profissionalismo.

Por fim, um especial agradecimento a toda a minha família e amigos, pelo apoio ao longo de todo este percurso.

Resumo

A presente dissertação surge no âmbito de um protocolo estabelecido entre a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e a empresa HFA – Henrique, Fernando & Alves, S.A., que se dedica à montagem e teste de equipamento eletrónico e de telecomunicações, em regime de subcontratação.

O trabalho desenvolvido teve como objetivo a redução dos tempos de *setup* nas linhas de montagem da área *Surface Mount Technology* (SMT) da empresa HFA, através da implementação da metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED).

Após análise do processo produtivo, procedeu-se a aplicação de quatro ações de melhoria com o intuito de reduzir os tempos de *setup* para valores inferiores aos estimados, aquando a orçamentação da produção dos produtos.

Devido a algumas dificuldades na introdução das ações de melhoria, os resultados obtidos não alcançaram valores satisfatórios, seria indispensável uma janela de tempo maior para melhorar a assimilação e enraizamento destes processos.

No entanto, este trabalho servirá como ponto de partida para desenvolver melhorias futuras, dando ênfase a todo o processo produtivo, visando a otimização de processos e metodologias.

Palavras-chave: Single Minute Exchange of Die (SMED), Surface Mount Technology (SMT), Surface Mount Devices (SMD), Printed Circuit Board (PCB), Lean, Pick & Place.

Abstract

This thesis is the result of a protocol established between the Faculty of Science and Technology of University of Coimbra and HFA – Henrique, Fernando & Alves, S.A., a subcontracting company, dedicated to assembling and testing electronic and telecommunication equipment.

The work goal was to reduce the setup time on the assembly lines of the Surface Mount Technology (SMT) area of the HFA company by the implementation of Single Minute Exchange of Die (SMED) methodology.

After the production process analysis, was applied four improvement actions in order to reduce setup time to values below the estimated at the production budget.

Due to some difficulties in the introduction of the improvement actions, the results were not satisfactory, would be essential a larger time window to improve the assimilation and entrenchment of these processes.

Despite of these results, this work will be a starting point for future improvement develops, embracing all production process to achieve processes and methodologies optimization.

Keywords Single Minute Exchange of Die (SMED), Surface Mount Technology (SMT), Surface Mount Devices (SMD), Printed Circuit Board (PCB), Lean, Pick & Place.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Siglas	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e Objetivos.....	1
1.2. Estrutura e Organização da Dissertação	2
2. Enquadramento Teórico	3
2.1. Lean Thinking.....	3
2.1.1. Resumo Histórico	3
2.1.2. Conceito.....	4
2.1.3. Princípios.....	5
2.1.4. Tipos de Desperdício	6
2.1.5. Ferramentas	7
2.2. Metodologia SMED.....	8
2.2.1. Resumo Histórico	9
2.2.2. Etapas Conceptuais.....	10
2.2.3. Benefícios	12
3. Apresentação da Empresa.....	13
3.1. Estrutura Organizacional da Empresa.....	14
3.2. Processo Produtivo	15
3.3. Área SMT	17
3.3.1. Linhas de Assemblagem.....	17
3.3.2. Fluxograma Operacional da Área SMT.....	18
4. Implementação da Metodologia SMED na Área SMT	19
4.1. Sistemas <i>Pick & Place</i>	20
4.1.1. Tipos de <i>Feeders</i>	21
4.2. Análise da Situação Inicial.....	22
4.3. Ações de Melhoria	25
4.3.1. Bancada de Preparação de <i>Feeders</i>	25
4.3.2. Identificação dos <i>Feeders</i>	27
4.3.3. Registos Operativos da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i>	27
4.3.4. Aplicação para Auxiliar a Programação <i>Offline</i> das Linhas de Assemblagem da Área SMT	28
4.3.5. Aplicação para Verificação de Linha	29
4.4. Apresentação e Análise dos Resultados Obtidos.....	31
4.4.1. Linha 1.....	33
4.4.2. Linha 2.....	35
4.4.3. Linha 3.....	37
4.4.4. Linha 4.....	39
4.4.5. Linha 5.....	41

4.4.6. Linha 7.....	43
5. Conclusões.....	45
Referências Bibliográficas.....	46
APÊNDICE A – Aplicação <i>Feeders Management System</i>	47
APÊNDICE B – Aplicação de Monitorização das Linhas de Assemblagem.....	50
APÊNDICE C – Identificação dos Feeders de Bobine.....	52
APÊNDICE D – Aplicação para Verificação de Linha.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ciclo da filosofia <i>Lean Thinking</i> (<i>Lean Enterprise Institute</i> , 2016).	5
Figura 2.2. Etapas conceptuais da metodologia SMED (<i>Shingo</i> , 1985).	10
Figura 2.3. Etapas conceptuais e técnicas aplicáveis da metodologia SMED (<i>Shingo</i> , 1985).....	11
Figura 3.1. Organograma da empresa HFA.....	14
Figura 3.2. <i>Layout</i> com o fluxo do processo produtivo da HFA.	16
Figura 3.3. Equipamentos de uma linha SMT.	17
Figura 3.4. Fluxograma operacional da área SMT da HFA.	18
Figura 4.1. Distribuição do tempo de <i>setup</i> de uma linha de montagem de circuitos eletrónicos (<i>Farlow</i> , 2005).	19
Figura 4.2. Sistema <i>Pick & Place</i> Samsung SM471 (<i>Samsung C&T Automation</i>).....	20
Figura 4.3. Diferentes tipos de <i>feeders</i> utilizados na HFA.....	22
Figura 4.4. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos referentes ao ano de 2015 das linhas de montagem da área SMT da HFA.....	24
Figura 4.5. Aplicação <i>Feeders Management System</i>	26
Figura 4.6. Aplicação de monitorização das linhas de montagem.....	26
Figura 4.7. Identificação dos <i>feeders</i>	27
Figura 4.8. Imagem ilustrativa do documento de registos operativos da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i>	28
Figura 4.9. Aplicação para auxiliar a programação <i>offline</i> das linhas de montagem da área SMT.	29
Figura 4.10. Identificação dos <i>feeders</i> e <i>slots</i> por códigos de barras.	30
Figura 4.11. <i>Front-ends</i> da aplicação para verificação de linha.....	31
Figura 4.12. Linha temporal da implementação das ações de melhoria nas linhas de montagem da área SMT da HFA.	31
Figura 4.13. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos na linha 1.	33
Figura 4.14. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 1.....	34
Figura 4.15. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos na linha 2.	35
Figura 4.16. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 2.....	36
Figura 4.17. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos na linha 3.	37

Figura 4.18. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 3.....	38
Figura 4.19. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos na linha 4.	39
Figura 4.20. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 4.....	40
Figura 4.21. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos na linha 5.	41
Figura 4.22. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 5.....	42
Figura 4.23. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos na linha 7.	43
Figura 4.24. Desvios dos tempos de <i>setup</i> em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 7.....	44
Figura A.1. Separador “ <i>Feeders</i> por Localização” da aplicação <i>Feeders Management System</i>	47
Figura A.2. Separador “ <i>Editar Linhas</i> ” da aplicação <i>Feeders Management System</i>	48
Figura A.3. Separador “ <i>Editar Oficina</i> ” da aplicação <i>Feeders Management System</i>	48
Figura A.4. Separador “ <i>Editar Feeders</i> ” da aplicação <i>Feeders Management System</i>	49
Figura A.5. Base de Dados dos Produtos da aplicação <i>Feeders Management System</i>	49
Figura B.1. Aplicação de monitorização das linhas de montagem (descrição geral).	50
Figura B.2. Aplicação de monitorização das linhas de montagem (planeamento semanal por linha).	51
Figura C.1. Exemplo da identificação dos <i>feeders</i> de bobine por códigos de barras.	52
Figura D.1. <i>Front-end</i> da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i>	53
Figura D.2. <i>Front-end</i> da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i> – Introdução de dados.	54
Figura D.3. <i>Front-end</i> da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i> – Emparelhamento.....	54
Figura D.4. <i>Front-end</i> da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i> – Setup Final.....	55
Figura D.5. <i>Front-end</i> da Bancada de Preparação de <i>Feeders</i> – Setup Final (remover <i>feeders</i>).	55
Figura D.6. <i>Front-end</i> da Linha de Assemblagem (introdução de dados).	56
Figura D.7. <i>Front-end</i> da Linha de Assemblagem (menu intermédio).	56
Figura D.8. <i>Front-end</i> da Linha de Assemblagem (colocação no sistema <i>Pick & Place</i>)..	57
Figura D.9. <i>Front-end</i> da Linha de Assemblagem (verificação – “Não OK!”).	57
Figura D.10. <i>Front-end</i> da Linha de Assemblagem (verificação – “OK!”).	58
Figura D.11. <i>Front-end</i> da Linha de Assemblagem (verificação terminada).....	58
Figura D.12. Dados recolhidos da aplicação de verificação de linha.	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Principais ferramentas <i>Lean</i>	7
Tabela 2.2. Benefícios diretos e indiretos da metodologia SMED (Moreira e Pais, 2011). 12	
Tabela 4.1. Sistemas <i>Pick & Place</i> presentes na HFA.	21
Tabela 4.2. <i>Feeders</i> de bobine disponíveis na HFA.....	22
Tabela 4.3. Operações de <i>setup</i> nos sistemas <i>Pick & Place</i> da empresa HFA.....	23
Tabela 4.4. Ordens de fabrico realizadas em 2015 nas linhas de montagem da área SMT da HFA.	24
Tabela 4.5. Ordens de fabrico realizadas na linha 1.....	33
Tabela 4.6. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 1.	34
Tabela 4.7. Ordens de fabrico realizadas na linha 2.....	35
Tabela 4.8. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 2.	36
Tabela 4.9. Ordens de fabrico realizadas na linha 3.....	37
Tabela 4.10. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 3.	38
Tabela 4.11. Ordens de fabrico realizadas na linha 4.....	39
Tabela 4.12. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 4.	40
Tabela 4.13. Ordens de fabrico realizadas na linha 5.....	41
Tabela 4.14. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 5.	42
Tabela 4.15. Ordens de fabrico realizadas na linha 7.....	43
Tabela 4.16. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 7.	44
Tabela C.1. Identificação dos <i>feeders</i> de bobine (Anterior vs Atual).	52

SIGLAS

AOI – Automated Optical Inspection

HFA – Henrique, Fernando e Alves, S.A.

IED – Internal Exchange of Die

MIT – Massachusetts Institute of Technology

OED – Outer Exchange of Die

PCB – Printed Circuit Board

SMD – Surface Mount Devices

SMED – Single Minute Exchange of Die

SMT – Surface Mount Technology

SPI – Solder Paste Inspection

THT – Through Hole Technology

VBA – Visual Basic for Applications

1. INTRODUÇÃO

No passado, a montagem de placas de circuito impresso (PCB) era vista como um exemplo de produção em massa. Contudo, fatores tecnológicos e competitivos obrigaram as empresas deste sector a adaptarem-se a uma nova realidade. Onde são confrontadas com produções diversificadas e em pequenos lotes, o que origina várias mudanças de *setup*, podendo estas corresponder a mais de 50 % do tempo total de produção (Trovinger e Bohn, 2005).

1.1. Enquadramento e Objetivos

Nos dias de hoje, o tecido empresarial encontra-se cada vez mais globalizado e competitivo, onde a qualidade, o custo, a variedade e o cumprimento dos prazos de entrega são fatores primordiais para o cliente. Assim sendo, para melhor responder a estas exigências as empresas necessitam de encontrar estratégias para tornar os seus processos mais flexíveis, eficazes e eficientes (Shingo, 1985).

O trabalho aqui presente foi elaborado no âmbito da dissertação em Engenharia e Gestão Industrial, integrada no plano curricular do mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, e tem como objetivo descrever e sistematizar a implementação da metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED) na área *Surface Mount Technology* (SMT) da empresa HFA – Henrique, Fernando e Alves, S.A., identificando as ações de melhoria, os resultados obtidos, bem como as dificuldades sentidas durante a implementação.

1.2. Estrutura e Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

Este primeiro capítulo apresenta uma introdução ao trabalho, abordando os objetivos e a importância do mesmo.

O segundo capítulo remete-se ao enquadramento teórico, as bases conceptuais que sustentam este trabalho.

O terceiro capítulo apresenta a empresa, a estrutura organizacional e o processo produtivo.

O quarto capítulo aborda a implementação da metodologia SMED, as ações de melhoria, resultados obtidos e dificuldades sentidas ao longo do trabalho.

Por último, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como algumas sugestões de melhoria a desenvolver futuramente.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo tem como premissa apresentar as principais definições e conceitos teóricos abordados ao longo desta dissertação. Estando estes relacionados com a filosofia *Lean Thinking*, torna-se fundamental entender a sua origem e evolução até aos nossos dias, bem como as suas principais ferramentas. E tendo em consideração o principal objetivo deste trabalho, a metodologia SMED será alvo de uma apresentação mais aprofundada.

2.1. Lean Thinking

2.1.1. Resumo Histórico

A origem do que é comum hoje designar-se por *Lean Thinking*, ainda é assunto de grandes debates na comunidade científica.

O termo “*Lean*” foi utilizado pela primeira vez por John Krafcik em 1988 no artigo “*Triumph of the Lean Production System*” baseado na sua tese de mestrado na *Sloan School of Management* do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), onde trabalhou sob a orientação de Jim Womack no *International Motor Vehicle Program* do MIT. Este último foi coautor daquela que ainda hoje é considerada a principal obra relacionada com esta temática, “*The Machine that Changed the World*”.

No entanto, o que sustenta esta corrente de pensamento é fruto de uma ligação intrínseca à evolução industrial.

“*No new idea springs full-blown from a void. Rather, new ideas emerge from a set of conditions in which old ideas no longer seem to work.*” (Womak et al, 1990).

Em pleno século XVIII, Benjamin Franklin, em publicações como “*Poor Richard’s Almanack*” e “*The Way to Wealth*”, já descrevia um conjunto de princípios para regular desperdícios baseados no senso comum. No final do século XIX, Frank e Lilian Gilbreth conduziram um estudo de tempos e movimentos com objetivo de simplificar e

agilizar as tarefas dos trabalhadores. No século XX, Frederick Winslow Taylor foi pioneiro nos conceitos de padronização e divisão do trabalho para atingir o máximo em eficiência. Mais tarde, na década de 1920, Henry Ford deu origem ao conceito que veio transformar drasticamente o mundo da indústria, a produção em massa, introduzindo também as linhas de produção.

Todos estes contributos fazem parte da evolução da filosofia *Lean Thinking*, contudo, o principal contributo surge após a 2ª Guerra Mundial.

O Japão encontrava-se totalmente destruído, com poucos recursos e sem argumentos para rivalizar com a indústria ocidental que dominava o mercado. Nesta situação, a *Toyota Motors Company* concluiu que a única forma de sobreviver seria apostar na variedade do produto, mantendo a qualidade e diminuindo o custo. Assim na década de 1950, surge o denominado *Toyota Production System*, onde Taichi Ohno e a sua equipa de engenheiros reuniram um conjunto de ideias orientadas à otimização dos processos produtivos, através da maximização do valor e a minimização do desperdício.

Nos anos que se seguiram, a superioridade operacional da Toyota não passou despercebida, mas só em 1990 é dada a globalização desta filosofia através da obra de Womack et al (1990), "*The Machine that Changed the World*", onde foi apresentado um estudo da indústria automóvel a nível mundial, dando especial atenção aos métodos de gestão da indústria automóvel japonesa.

Desde então, o *Lean Thinking* foi implementado no mais variado tipo de indústria e serviços a nível mundial.

2.1.2. Conceito

Ao longo dos anos surgiram várias termologias *Lean*, porém, todas têm os mesmos fundamentos. Segundo Womack e Jones (2003), a filosofia *Lean* pretende alcançar a forma mais eficaz, através da melhoria contínua de processos, de realizar determinada tarefa sem interrupções, especificando o respetivo valor e eliminado todas aquelas que não acrescentam valor, sem nunca esquecer as necessidades dos clientes.

"All we are doing is looking at the time line from the moment the customer gives us an order to the point when we collect the cash. And we are reducing that time line by removing the non-value-added wastes." (Ohno, 1988)

2.1.3. Princípios

Womack e Jones (2003) identificaram cinco princípios base da filosofia *Lean Thinking* e funcionam como um *roadmap* para a implementação desta filosofia nas organizações.



Figura 2.1. Ciclo da filosofia *Lean Thinking* (Lean Enterprise Institute, 2016).

- 1. Definir Valor** – Qualquer organização depende da criação de valor e este deve ser analisado na perspectiva do cliente. Ou seja, clarificar quais são as atividades do processo produtivo que o cliente está disposto a pagar e aquelas que não valoriza.
- 2. Definir a Cadeia de Valor** – Identificar e estudar todo o ciclo de vida de um determinado produto de modo a determinar todas as atividades resultantes do mesmo, desde o fornecedor ao cliente final. Esta análise visa dividir essas atividades em três tipos: (1) – aquelas que efetivamente acrescentam valor; (2) – aquelas que não acrescentam valor, mas que são inevitáveis, tais como, a manutenção e a qualidade; (3) – aquelas que não acrescentam valor e que devem ser prontamente eliminadas.
- 3. Otimizar Fluxo** – Consiste na organização da cadeia de valor para eliminar qualquer atividade que não acrescenta valor e desta forma criar um fluxo de produção contínuo, que permita uma resposta mais rápida e eficaz às necessidades do mercado.

4. **Sistema Pull** – Este sistema tem como objetivo de produzir apenas aquilo que é necessário, ou seja, satisfazer a procura requerida pelo cliente.

“Provide your downline customers in the production process with what they want, when they want it, and in the amount they want.” (Liker, 2004)

5. **Perfeição** – Também referido por “melhoria contínua”, procura a atingir a perfeição através da implementação de métodos para criação de valor e eliminação de desperdícios. Pressupõem a assimilação de uma cultura organizacional de melhoria constante, sendo transversal a todos os princípios desta filosofia.

2.1.4. Tipos de Desperdício

O conceito de desperdício, com a sua origem no termo japonês “*Muda*”, é toda e qualquer atividade que consome recursos, mas que não cria nenhum valor (Womack e Jones, 2003). Segundo Taiichi Ohno (1988), existem sete tipos de desperdícios, nomeadamente:

- **Excesso de produção ou sobreprodução** – Quando são produzidas quantidades superiores ao requerido, o que origina um aumento de custos de *stock*, quer de matéria-prima, quer de produto acabado. Normalmente, acontece como forma de diminuir os custos de *setup* e antecipar eventuais aumentos da procura, bem como compensar a existência de produtos defeituosos.
- **Espera** – Corresponde aos períodos de inatividade, ou seja, tempo perdido à espera de ordens, materiais, resolução de avarias e pode ainda estar relacionado com problemas de *layout*.
- **Transporte** – Considera-se transporte todo o movimento de bens e pessoas entre dois pontos, através de um determinado meio ou mecanismo. Como é uma atividade que não acrescenta qualquer tipo de valor ao produto final, torna-se fundamental eliminar ou reduzir qualquer transporte desnecessário.
- **Excesso de processamento** – Processos desnecessários ou que não estavam previstos na conceção do produto e que na perspetiva do cliente não acrescentam valor e pelas quais não está disposto a pagar. Prende-se

sobretudo com a fraca conceção de produtos ou a não conformidade com as especificações de qualidade, obrigando por vezes o seu reprocessamento.

- **Stocks** – Consequência do excesso de produção e consiste na posse de matérias-primas, produtos semiacabados ou produtos acabados, durante um determinado período de tempo.
- **Movimentação** – Resulta da movimentação excessiva e desnecessária dos operadores, provocada por um mau planeamento de tarefas ou ainda pela falta de adaptação do *layout* às deslocações requeridas.
- **Defeitos** – Produtos defeituosos revelam problemas nas fases de processamento, problemas de qualidade do produto ou baixo desempenho.

2.1.5. Ferramentas

À medida que a filosofia *Lean Thinking* vai sendo objeto de estudo e implementada em diferentes ambientes industriais, vão surgindo várias ferramentas, mas que no seu núcleo mantêm as mesmas ideias-chave, a maximização da produtividade, flexibilidade e agilização de processos, gerando ações que criam valor e que tornam os processos mais eficazes e rentáveis. Na Tabela 2.1, são apresentadas algumas das principais ferramentas *Lean*.

Tabela 2.1. Principais ferramentas *Lean*.

Ferramenta	Breve Descrição
<i>Value Stream Mapping / Value Stream Analysis</i>	Ferramenta que permite a visualização de toda a cadeia de valor, sendo assim possível determinar grande parte dos desperdícios num processo ou conjunto de processos.
5S	Ferramenta que constitui um guia de boas práticas para ter um posto de trabalho limpo e organizado de modo a maximizar as condições para a realização de uma determinada tarefa e reduzir o desperdício.
<i>Total Productive Maintenance</i>	Ferramenta orientada no sentido de incentivar o operador a efetuar pequenas operações de manutenção, de modo a que a condição normal do funcionamento dos equipamentos seja assegurada.
<i>Poka-Yoke</i>	Ferramenta que consiste na criação de sistemas à prova de erros.
SMED	Ferramenta utilizada para a redução dos tempos de <i>setup</i> .

2.2. Metodologia SMED

Segundo Shingo (1985), uma das maiores dificuldades que as empresas enfrentam é causada por uma produção muito diversificada associada a um baixo volume. O que acaba por originar várias mudanças de *setup*, durante as quais não se produz, apenas se aumenta o custo e o tempo. Assim como tal deve ser entendido como desperdício e reunir esforços para o eliminar.

E da necessidade de colmatar estas dificuldades, surgiu a metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED), baseada em conceitos teóricos e técnicos para a realização das tarefas de *setup* em menos de 10 minutos, ou seja, de acordo com o nome da metodologia, num número de minutos representado apenas por um algarismo. E mesmo quando não é possível reduzir esses tempos para valores inferiores a 10 minutos, esta metodologia garante normalmente reduções significativas. A título de exemplo, pode-se citar:

“Single-minute setup is popularly known as the SMED system, SMED being an acronym for Single-Minute Exchange of Die. The term refers to a theory and techniques for performing setup operations in under ten minutes, i.e., in a number of minutes expressed in a single digit. Although not every setup can literally be completed in single-digit minutes, this is the goal of the system described here, and it can be met in a surprisingly high percentage of cases. Even where it cannot, dramatic reductions in setup time are usually possible.” (Shingo, 1985)

2.2.1. Resumo Histórico

A metodologia SMED foi concebida e desenvolvida ao longo de 19 anos, nas décadas de 1950 e 1960, por Shingeo Shingo, através da realização de consultoria a várias empresas japonesas.

A evolução desta metodologia ficou marcada por três grandes momentos. O primeiro ocorreu na empresa *Toyo Kogyo's Mazda*, em 1950, na cidade de Hiroshima. Ao analisar a troca de matrizes de uma prensa, Shingo identificou e classificou como **setup interno** (IED – *Internal Exchange of Die*), o conjunto de operações que só podem ser realizadas com a máquina parada e como **setup externo** (OED – *Outer Exchange of Die*), o conjunto de operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento. Esta classificação e separação das operações aumentou a eficiência da prensa em 50%.

O segundo grande momento foi em 1957, desta vez na empresa *Mitsubishi Heavy Industries*, na cidade de Hiroshima, onde Shingo foi convidado para realizar uma análise ao processo produtivo. E dessa análise surgiu o conceito da duplicação de ferramentas para que o *setup* fosse realizado separadamente, o que originou um aumento de 40% na produtividade.

E por último, em 1969, na empresa *Toyota Motors Company*, onde existia uma prensa que necessitava de quatro horas para efetuar cada mudança de *setup*, quando comparativamente uma prensa similar na empresa *Volkswagen*, na Alemanha, apenas necessitava de duas horas. Numa primeira fase, Shingo conseguiu reduzir esse tempo para noventa minutos, apenas com a definição de operações internas e externas, mas a direção da *Toyota* exigiu uma redução mais elevada. No seguimento desta exigência, surgiu o conceito de conversão do *setup* interno em *setup* externo e assim conseguiram reduzir o tempo de *setup* dos noventa minutos para apenas três minutos.

Posteriormente, este método foi implementado em todas as empresas do grupo *Toyota* e continuou a evoluir como uma das principais ferramentas do *Toyota Production System*. Com o despoletar da filosofia *Lean Thinking*, a metodologia SMED foi implementada com sucesso em diversas empresas um pouco por todo mundo.

2.2.2. Etapas Conceptuais

Segundo Shingo (1985), a metodologia SMED é uma abordagem científica para a redução dos tempos de *setup*, que pode ser implementada em qualquer empresa e em qualquer equipamento. A sua implementação deve ser realizada de uma forma faseada, constituída por quatro etapas, que se encontram sintetizadas na Figura 2.2 e descritas de seguida.

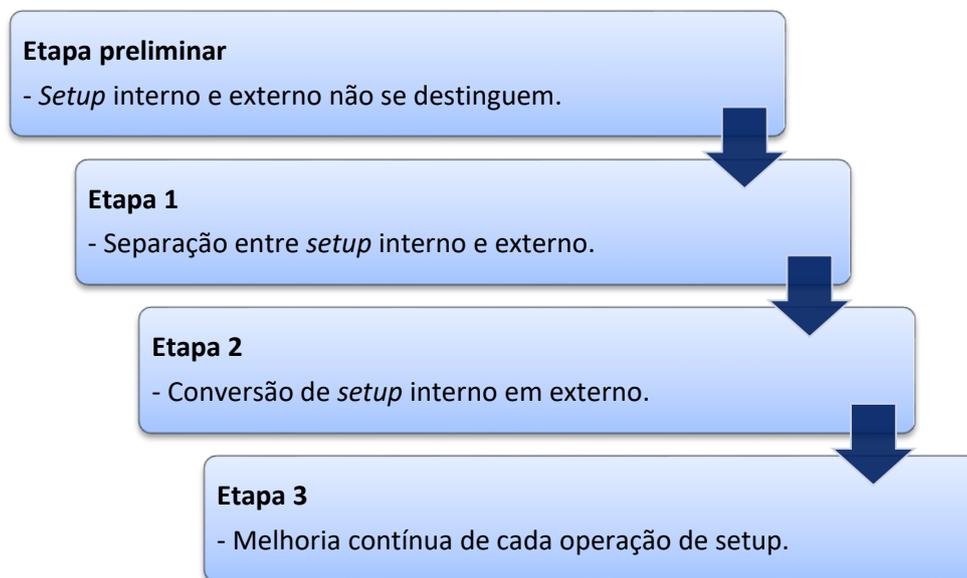


Figura 2.2. Etapas conceptuais da metodologia SMED (Shingo, 1985).

- **Etapa preliminar** – Tem como objetivo efetuar uma análise da situação atual, recolhendo informações relativamente ao processo, às operações realizadas durante o *setup* e à medição dos respetivos tempos. Nesta etapa é essencial sensibilizar os operadores e envolvê-los, visto que estes são os que conhecem melhor os equipamentos e podem sugerir novas ideias para melhorar o processo.
- **Etapa 1** – Classificação, separação e organização de todas as operações de *setup* como internas e externas, procurando desde logo identificar oportunidades de melhoria. De acordo com Shingo (1985), esta etapa é muito

importante, podendo contribuir para uma redução dos tempos de *setup* na ordem dos 30%-50%.

- **Etapa 2** – Converter o *setup* interno em externo, tendo em consideração os pontos seguintes:
 - Reexaminar a classificação das operações de *setup*, para verificar se alguma foi definida incorretamente como interna;
 - Encontrar meios de transformar operações internas em externas.
- **Etapa 3** – Esta última etapa tem como objetivo a melhoria contínua das operações de *setup*, sejam elas internas ou externas, desenvolvendo soluções para otimizar e simplificar essas operações.

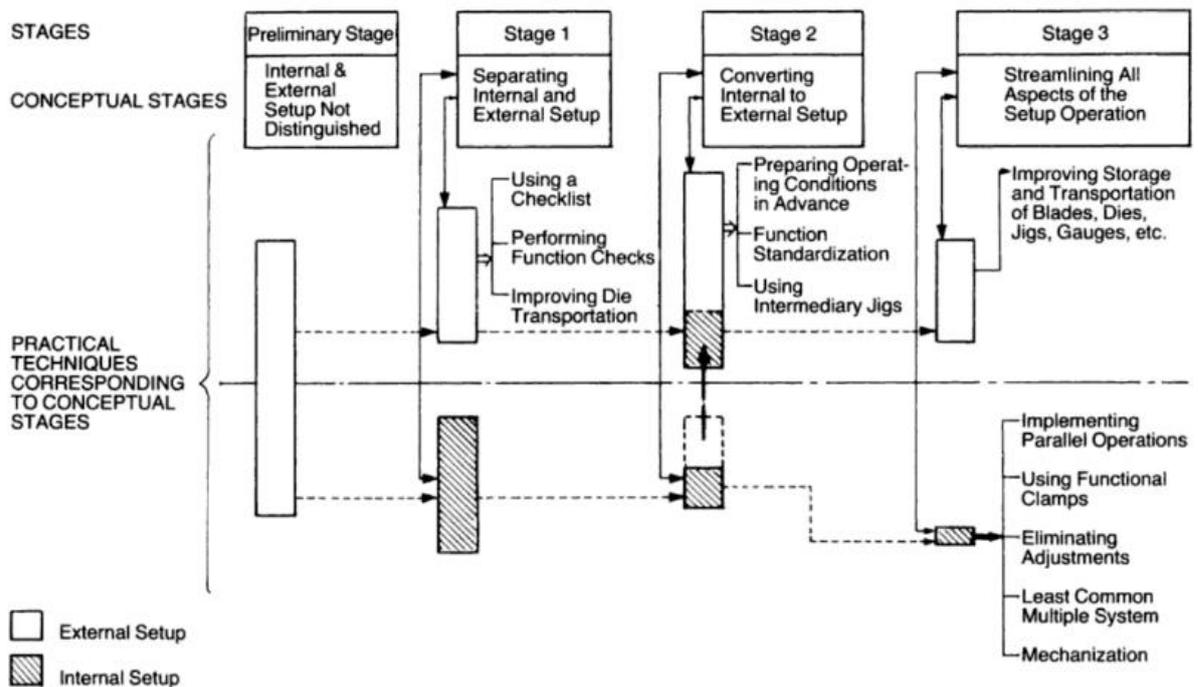


Figura 2.3. Etapas conceituais e técnicas aplicáveis da metodologia SMED (Shingo, 1985).

2.2.3. Benefícios

Moreira e Pais (2011) basearam-se na obra de Shingo e separaram os principais benefícios da implementação da metodologia SMED em diretos e indiretos, como demonstrado na tabela seguinte.

Tabela 2.2. Benefícios diretos e indiretos da metodologia SMED (Moreira e Pais, 2011).

Benefícios Diretos	<ul style="list-style-type: none">• Redução do tempo de <i>setup</i>.• Redução do tempo dedicado a ajustes.• Redução dos erros de <i>setup</i>.• Aumento da segurança.
Benefícios Indiretos	<ul style="list-style-type: none">• Redução de <i>stocks</i>.• Aumento da flexibilidade produtiva.• Padronização das operações.

Além destes benefícios, Shingo (1985) refere alguns efeitos inerentes à implementação desta metodologia, tais como:

- Aumento da taxa de retorno do capital investido;
- Ocupação mais eficiente do espaço reservado ao armazenamento;
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos;
- Aumento da capacidade produtiva;
- Aumento da qualidade dos produtos;
- Redução da despesa com investimento;
- Redução da necessidade de pessoal qualificado;
- Redução do tempo de produção.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A HFA – Henrique, Fernando & Alves, S.A. é uma empresa que se dedica à montagem e teste de equipamento eletrónico e de telecomunicações, em regime de subcontratação.

Fundada a 25 de Maio de 1995, a sigla HFA, tem como génese o nome dos seus três sócios fundadores, Henrique Ferreira, Fernando Pereira e Carlos Alves.

Para acompanhar a constante e rápida evolução do mercado da eletrónica e telecomunicações, a estrutura da HFA foi sendo moldada consoante as necessidades e exigências crescentes, disponibilizando meios humanos e técnicos adequados, com o auxílio de tecnologia inovadora e eficiente para a execução da montagem e teste dos produtos, garantindo desta forma a qualidade e funcionalidade dos mesmos de acordo com os requisitos dos clientes. O processo produtivo é facilmente adaptável às necessidades de cada cliente, permitindo entregar um produto totalmente customizado.

A HFA atua, essencialmente, em quatro segmentos de mercado distintos, nomeadamente: telecomunicações, indústria de transportes, eletrónica geral e reparações.

A HFA tem o seu Sistema de Gestão da Qualidade certificado pelas normas ISO/TS 16949:2009 e ISO 9001:2008, procurando sempre a otimização dos processos e recursos, enquanto fatores de melhoria contínua.

Tem uma forte presença no mercado nacional e internacional. Os seus principais mercados de exportação estão dispersos por quatro continentes, cerca de 20 países, onde se destacam o mercado Francês e Alemão.

As instalações da HFA estão localizadas na Zona Industrial de Oronhe, em Espinhel, concelho de Águeda, distrito de Aveiro e atualmente conta com 184 colaboradores, distribuídos por uma área dedicada à produção de 4 200 m² (7 500 m² de área total) e tem um capital social de 1 500 000,00 euros.

3.1. Estrutura Organizacional da Empresa

A empresa HFA apresenta-se organizada em seis departamentos:

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

A estrutura da empresa encontra-se distribuída de acordo com o organograma apresentado na Figura 3.1.

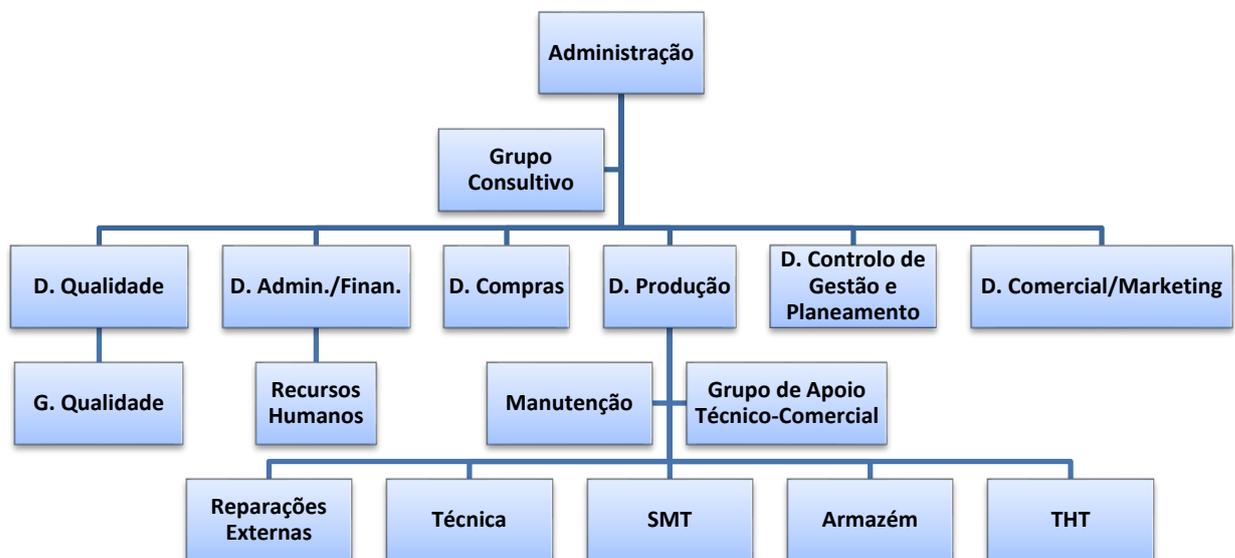


Figura 3.1. Organograma da empresa HFA.

3.2. Processo Produtivo

A empresa HFA tem um processo produtivo que assenta em cinco áreas distintas:

- Armazém:
 - Receção, etiquetagem e registo do material;
 - Armazenamento de componentes;
 - Separação e identificação de *stock* HFA e *stock* propriedade do cliente;
 - Controlo de *stocks*;
 - Formatação manual e maquinada de acordo as especificações de cada cliente;
 - Verificação e controlo de qualidade do material.
- *Surface Mount Technology* (SMT):
 - Assemblagem de componentes compatíveis com este método;
 - Capacidade de colocação de 350 000 componentes/hora;
 - Possibilidade de assemblagem de componentes em ambas as faces das PCBs;
 - Inspeção automatizada.
- *Through Hole Technology* (THT):
 - Assemblagem de componentes de forma tradicional (manualmente);
 - Soldadura por onda e seletiva;
 - Acabamentos: montagem e soldadura de painéis, baterias, fichas e todos os componentes que não possam estar sujeitos a altas temperaturas;
 - Corte de painel em PCB individualizado;
 - Lavagem, colagem e envernizamento manual de PCBs.

- Testes:
 - Testes funcionais;
 - Programação de componentes;
 - Registo quantitativo e qualitativo das PCBs testadas.
- Embalagem:
 - Embalagem do produto final de acordo com as especificações do cliente;
 - Cablagem e montagem de painéis;
 - Envernizamento automático;
 - Impressões manuais e números de série.

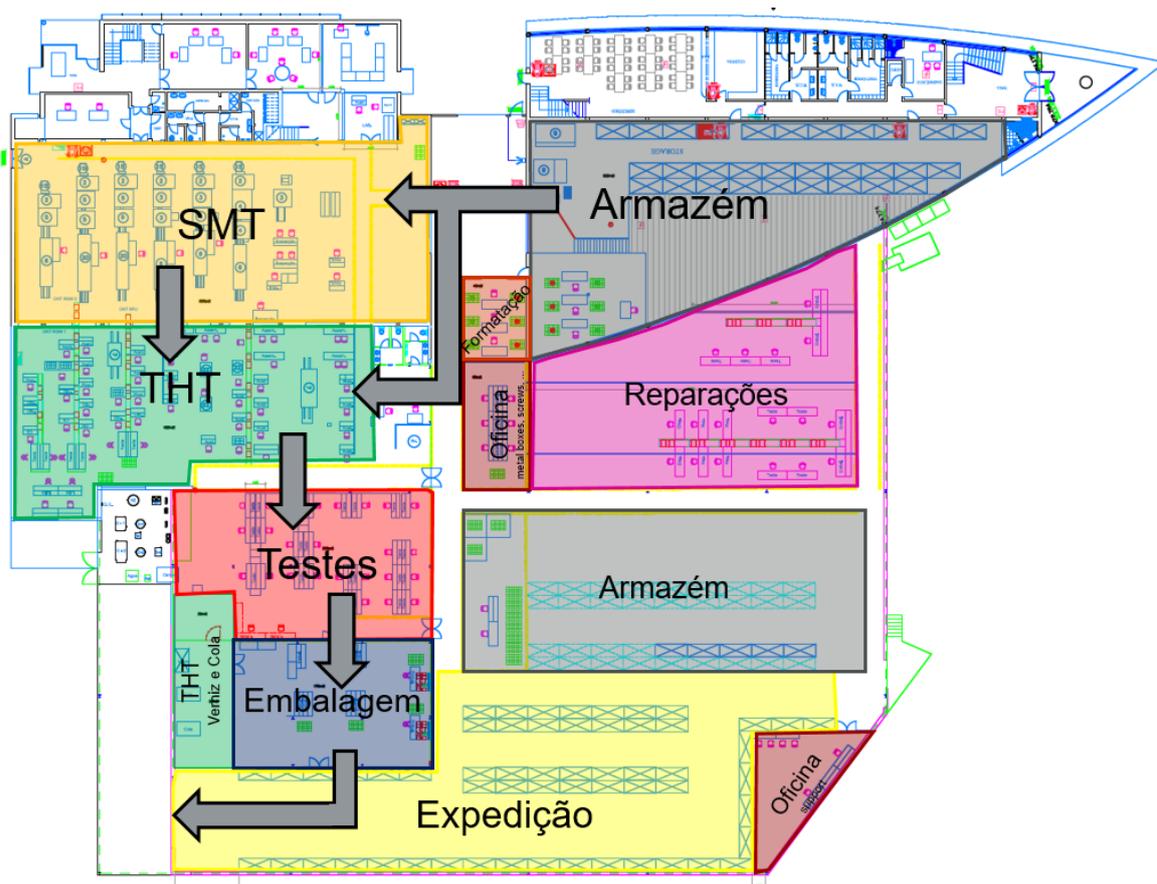


Figura 3.2. Layout com o fluxo do processo produtivo da HFA.

Além dos serviços inerentes a estas áreas, a HFA também disponibiliza aos seus clientes outros serviços, tais como reparações, protótipos e apoio à industrialização.

3.3. Área SMT

A área SMT é assim denominada devido ao uso da tecnologia de montagem de circuitos eletrônicos *Surface Mount Technology*, onde os componentes são montados diretamente sobre a superfície da PCB, o que permite o aproveitamento de ambas as faces da placa.

A área SMT da empresa HFA é composta por:

- Sete linhas de montagem, sendo que uma das quais é dedicada a protótipos;
- Dois postos de inspeção AOI (*Automated Optical Inspection*)/retrabalho;
- Seis postos de inspeção visual/retrabalho;
- Um posto dedicado à inspeção da pasta de solda (*SPI – Solder Paste Inspection*);
- Uma zona dedicada à inspeção por Raio X.

3.3.1. Linhas de Assemblagem

As linhas de montagem na HFA, com a exceção da linha 7 (dedicada a protótipos), são constituídas por equipamentos de carga e descarga de placas (*Loader* e *Unloader*), uma impressora de telas (*Printer*) que deposita a solda sobre as placas, sistemas *Pick & Place*, onde os componentes são colocados com precisão nas placas e por um forno de soldadura por refluxo, distribuídos conforme exemplificado na Figura 3.3.

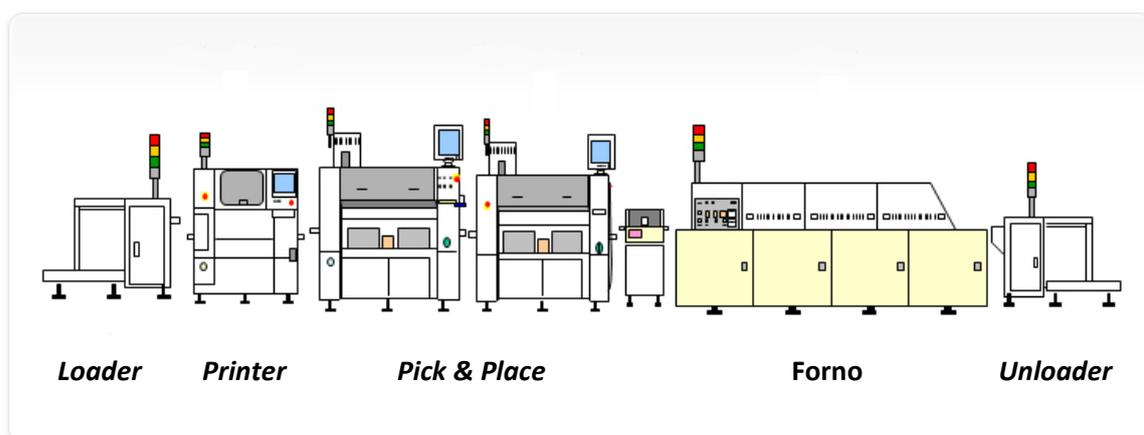


Figura 3.3. Equipamentos de uma linha SMT.

3.3.2. Fluxograma Operacional da Área SMT

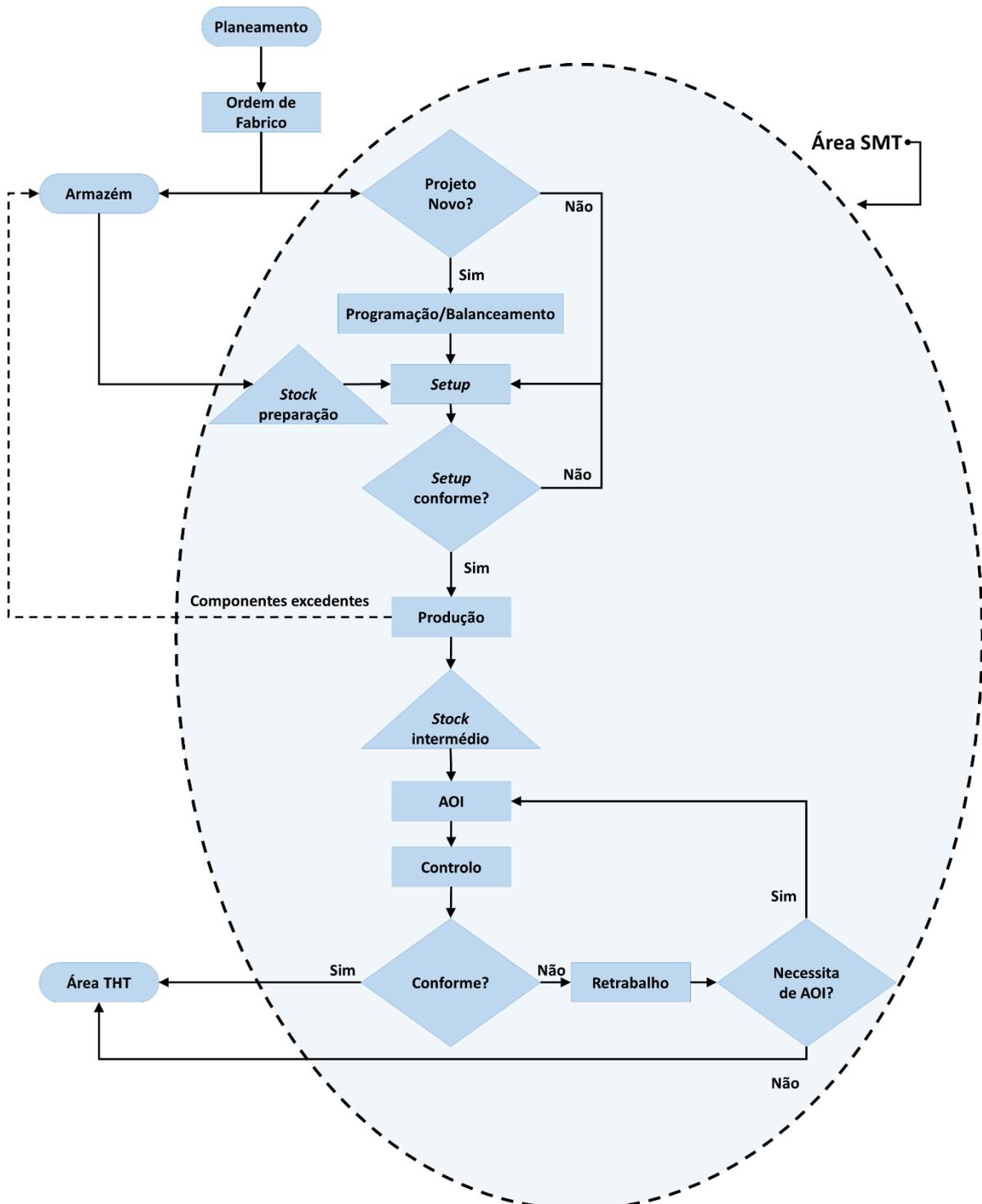


Figura 3.4. Fluxograma operacional da área SMT da HFA.

4. IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA SMED NA ÁREA SMT

Neste capítulo pretende-se analisar e implementar a metodologia SMED nas operações de *setup* das linhas de montagem na área SMT da empresa HFA.

Segundo Farlow (2005), os tempos de *setup* das impressoras de telas e dos sistemas *Pick & Place* são os mais relevantes. O tempo despendido para alteração dos padrões do forno de soldadura por refluxo não representam grande expressão no *setup* de uma linha de montagem de circuitos eletrônicos, sendo mesmo desprezável em comparação com os anteriores.

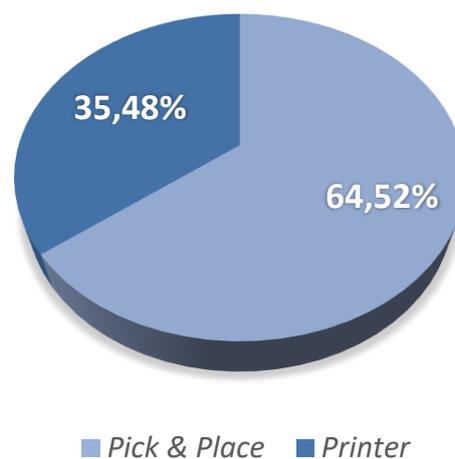


Figura 4.1. Distribuição do tempo de *setup* de uma linha de montagem de circuitos eletrônicos (Farlow, 2005).

Tendo em consideração o gráfico da Figura 4.1, onde se verifica que os sistemas *Pick & Place* são aqueles que apresentam um maior peso no tempo de *setup*, este trabalho apenas se irá concentrar em reduzir os tempos de *setup* relativamente aos sistemas *Pick & Place* de modo a obter resultados mais significativos.

4.1. Sistemas *Pick & Place*

Após a colocação da pasta de solda através da impressora de telas, as PCBs seguem para o sistema *Pick & Place*. O qual consiste na recolha dos componentes e a sua correta colocação nas PCBs através de sucção por vácuo, este é auxiliado por unidades de comando/programação e por um sistema de controlo visual que garante a correta colocação dos componentes.

Os componentes, normalmente acondicionados em bobines, são fornecidos através de *feeders*, que por sua vez, são alocados nos sistemas *Pick & Place*. Para além destes *feeders* de bobine existe também a possibilidade dos sistemas *Pick & Place* serem alimentados através de um tabuleiro ou por um *feeder* vibratório de *sticks*.



Figura 4.2. Sistema *Pick & Place* Samsung SM471 (Samsung C&T Automation).

Na empresa HFA existem doze sistemas *Pick & Place* distribuídos por sete linhas de montagem de circuitos eletrônicos conforme apresentado na Tabela 4.1.

Cada linha tem características distintas, dependendo dos equipamentos e do tipo de *feeders* utilizados.

Tabela 4.1. Sistemas *Pick & Place* presentes na HFA.

Linha de Assemblagem HFA	Marca	Modelo	Capacidade (com feeder de 8 mm)	Feeder Compatível (por linha)
1	Samsung	SM471	120	Elétrico
		SM482	120	Tabuleiro
2	Samsung	SM241C	104	Mecânico Tabuleiro <i>Stick</i>
3	Samsung	SM411	120	Elétrico
		SM421	120	Tabuleiro
4	Samsung	CP45FV	104	Mecânico Tabuleiro
		NEO		
		CP45FV	104	<i>Stick</i>
		NEO		
5	Samsung	SM411	120	Elétrico
		SM421C	104	Mecânico Tabuleiro <i>Stick</i>
6	JUKI	FX-3	120	JUKI
		KE-2080L	80	Tabuleiro
7	Samsung	CP45FV	104	Mecânico Tabuleiro <i>Stick</i>

4.1.1. Tipos de *Feeders*

Existem, de um modo geral, três tipos de *feeders* (Figura 4.3):

- *Feeders* de bobine;
- *Feeders* de tabuleiro;
- *Feeders* vibratórios de *sticks*.

Contudo, na HFA, além desta distinção, os *feeders* de bobine estão divididos em elétricos, mecânicos e JUKI.

Os *feeders* elétricos e mecânicos destinam-se aos sistemas da marca *Samsung* compatíveis e os JUKI aos sistemas da marca com o mesmo nome. Nos *feeders* mecânicos, o “*push*” (impulso para o componente da bobine avançar) é realizado de forma pneumática através do sistema *Pick & Place* e nos *feeders* elétricos o “*push*” é realizado pelo próprio

feeder, recebendo apenas a ordem do sistema *Pick & Place*, por consequência este último tem um tempo de resposta mais rápido.

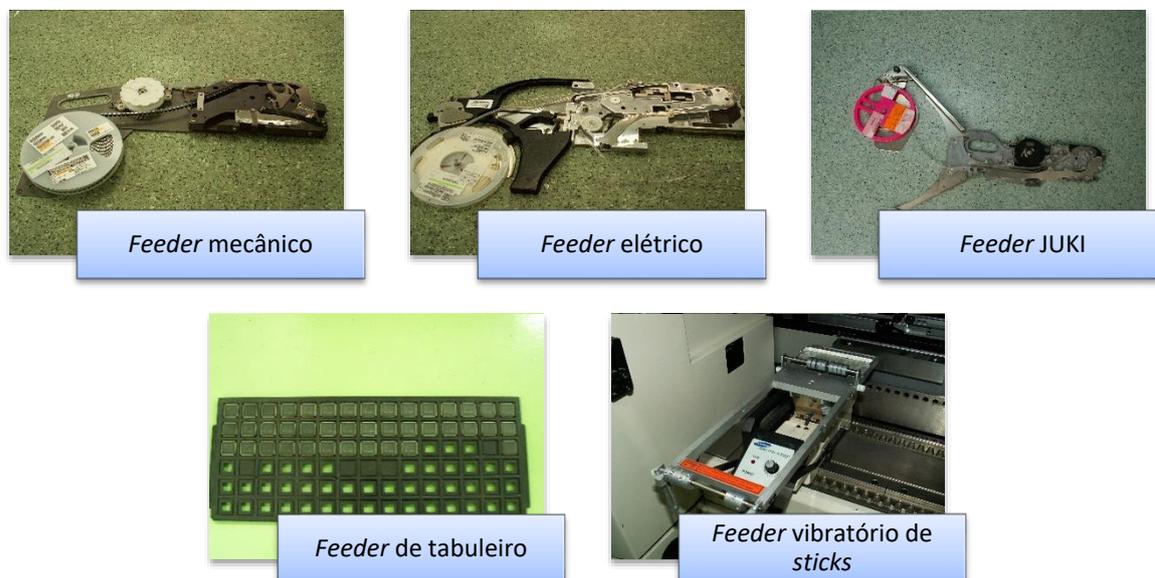


Figura 4.3. Diferentes tipos de *feeders* utilizados na HFA.

Tabela 4.2. *Feeders* de bobine disponíveis na HFA.

Tamanho (espessura da bobine)	Quantidades por Tipo de <i>Feeders</i>		
	Mecânicos	Elétricos	JUKI
4 mm	94	288	68
8 mm	178	147	76
12 mm	42	37	24
16 mm	30	13	21
24 mm	11	3	10
32 mm	4	2	3
44 mm	8	3	2
56 mm	2	-	-

4.2. Análise da Situação Inicial

Antes de implementar qualquer alteração é essencial analisar a situação atual, recolher informações relativamente ao processo, às operações de *setup*, recolher os testemunhos dos operadores e realizar medições dos tempos.

Nesta fase, foram identificadas as várias operações de *setup* nos sistemas *Pick & Place* e foi efetuada uma análise ao histórico dos tempos registados no sistema de recolha de picagens da empresa. Optou-se por recorrer a este sistema de recolha de picagens devido à vasta gama de produtos produzidos, ao tipo e quantidade variável de *feeders* necessários, sendo assim possível obter resultados mais próximos da realidade produtiva das linhas de montagem da área SMT.

Na Tabela 4.3 encontram-se descritas as operações de *setup* verificadas nos sistemas *Pick & Place*, de salientar que todas as operações eram realizadas com a respetiva linha de montagem inativa.

Além da identificação das várias operações, também se procedeu à classificação destas como operações internas ou externas, verificando desta forma que a preparação dos *feeders* poderia ser realizada previamente e separadamente, diminuindo o tempo de inatividade das linhas de montagem (1, 2, 3, 8 e 9 da Tabela 4.3).

Tabela 4.3. Operações de *setup* nos sistemas *Pick & Place* da empresa HFA.

Operação de Setup		Classificação
1	Obter a ordem de fabrico;	Operação externa
2	Obter os componentes pré-selecionados pelo Armazém do <i>stock</i> de preparação;	Operação externa
3	Selecionar e preparar os <i>feeders</i> adequados de acordo com o tipo de embalagem dos componentes (bobine, stick ou tabuleiro) e respetivo tamanho;	Operação externa
4	Alocar os <i>feeders</i> no sistema <i>Pick & Place</i> nas <i>slots</i> pré-definidas de acordo com a programação e/ou balanceamento;	Operação interna
5	Verificar se os <i>feeders</i> estão nas <i>slots</i> corretas;	Operação interna
6	Realizar ajustes na programação, caso seja necessário;	Operação interna
7	Retirar os <i>feeders</i> do sistema <i>Pick & Place</i> ;	Operação interna
8	Remover as bobines, <i>sticks</i> e tabuleiros dos <i>feeders</i> correspondentes;	Operação externa
9	Enviar os componentes excedentários e rejeitados para o Armazém.	Operação externa

Para concluir esta análise inicial, foram analisados os dados referentes ao ano de 2015 de todas as linhas de montagem da área SMT.

Os desvios dos tempos de *setup* foram calculados tendo em conta os valores estimados previamente aquando a orçamentação, onde são considerados fatores tais como: o tamanho do lote, o número de componentes, tipo de embalagem dos componentes, características da linha de montagem, entre outros.

No gráfico da Figura 4.4, os desvios dos tempos de *setup* estão divididos em intervalos percentuais, onde a cor verde representa a percentagem de ordens de fabrico que foram realizadas dentro do tempo estimado e no extremo oposto, a cor vermelha representa a percentagem das ordens de fabrico que demoraram pelo menos o dobro do previsto a serem realizadas.

Tabela 4.4. Ordens de fabrico realizadas em 2015 nas linhas de montagem da área SMT da HFA.

	Linha 01	Linha 02	Linha 03	Linha 04	Linha 05	Linha 06	Linha 07	Total
N.º de ordens de fabrico	72	294	124	294	146	72	22	1024

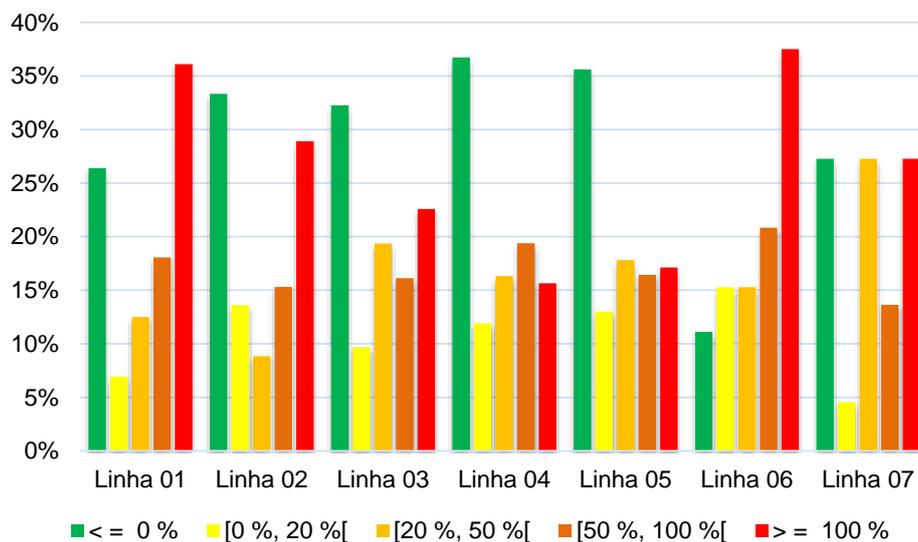


Figura 4.4. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos referentes ao ano de 2015 das linhas de montagem da área SMT da HFA.

4.3. Ações de Melhoria

A análise inicial permitiu obter conhecimentos relativamente ao *setup* dos sistemas *Pick & Place* existentes na HFA, o que possibilitou encontrar possíveis ações de melhoria.

Neste subcapítulo são apresentadas as ações de melhoria implementadas de forma cronológica, bem como as vantagens inerentes à sua aplicação/utilização.

4.3.1. Bancada de Preparação de *Feeders*

Conforme foi verificado anteriormente, pela análise da classificação das operações de *setup* descritas na Tabela 4.3, a preparação dos *feeders* pode ser realizada previamente e separadamente. Para o efeito, criou-se um novo posto na área SMT, responsável pela preparação dos *feeders* de bobine, retirando estas operações do *setup* das linhas de montagem.

Contudo, não irá realizar a preparação dos *feeders* de bobine para a linha 6, visto que não existem *feeders* JUKI suficientes para garantir que tal seja efetuado.

Este novo posto é constituído essencialmente por uma bancada, onde estão afetos no máximo dois colaboradores.

Para auxiliar a Bancada de Preparação de *Feeders*, foi adquirido um computador portátil e desenvolveram-se duas aplicações em *Microsoft Access/VBA* (Visual Basic for Applications), descritas com mais pormenor nos Apêndices A e B.

A primeira dessas aplicações (Figura 4.5) destinou-se à gestão do inventário de *feeders* (*Feeders Management System*), onde podem visualizar a disponibilidade, quantidade e localização dos mesmos.

Feeder Management System

1 de setembro de 2016 11:42:38

Feeder	Disponível	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4	Linha 5	Linha 6	Linha 7	Em preparação	Oficina
Elétrico 4 mm	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 8 mm	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 12 mm	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 16 mm	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 24 mm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 32 mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 44 mm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mecânico 4 mm	87	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Mecânico 8 mm	141	0	11	0	11	0	0	5	4	6
Mecânico 12 mm	31	0	4	0	1	0	0	0	2	5
Mecânico 16 mm	20	0	3	0	0	0	0	1	1	5
Mecânico 24 mm	2	0	3	0	1	0	0	0	0	5
Mecânico 32 mm	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Mecânico 44 mm	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Mecânico 56 mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 4 mm	60	0	0	0	0	0	0	0	0	8
JUKI 8 mm	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 12 mm	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 16 mm	19	0	0	0	0	0	0	0	0	2
JUKI 24 mm	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1
JUKI 32 mm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 44 mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stick	37	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Tray	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Base de Dados dos Produtos

Enviar para a preparação da:

Linha 1 Linha 2 Linha 3 Linha 4
Linha 5 Linha 6 Linha 7

Código: 53850181R-T

4 mm: 0
8 mm: 6
12 mm: 0
16 mm: 0
24 mm: 0
32 mm: 0
44 mm: 0
56 mm: 0
Stick: 0
Tray: 0

Figura 4.5. Aplicação *Feeder Management System*.

A introdução de dados na aplicação encontra-se ao cargo dos colaboradores aquando a preparação dos *feeders* de bobine para cada linha de montagem.

A segunda aplicação (Figura 4.6) tem como objetivo monitorizar a ocupação das linhas de montagem, através da análise dos dados do sistema de recolha de picagens da empresa. Assim, é possível visualizar em tempo real o progresso e estado de cada produto. Além disso, cruzou-se informações com o Departamento de Controlo de Gestão e Planeamento, o que possibilitou a visualização dos trabalhos previstos para cada linha de montagem da área SMT.

Ocupação Atual das Linhas SMD

Trabalhos seguintes para a Linha: 01 02 03 04 05 06 07

Semana 37 05/09/2016 15:04:39

Posto	Produto	Nome do Pr	Posto	Produto	Nome do Produto	OF	Operação	Qtz	OF	Estado
LINHA05	571900111RSMD	Mont. Base Lu Rohs	LINHA05	531870021R	Placa FeATMCtrl Rev.2 (M2010025)	OF162971	TOP	1000		Operação
LINHA01	53180061RSMD	Placa DATA Rohs	LINHA05	52450040R	Placa ParkingSensor_V3.2	OF162963	TOP	100		Operação
LINHA02	572670010RSMD	Mont. Placa P (T)	LINHA05	53420011R	PLACA CPU BM 2/3	OF162979	TOP	150		Operação
LINHA03	53890477RSMD	Placa Bluetod Rohs	LINHA05	571900113R	Base Luna 3 IP EA (Yellow Button) 21PRST-L3-TST2-EA (TOP)	OF162991	TOP	500		Início de Trabalho

Figura 4.6. Aplicação de monitorização das linhas de montagem.

4.3.2. Identificação dos *Feeders*

Verificou-se que a identificação existente nos *feeders* de bobine não era perceptível e simples, originando perdas de tempo na preparação dos mesmos. Para colmatar este problema, optou-se por identificar cada *feeder* de bobine através de um sistema de cores aliado a um código alfanumérico com o tamanho do mesmo.

Na Figura 4.7, é possível verificar um exemplo da situação inicial e do resultado final para o *feeder* mecânico de 32 mm, no Apêndice C é apresentada em detalhe esta nova identificação.

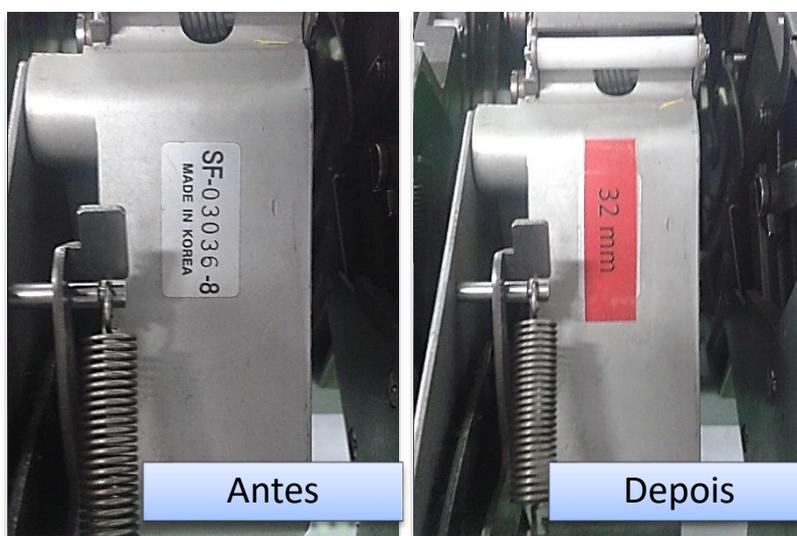


Figura 4.7. Identificação dos *feeders*.

4.3.3. Registos Operativos da Bancada de Preparação de *Feeders*

Após a implementação das ações anteriores, as operações de *setup* dos sistemas *Pick & Place* das linhas de montagem da área SMT foram reduzidas de nove para quatro operações (operações internas descritas na Tabela 4.3), contudo não se verificavam grandes diferenças nos tempos de *setup* em comparação com a situação inicial. Constatou-se então que nem todos os produtos passavam pela Bancada de Preparação de *Feeders*, ou seja, nestes casos a situação inicial ainda se mantinha.

Para identificar estes casos, foi elaborado um documento para registar a atividade da Bancada de Preparação de *Feeders* (Figura 4.8).

Estas situações ocorrem essencialmente devido a problemas de planeamento e coordenação com o Armazém.

 REGISTOS OPERATIVOS Pag. 1 / 1																
N.º da Ordem				Operação		N.º da Linha SMD							Setup		Data	Operador(a)
				T O P	B O T	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		
OF	1	6		T	B	1	2	3	4	5	6	7	Início	Fim		

Figura 4.8. Imagem ilustrativa do documento de registos operativos da Bancada de Preparação de *Feeders*.

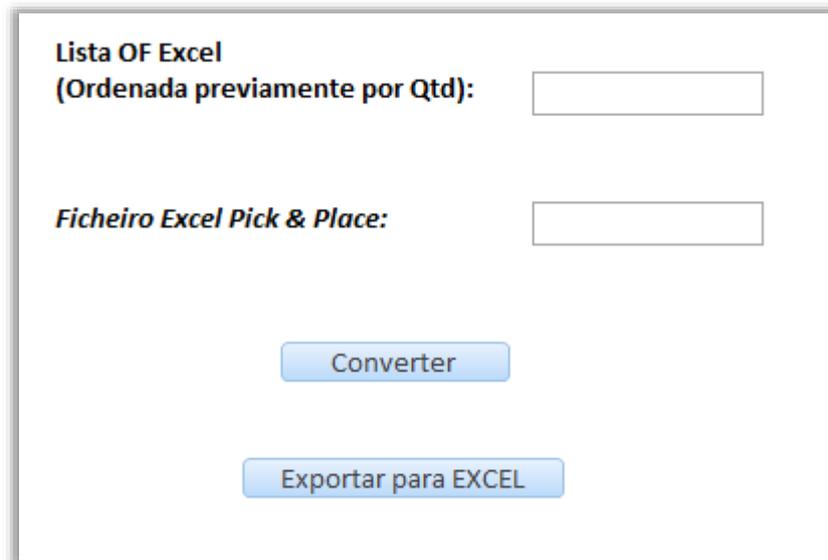
4.3.4. Aplicação para Auxiliar a Programação *Offline* das Linhas de Assemblagem da Área SMT

A preparação de um novo produto depende bastante da programação *offline*, o tempo despendido nesta etapa pode influenciar e/ou atrasar o planeamento previsto para as linhas de assemblagem. A existência de erros nesta etapa implica um aumento do tempo de *setup* nos sistemas *Pick & Place*, visto que obriga a efetuar ajustes na programação *online*.

De forma a auxiliar esta etapa, foi desenvolvida uma aplicação em *Microsoft Access/VBA* (Figura 4.9) onde cruza informações de dois ficheiros, um com a lista de componentes da ordem de fabrico e outro com as coordenadas das posições dos mesmos na PCB. Esta aplicação devolve um ficheiro onde junta essas informações, evitando os erros

que podem por vezes surgir em produtos com muitos componentes, que por sua vez correspondem a várias posições na PCB.

O ficheiro devolvido pela aplicação serve como base para a programação *offline* dos sistemas *Pick & Place*.



The image shows a software application window with a white background and a thin grey border. At the top left, the text 'Lista OF Excel' is displayed in bold, followed by '(Ordenada previamente por Qtd):' in a smaller font. To the right of this text is a rectangular input field. Below this, the text 'Ficheiro Excel Pick & Place:' is displayed in bold, followed by another rectangular input field. In the center of the window, there is a blue button with rounded corners and the text 'Converter' in white. Below this button, there is another blue button with rounded corners and the text 'Exportar para EXCEL' in white.

Figura 4.9. Aplicação para auxiliar a programação *offline* das linhas de montagem da área SMT.

4.3.5. Aplicação para Verificação de Linha

A ação de melhoria que se segue, não chegou a ser colocada em prática, no entanto irá ser futuramente implementada e terá como objetivo a simplificação e eliminação dos erros do processo de verificação da linha de montagem, permitindo também obter um histórico completo relativamente ao *setup* dos *feeders* e numa fase posterior interligar algumas das aplicações já implementadas.

A verificação de linha atualmente é realizada de modo visual com recurso a dois colaboradores, suscetível a erros e demora em média 30 segundos por cada *feder* alocado no sistema *Pick & Place*. Este processo consiste em verificar se os *feeders* se encontram nas *slots* corretas do sistema *Pick & Place*.

De modo a evitar erros, a necessidade de dois colaboradores e sobretudo a agilizar o processo, foi desenvolvida uma aplicação em *Microsoft Access/VBA* para auxiliar

esta verificação da linha de montagem, em que engloba também a Bancada de Preparação de *Feeders*, monitorizando assim todo o processo desde a preparação à colocação nos sistemas *Pick & Place*.

Esta aplicação funcionará como um sistema de picagens auxiliado por leitores de códigos de barras. Já com esse propósito, foi adicionada uma nova etiqueta a cada *feeder* com um código de barras correspondente a uma numeração sequencial de forma a identificá-los individualmente (Apêndice C) e outro código de barras para identificação das *slots* do sistema *Pick & Place* (Figura 4.10).



Figura 4.10. Identificação dos *feeders* e *slots* por códigos de barras.

A aplicação terá dois *front-ends* distintos, um para Bancada de Preparação de *Feeders* e outro para as linhas de montagem (Figura 4.11), para mais pormenores consultar o Apêndice D.

Esta análise teve como base os dados extraídos do sistema de recolha de picagens da empresa, determinando os desvios dos tempos de *setup* em relação aos estimados aquando a orçamentação, visto que é através destes últimos que é determinado o custo imputado ao cliente.

De um modo geral, com a exceção da linha 4, todas as linhas de montagem melhoraram em relação ao ano transato, contudo, apenas a linha 3 demonstra um impacto positivo após a implementação das ações de melhoria (Figura 4.17).

Como se constatou que nem todos os produtos passavam pela Bancada de Preparação de *Feeders*, através dos registos operativos, nos meses de Junho e Julho, foi possível identificar quais estavam sujeitos a esta preparação prévia e deste modo alargar a análise. Assim, verificou-se que em 227 ordens de fabrico, apenas 80 foram preparadas previamente, o que corresponde aproximadamente a 35 %, uma percentagem consideravelmente reduzida.

Os resultados apresentados de seguida, distribuídos por cada linha de montagem da área SMT sujeita às ações de melhoria, estão expostos graficamente e encontram-se divididos em intervalos percentuais, onde a cor verde representa a percentagem de ordens de fabrico que foram realizadas dentro do tempo estimado e no extremo oposto, a cor vermelha representa a percentagem de ordens de fabrico que demoraram pelo menos o dobro do previsto a serem realizadas.

Além disso, também é apresentado o número total de ordens de fabrico realizadas, o tempo de *setup* despendido e o respetivo tempo médio de *setup* por ordem de fabrico.

4.4.1. Linha 1

Tabela 4.5. Ordens de fabrico realizadas na linha 1.

Linha 1	2015	Jan. – Jul. 2016	Jan. – Mar. 2016 (Antes das ações)	Abr. – Jul. 2016 (Depois das ações)
N.º de ordens de fabrico	72	99	58	41
Tempo de <i>setup</i> (horas)	421,88	438,54	179,79	258,75
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	5,86	4,43	3,10	6,31

Nesta linha de montagem, verificou-se um aumento da produção e uma redução significativa do tempo médio despendido por *setup* comparativamente ao ano transato, contudo estes resultados não estão diretamente relacionados com a implementação das ações de melhoria.

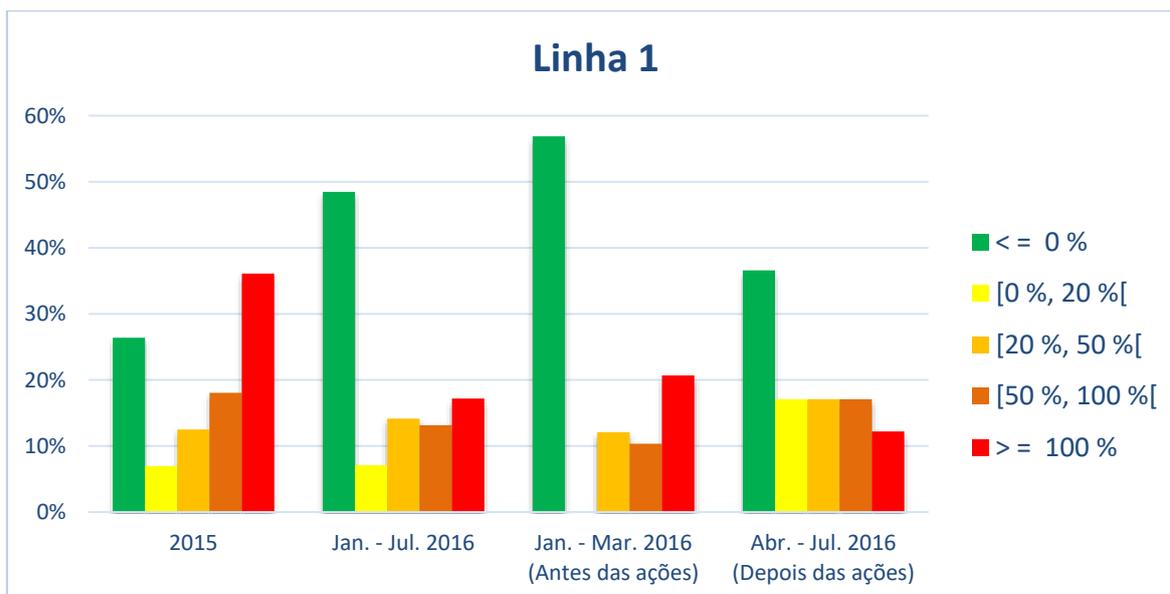


Figura 4.13. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos na linha 1.

Tabela 4.6. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 1.

Linha 1	Junho 2016 (Normal)	Junho 2016 (Bancada)	Julho 2016 (Normal)	Julho 2016 (Bancada)
N.º de ordens de fabrico	9	4	3	2
Tempo de <i>setup</i> (horas)	68,02	25,16	21,46	19,37
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	7,56	6,29	7,15	9,69

Apesar do número reduzido de produtos, é de salientar que no mês de Junho, as ordens de fabrico que foram sujeitas a uma preparação prévia apresentaram melhores resultados, demonstrando o impacto positivo das ações de melhoria.

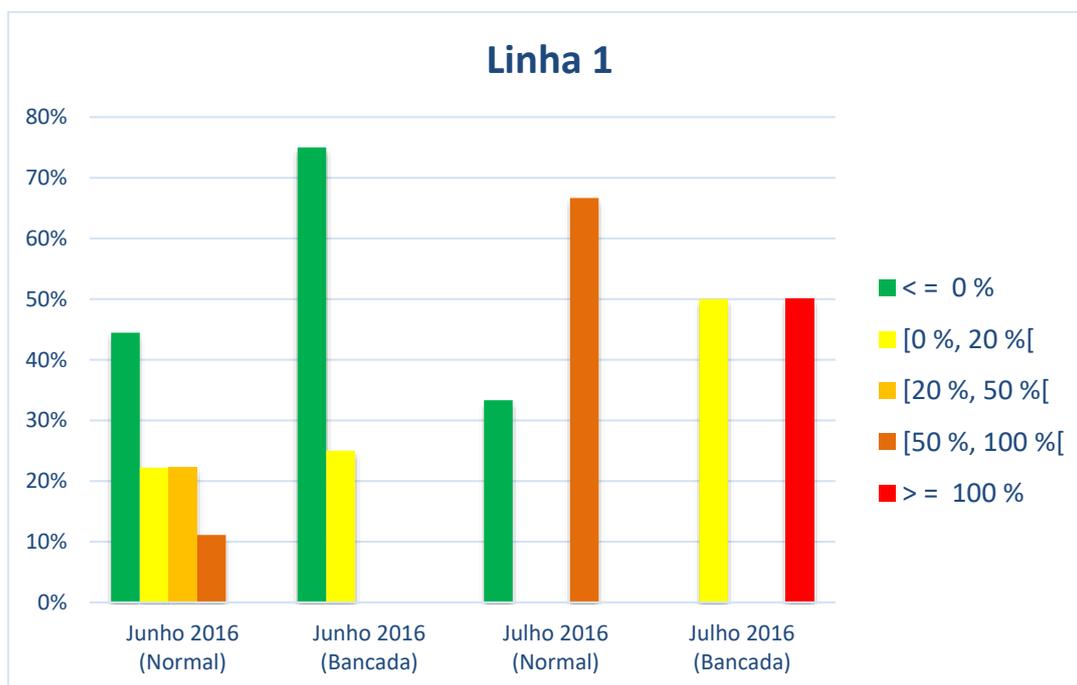


Figura 4.14. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 1.

4.4.2. Linha 2

Tabela 4.7. Ordens de fabrico realizadas na linha 2.

Linha 2	2015	Jan. – Jul. 2016	Jan. – Mar. 2016 (Antes das ações)	Abr. – Jul. 2016 (Depois das ações)
N.º de ordens de fabrico	294	219	96	123
Tempo de <i>setup</i> (horas)	540,78	425,5	197,15	228,35
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	1,84	1,94	2,05	1,86

Na linha 2 verificou-se uma redução do tempo médio despendido por *setup* após a implementação das ações de melhoria, mas os desvios dos tempos de *setup* não apresentaram diferenças significativas.

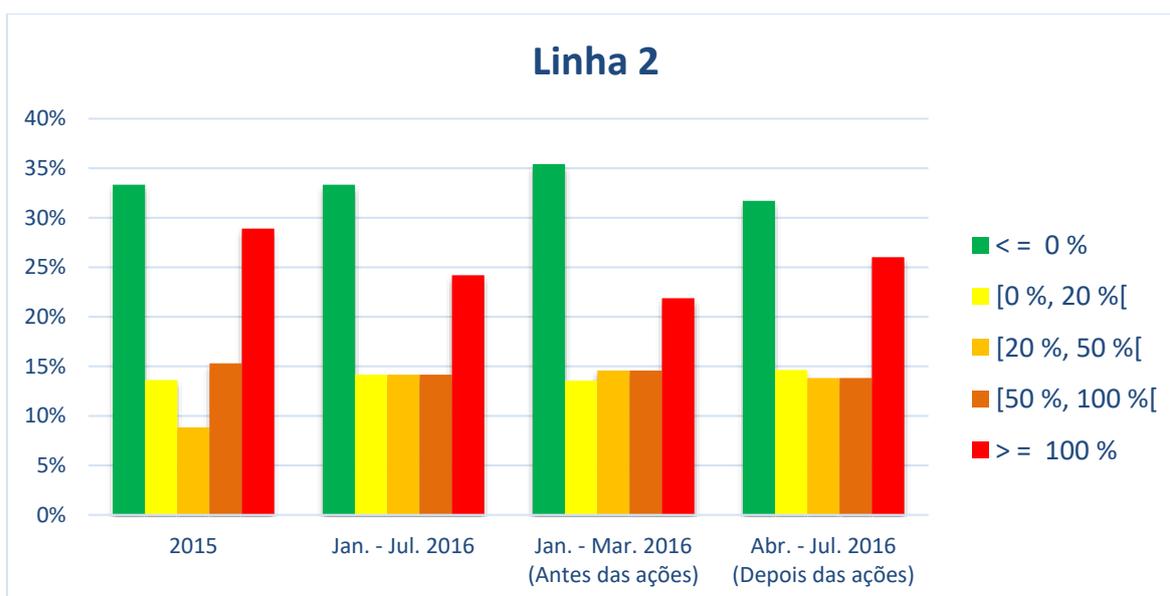


Figura 4.15. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos na linha 2.

Tabela 4.8. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 2.

Linha 2	Junho 2016 (Normal)	Junho 2016 (Bancada)	Julho 2016 (Normal)	Julho 2016 (Bancada)
N.º de ordens de fabrico	14	10	21	10
Tempo de <i>setup</i> (horas)	39,51	18,54	44,74	18,67
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	2,82	1,85	2,13	1,87

Nesta linha de montagem, nos meses de Junho e Julho, as ordens de fabrico que foram sujeitas a uma preparação prévia apresentaram melhores resultados, onde se destaca uma diminuição percentual relevante nos desvios dos tempos de *setup* correspondentes ao dobro do previsto.

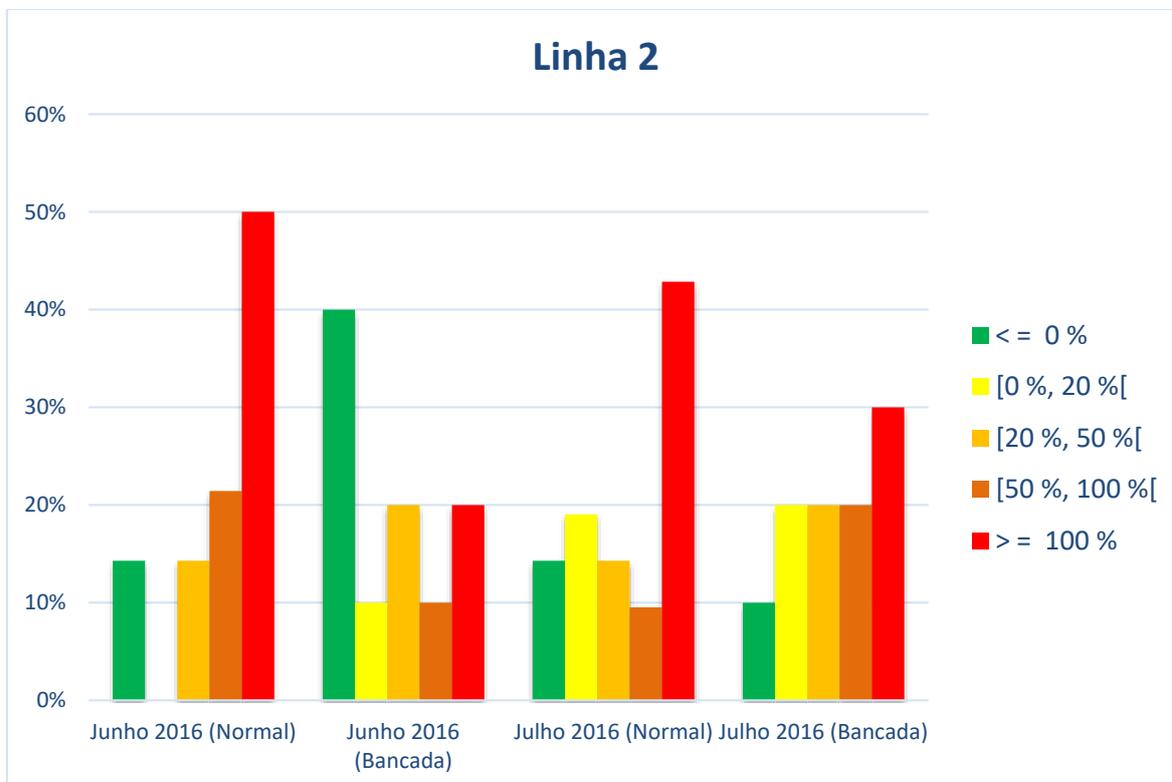


Figura 4.16. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 2.

4.4.3. Linha 3

Tabela 4.9. Ordens de fabrico realizadas na linha 3.

Linha 3	2015	Jan. – Jul. 2016	Jan. – Mar. 2016 (Antes das ações)	Abr. – Jul. 2016 (Depois das ações)
N.º de ordens de fabrico	124	92	26	66
Tempo de <i>setup</i> (horas)	592,3	451,98	128,35	323,63
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	4,78	4,91	4,94	4,90

Esta linha de montagem foi aquela que melhor demonstrou a importância das medidas tomadas, apresentando de forma clara uma redução nas percentagens dos desvios dos tempos de *setup* superiores ao previsto, após a implementação das ações de melhoria.

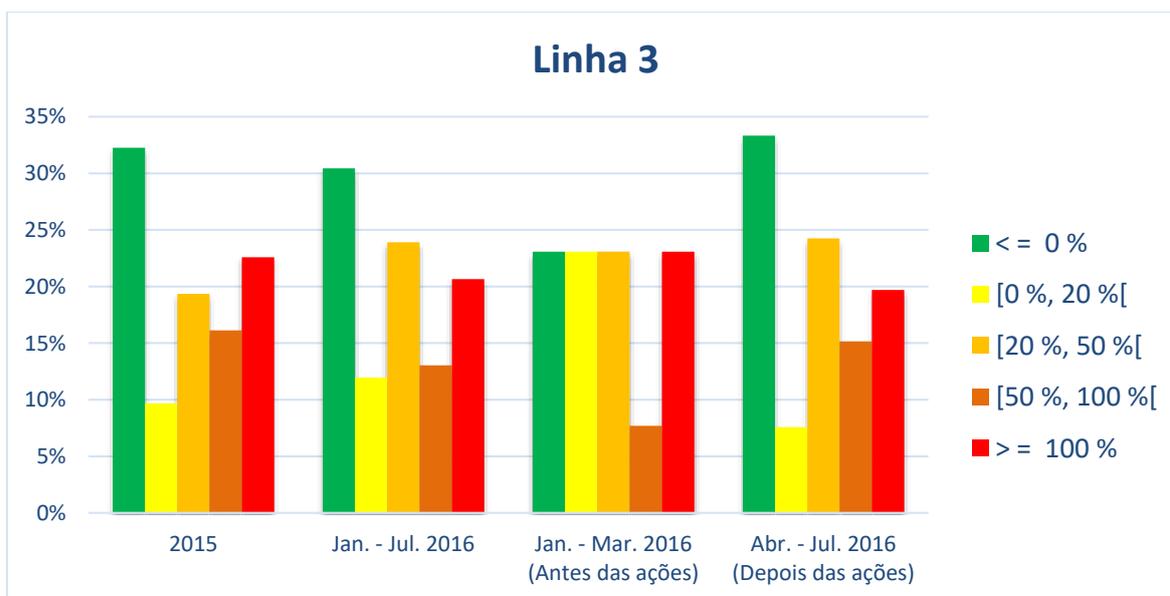


Figura 4.17. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos na linha 3.

Tabela 4.10. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 3.

Linha 3	Junho 2016 (Normal)	Junho 2016 (Bancada)	Julho 2016 (Normal)	Julho 2016 (Bancada)
N.º de ordens de fabrico	11	5	15	2
Tempo de <i>setup</i> (horas)	54,51	18,48	64,18	14,23
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	4,96	3,70	4,28	7,12

Nos meses de Junho e Julho, contrariamente ao que seria espetável, os resultados não apresentaram melhorias nas ordens de fabrico que foram sujeitas à preparação prévia, sendo que em Julho, apenas duas passaram pela Bancada de Preparação de *Feeders*.

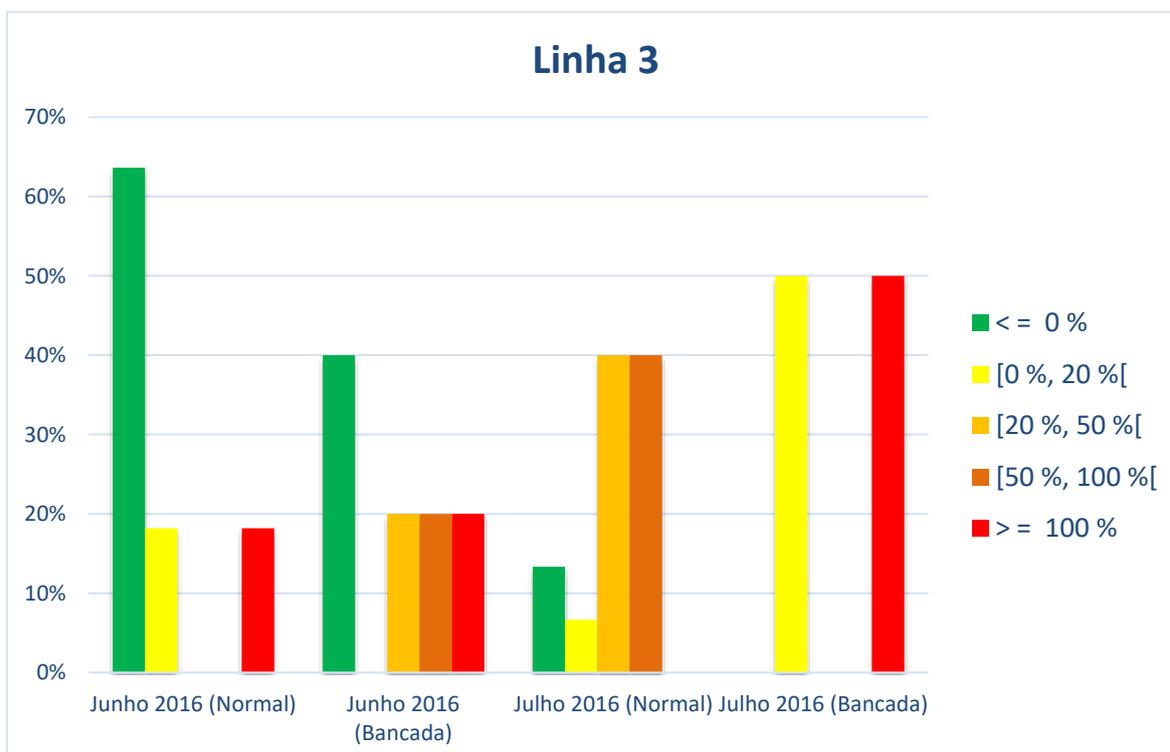


Figura 4.18. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 3.

4.4.4. Linha 4

Tabela 4.11. Ordens de fabrico realizadas na linha 4.

Linha 4	2015	Jan. – Jul. 2016	Jan. – Mar. 2016 (Antes das ações)	Abr. – Jul. 2016 (Depois das ações)
N.º de ordens de fabrico	294	180	64	116
Tempo de <i>setup</i> (horas)	826,71	533,36	182,18	351,18
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	2,81	2,96	2,85	3,03

Esta linha de montagem não apresentou melhorias, podendo dever-se ao facto desta possuir um equipamento mais antigo comparativamente com as outras linhas. Contudo, no ano de 2015, esta apresentou melhores resultados, logo seria espetável que após a implementação das ações de melhoria, os desvios em relação aos tempos previstos diminuíssem, o que não se sucedeu.

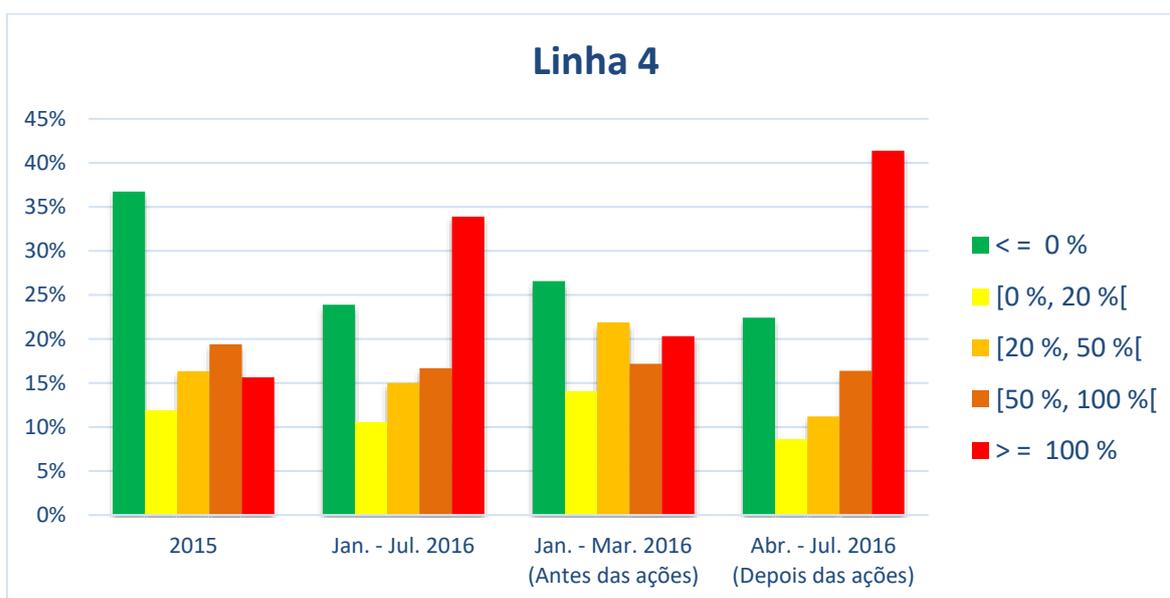


Figura 4.19. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos na linha 4.

Tabela 4.12. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 4.

Linha 4	Junho 2016 (Normal)	Junho 2016 (Bancada)	Julho 2016 (Normal)	Julho 2016 (Bancada)
N.º de ordens de fabrico	12	8	20	14
Tempo de <i>setup</i> (horas)	52,13	24,08	62,24	44,25
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	4,34	3,01	3,11	3,16

Apesar de grande parte dos produtos assembled nesta linha terem sido sujeitos a uma preparação prévia, não se verificam grandes diferenças relativamente àqueles que não tiveram essa preparação prévia, chegando mesmo a piorar.

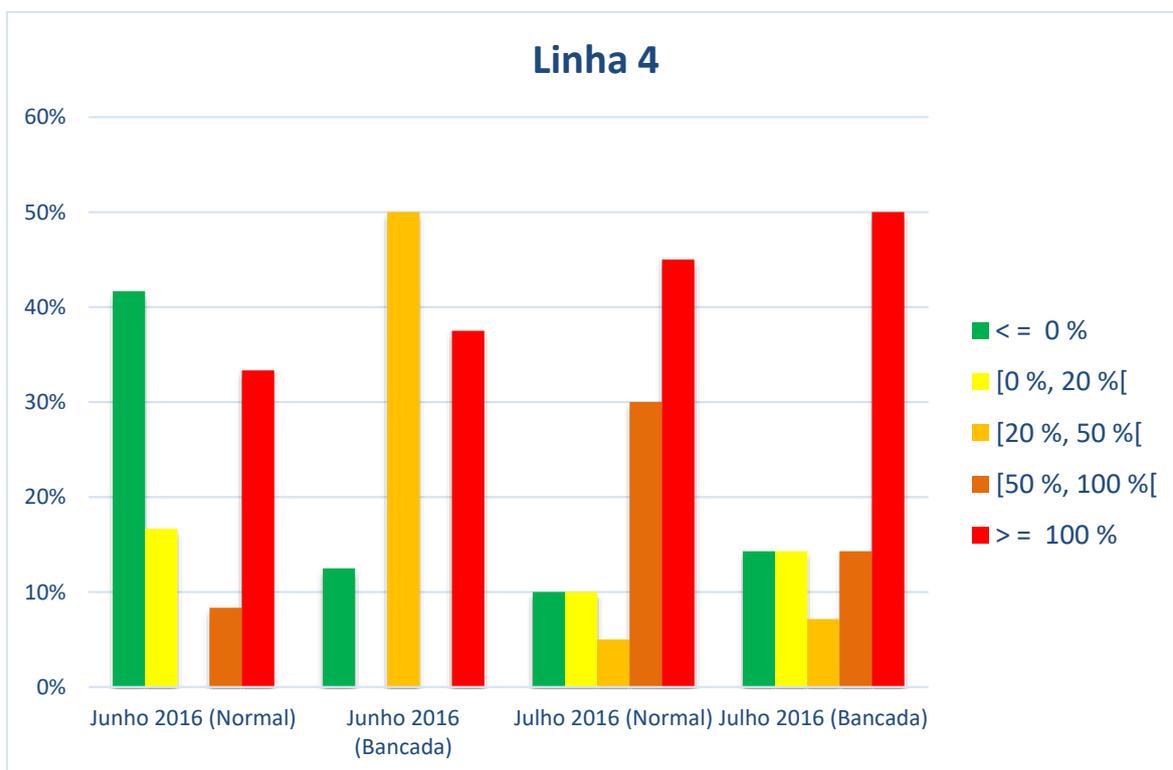


Figura 4.20. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 4.

4.4.5. Linha 5

Tabela 4.13. Ordens de fabrico realizadas na linha 5.

Linha 5	2015	Jan. – Jul. 2016	Jan. – Mar. 2016 (Antes das ações)	Abr. – Jul. 2016 (Depois das ações)
N.º de ordens de fabrico	146	110	41	69
Tempo de <i>setup</i> (horas)	811,81	553,86	200,74	353,12
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	5,56	5,04	4,90	5,12

Os resultados verificados nesta linha de montagem apresentam uma ligeira melhoria em relação ao ano transato, contudo estes resultados não estão diretamente relacionados com a implementação das ações de melhoria.

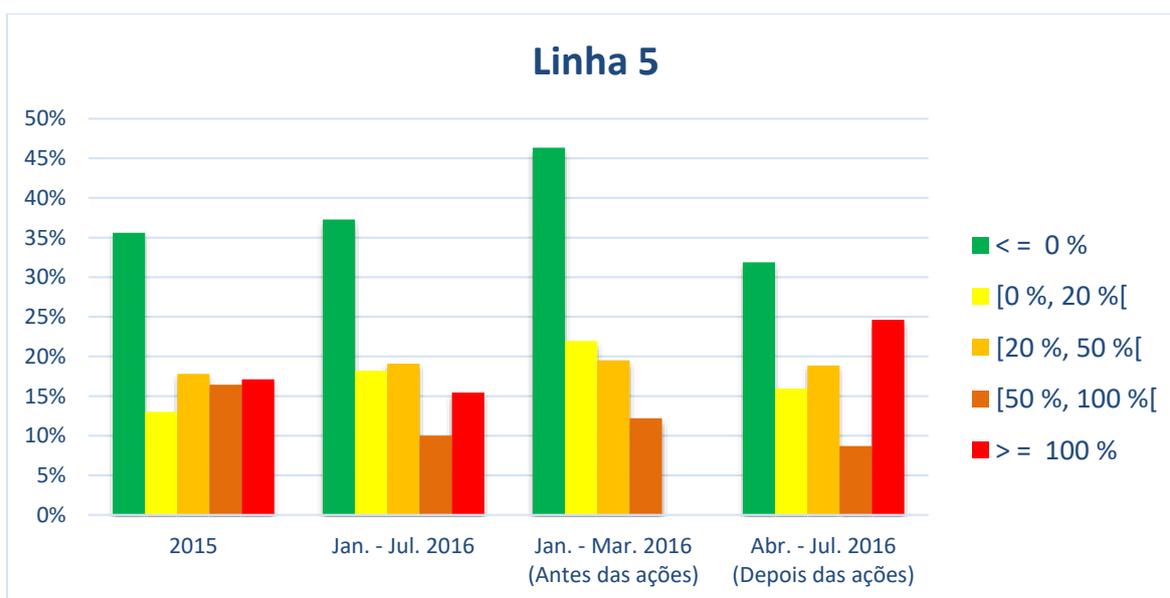


Figura 4.21. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos na linha 5.

Tabela 4.14. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 5.

Linha 5	Junho 2016 (Normal)	Junho 2016 (Bancada)	Julho 2016 (Normal)	Julho 2016 (Bancada)
N.º de ordens de fabrico	11	6	12	7
Tempo de <i>setup</i> (horas)	59,46	23,98	52,52	38,92
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	5,41	4,00	4,38	5,56

Apesar de cerca de 57% dos produtos assemblados nesta linha, nos meses de Junho e Julho, terem sido sujeitos a uma preparação prévia, os desvios de *setup* destes apresentam piores resultados comparativamente àqueles que não tiveram essa preparação prévia.

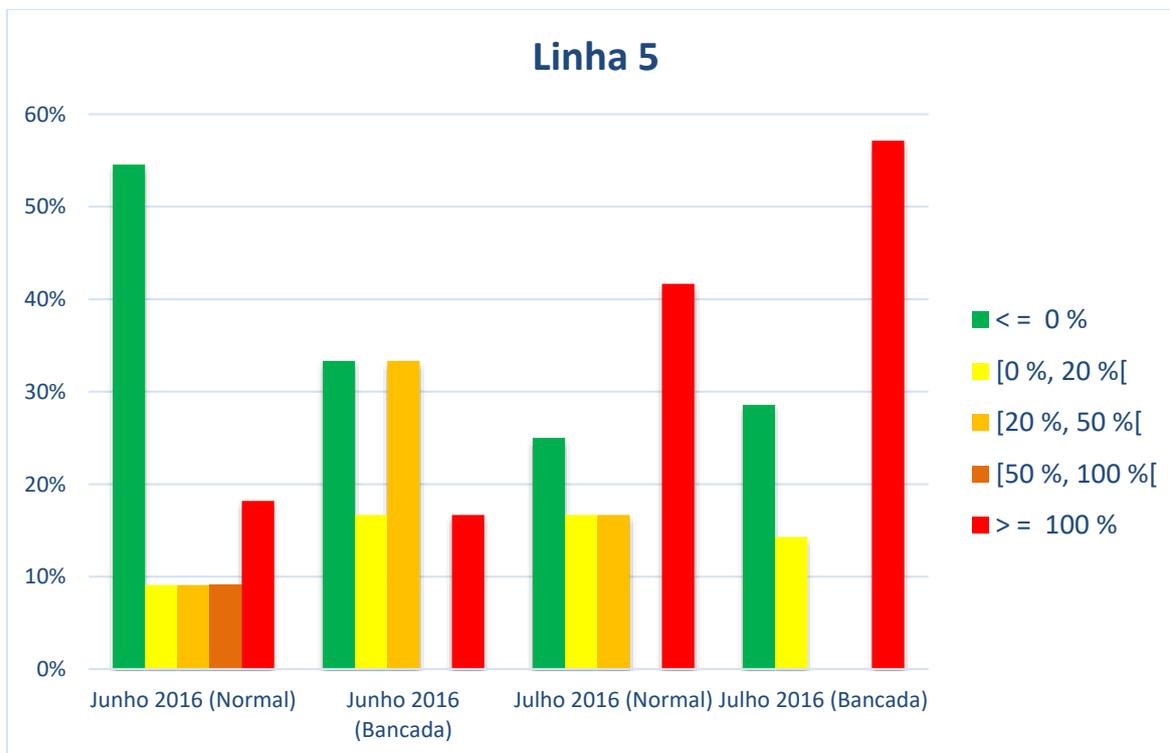


Figura 4.22. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 5.

4.4.6. Linha 7

Tabela 4.15. Ordens de fabrico realizadas na linha 7.

Linha 7	2015	Jan. – Jul. 2016	Jan. – Mar. 2016 (Antes das ações)	Abr. – Jul. 2016 (Depois das ações)
N.º de ordens de fabrico	22	58	20	38
Tempo de <i>setup</i> (horas)	37,18	125,49	46,8	78,69
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	1,69	2,16	2,34	2,10

Os resultados verificados nesta linha de montagem também apresentam uma ligeira melhoria em relação ao ano transato, contudo estes resultados não estão diretamente relacionados com a implementação das ações de melhoria.

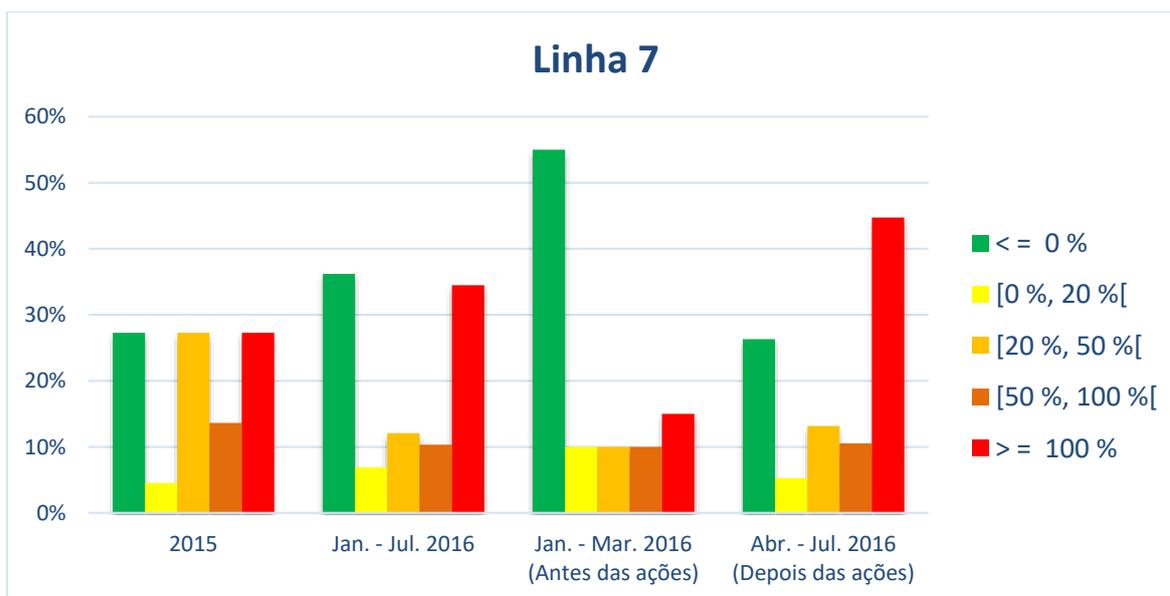


Figura 4.23. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos na linha 7.

Tabela 4.16. Ordens de fabrico realizadas em Junho e Julho de 2016 na linha 7.

Linha 7	Junho 2016 (Normal)	Junho 2016 (Bancada)	Julho 2016 (Normal)	Julho 2016 (Bancada)
N.º de ordens de fabrico	11	4	11	5
Tempo de <i>setup</i> (horas)	17,45	14,73	18,63	10,73
Média de <i>setup</i> por ordem de fabrico (horas)	1,59	3,68	1,69	2,15

Apesar de aproximadamente 41% dos produtos assemblados nesta linha, nos meses de Junho e Julho, terem sido sujeitos a uma preparação prévia, os desvios de *setup* destes apresentam piores resultados relativamente àqueles que não tiveram essa preparação prévia.

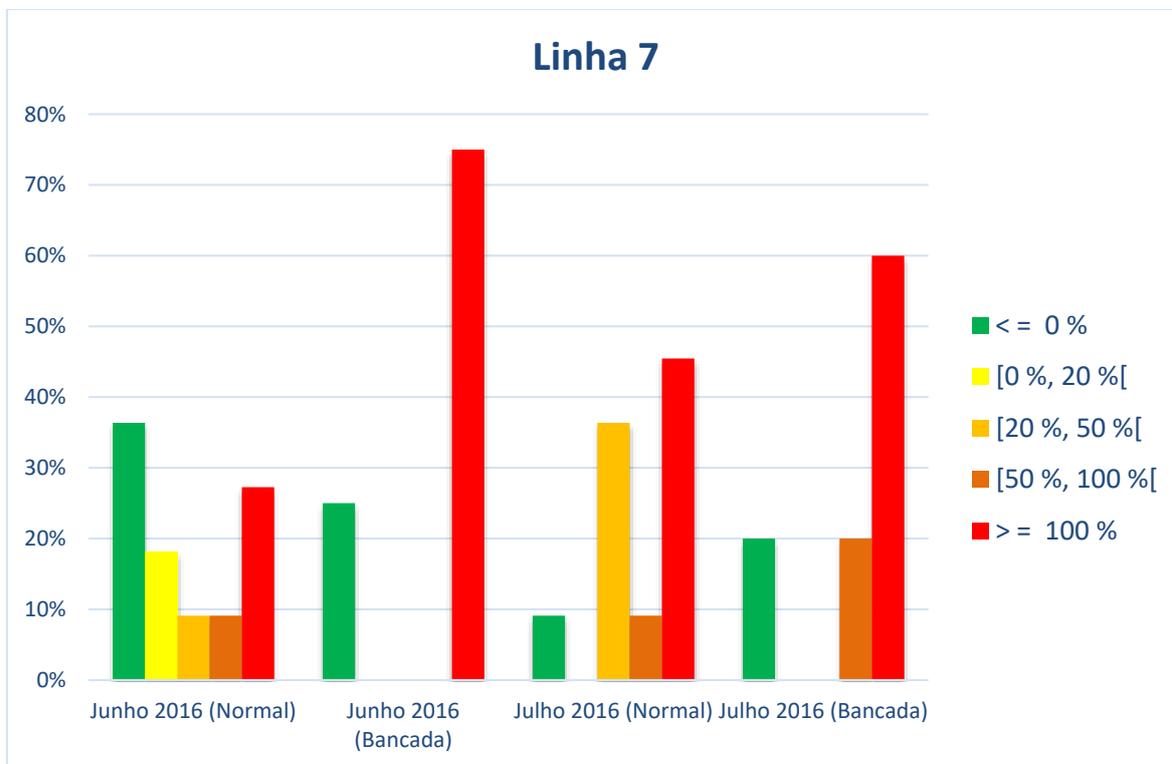


Figura 4.24. Desvios dos tempos de *setup* em relação aos tempos previstos relativamente aos meses de Junho e Julho de 2016 na linha 7.

5. CONCLUSÕES

Este último capítulo reúne as principais conclusões e considerações finais após a realização deste trabalho, assim como a alusão a melhorias futuras.

Relativamente aos objetivos delineados, estes não foram atingidos na sua plenitude, sentiram-se algumas dificuldades na introdução das ações de melhoria, principalmente aquelas que implicavam alterações do fluxo produtivo, visto terem sido implementadas num curto espaço temporal, sendo o reflexo de alguma resistência à mudança, seria, portanto, indispensável uma janela de tempo maior para melhorar a assimilação e enraizamento destes processos de forma a obter resultados satisfatórios.

As alterações não programadas do planeamento semanal também acabaram por influenciar os resultados obtidos, reduzindo o número de produtos sujeitos à preparação prévia. Estas alterações deveram-se sobretudo à falta de componentes e à redefinição de prioridades da produção.

Apesar das dificuldades sentidas, a implementação da metodologia SMED demonstrou que existe sempre margem para melhorar e otimizar processos, sendo uma ferramenta vantajosa para qualquer empresa, mas exige tempo e esforço por parte de todos os colaboradores envolvidos, bem como, da gestão de topo.

É importante salientar que as melhorias implementadas não implicaram grandes investimentos financeiros ou tecnológicos e serão o ponto de partida para desenvolver melhorias futuras, dando ênfase a todo o processo produtivo, visando a otimização de processos e metodologias. A aplicação para verificação de linha será uma das melhorias a implementar, perspectiva-se que seja um contributo importante para cumprir as metas definidas pela produção na HFA.

Do ponto de vista pessoal, o estágio curricular e todo este trabalho desenvolvido foi bastante enriquecedor. Possibilitou a oportunidade de colocar em prática muitos dos conceitos teóricos adquiridos ao longo da formação académica, numa organização de referência nacional e internacional no sector da produção e teste de produtos eletrónicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhasin, S. (2015), "Lean Management Beyond Manufacturing: A Holistic Approach", Springer, Switzerland.
- Farlow, D. (2005), "Efficient Line Changeover", SMT Magazine, March 2005, 44-45
- Krafcik, J.F. (1988), "Triumph of the Lean Production System", Sloan Management Review, 30 (1), 41-52.
- Lean Enterprise Institute (2016), "A Brief History of Lean". Acedido a 28 de Julho de 2016, em: <http://www.lean.org>.
- Lean Enterprise Institute (2016), "Principles of Lean". Acedido a 28 de Julho de 2016, em: <http://www.lean.org>.
- Liker, J.K. (2004), "The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer", McGraw-Hill, New York.
- Moreira, A.C. e Pais, G.C.S. (2011), "Single Minute Exchange of Die. A Case Study Implementation", Journal of Technology Management & Innovation, 6 (1), 129-146.
- Ohno, T. (1988), "Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production", Productivity Press, New York.
- Samsung C&T Automation (2016), "Products". Acedido a 4de Agosto de 2016, em: <http://www.samsungsmt.com>.
- Shingo, S. (1985), "A Revolution in Manufacturing: The SMED System", Productivity Press, Cambridge.
- Tovinger, S.C. e Bohn, R.E. (2005), "Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and IT-Based Methods", Production and Operations Management, 14 (2), 205-217.
- Womack, J.P. e Jones, D.T. (2003), "Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation", Free Press, New York.
- Womack, J.P., Jones, D.T. e Roos, D. (1990), "The Machine that Changed the World", Rawson Associates, New York.

APÊNDICE A – APLICAÇÃO FEEDERS MANAGEMENT SYSTEM

Este apêndice apresenta a aplicação *Feeders Management System* e as suas funcionalidades na ótica do utilizador.

Ao executar esta aplicação desenvolvida em *Microsoft Access/VBA*, inicialmente é apresentado o separador “*Feeders por Localização*” com um resumo dos *feeders* disponíveis, em preparação, em reparação (oficina) ou alocados nas linhas de montagem.

Feeder	Disponível	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4	Linha 5	Linha 6	Linha 7	Em preparação	Oficina
Elétrico 4 mm	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 8 mm	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 12 mm	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 16 mm	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 24 mm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 32 mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elétrico 44 mm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mecânico 4 mm	87	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Mecânico 8 mm	141	0	11	0	11	0	0	5	4	6
Mecânico 12 mm	31	0	4	0	1	0	0	0	2	5
Mecânico 16 mm	20	0	3	0	0	0	0	1	1	5
Mecânico 24 mm	2	0	3	0	1	0	0	0	0	5
Mecânico 32 mm	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Mecânico 44 mm	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Mecânico 56 mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 4 mm	60	0	0	0	0	0	0	0	0	8
JUKI 8 mm	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 12 mm	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 16 mm	19	0	0	0	0	0	0	0	0	2
JUKI 24 mm	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1
JUKI 32 mm	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUKI 44 mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stick	37	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Tray	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Figura A.1. Separador “*Feeders por Localização*” da aplicação *Feeders Management System*.

Além deste separador, existem mais três, os quais requerem a introdução de dados por parte do utilizador.

No separador “*Editar Linhas*”, como o próprio nome sugere, serve para modificar a quantidade de *feeders* compatíveis com as linhas de montagem, permite colocar em preparação um produto e quando a linha terminar o trabalho em curso, o utilizador atualiza as quantidades, passando da preparação para a respetiva linha, bastando para isso utilizar o botão “*Atualizar tudo*”. Também é possível apagar ou apenas modificar

valores individualmente. Aqui também é possível verificar que tipo de *feeders* e tamanhos estão disponíveis para cada linha de montagem.

The screenshot shows the 'Feeder Management System' interface with the 'Editar Linhas' tab selected. The main table displays the following data:

Feeder	Linha 1	Atualizar Tudo	Em Preparação	Disponível
Elétrico 4 mm	0	←	0	288
Elétrico 8 mm	0	←	0	147
Elétrico 12 mm	0	←	0	37
Elétrico 16 mm	0	←	0	13
Elétrico 24 mm	0	←	0	3
Elétrico 32 mm	0	←	0	2
Elétrico 44 mm	0	←	0	3
Tray	0	←	0	19

The 'Base de Dados dos Produtos' panel on the right shows the product code '53850181R-T' and various feeder size input fields (4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm, 24 mm, 32 mm, 44 mm, 56 mm, Stick, Tray) with their respective values.

Figura A.2. Separador “Editar Linhas” da aplicação *Feeder Management System*.

Os dois separadores restantes desta aplicação, “Editar Oficina” e “Editar *Feeders*”, permitem modificar a quantidade de *feeders* em reparação e os totais globais respetivamente.

The screenshot shows the 'Feeder Management System' interface with the 'Editar Oficina' tab selected. The main table displays the following data:

Feeder	Quantidade
Elétrico 4 mm	0
Elétrico 8 mm	0
Elétrico 12 mm	0
Elétrico 16 mm	0
Elétrico 24 mm	0
Elétrico 32 mm	0
Elétrico 44 mm	0
Mecânico 4 mm	7
Mecânico 8 mm	6
Mecânico 12 mm	5
Mecânico 16 mm	5
Mecânico 24 mm	5
Mecânico 32 mm	1
Mecânico 44 mm	1
Mecânico 56 mm	0
JUKI 4 mm	8
JUKI 8 mm	0
JUKI 12 mm	0
JUKI 16 mm	2
JUKI 24 mm	1
JUKI 32 mm	0
JUKI 44 mm	0
Stick	0
Tray	0

The 'Base de Dados dos Produtos' panel on the right shows the product code '53850181R-T' and various feeder size input fields (4 mm, 8 mm, 12 mm, 16 mm, 24 mm, 32 mm, 44 mm, 56 mm, Stick, Tray) with their respective values.

Figura A.3. Separador “Editar Oficina” da aplicação *Feeder Management System*.

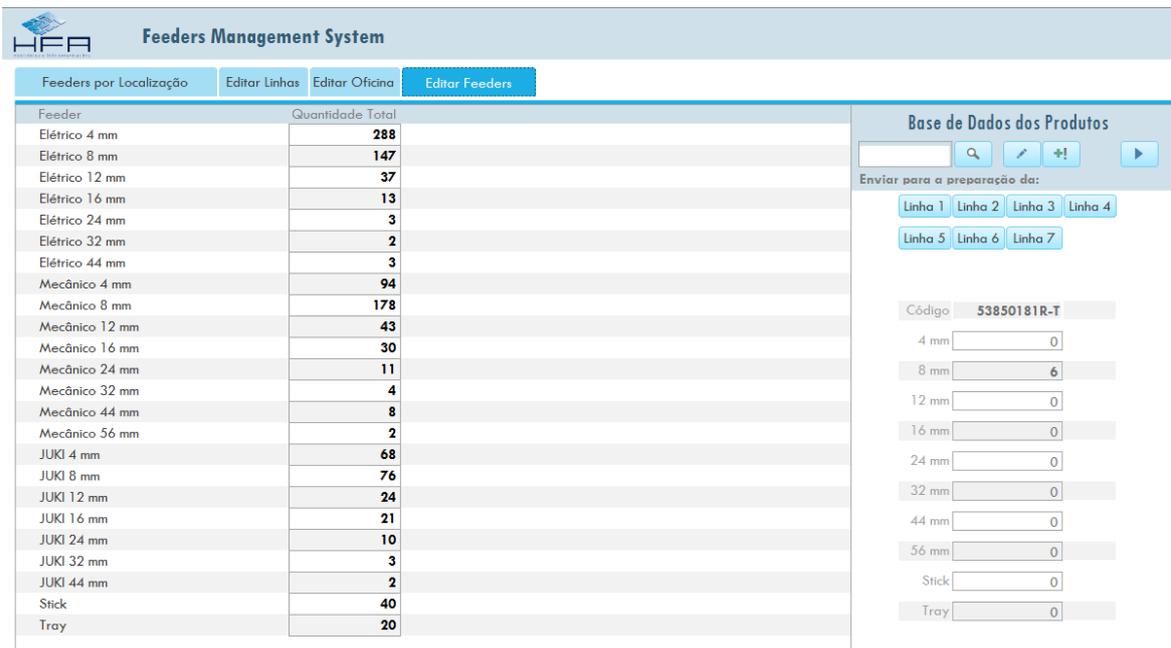


Figura A.4. Separador “Editar Feeders” da aplicação *Feeder Management System*.

Por fim, é importante salientar, que esta aplicação também tem a possibilidade de adicionar o número de *feeders* de cada produto a uma base de dados e desta forma simplificar o envio para a preparação de cada linha, verificando a compatibilidade e quantidades disponíveis para efetuar essa tarefa.

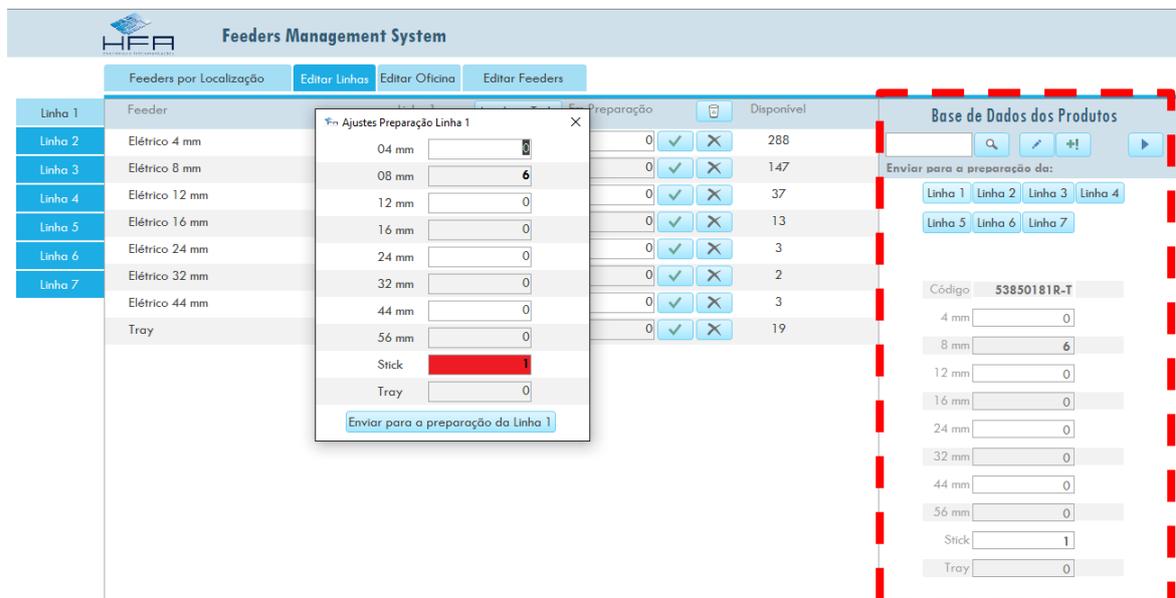


Figura A.5. Base de Dados dos Produtos da aplicação *Feeder Management System*.

APÊNDICE B – APLICAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO DAS LINHAS DE ASSEMBLAGEM

Este apêndice apresenta a aplicação de monitorização das linhas de montagem da Área SMT e as suas funcionalidades na ótica do utilizador.

Esta aplicação desenvolvida em *Microsoft Access/VBA*, permite visualizar o estado atual de cada linha de montagem, ordenadas segundo o tempo estimado para o término do respetivo produto.

Existem quatro estados possíveis:

- Operação – montagem do produto;
- Início de Trabalho – *setup* inicial;
- Fim de Trabalho – *setup* final;
- Não sei – paragens não programadas.

Posto	Produto	Nome do Produto	OF	Operação	Qtd OF	Qtd Atual	Progresso	Estimativa (h:min)	Estado
LINHA05	571900111RSMD	Mont Base Luna 3 IP Rohs	OF162987	TOP	201	24	11,94%	0:05	Operação
LINHA01	53180081RSMD	Placa DATACAR Reflex2011 V3.2 Rohs	OF162959	BOT	100	39	39,00%	1:07	Operação
LINHA02	572670010RSMD	Mont Placa PCB LL 24x280 22 LED 840 Rohs (T)	OF163009	TOP	4500	1306	29,07%	23:01	Operação
LINHA03	53890477RSMD	Placa Bluetooth V2.1 Lapa Rohs	OF162678	TOP	12000				Início de Trabalho
LINHA07	532050061RSMD	Placa Marques SA Buttons Rohs	OF162935	TOP	150				Início de Trabalho

Figura B.1. Aplicação de monitorização das linhas de montagem (descrição geral).

Além disso, reúne todas as informações relevantes de cada produto, bem como o progresso da montagem. Também vai modificando a cor de apresentação de cada linha de acordo com o progresso do trabalho, variando entre a cor verde ($\leq 50\%$) e o laranja ($> 50\%$).

No topo superior direito da aplicação existem sete botões que permitem visualizar os trabalhos planeados para cada linha de montagem, já ordenados segundo o planeamento semanal.

Posto	Produto	Nome do Produto	OF	Operação	Qtz	OF	Estado	Estimativa (h:min)
LINHA05	571900111RSMD	Mont. Base Lu Rohs					Operação	0.05
LINHA01	53180081RSMD	Placa DATA Rohs					Operação	1.07
LINHA02	572670010RSMD	Mont. Placa P (T)					Operação	23.01
LINHA03	53890477RSMD	Placa Bluetoo Rohs					Início de Trabalho	
LINHA07	532050061RSMD	Placa Marques Rohs					Início de Trabalho	

Posto	Produto	Nome do Produto	OF	Operação	Qtz	OF	Estado	Estimativa (h:min)
LINHA05	531870021R	Placa FeATMCtrl Rev.2 (M2010025	OF162971	TOP	1000		Operação	
LINHA05	52450040R	Placa ParkingSensor_V3.2	OF162963	TOP	100		Operação	
LINHA05	53420011R	PLACA CPU BM 2/3	OF162979	TOP	150		Operação	
LINHA05	571900113R	Base Luna 3 IP EA (Yellow Button) 21PRST-L3-TST2-EA (TOP)	OF162991	TOP	500		Início de Trabalho	

Figura B.2. Aplicação de monitorização das linhas de montagem (planeamento semanal por linha).

APÊNDICE D – APLICAÇÃO PARA VERIFICAÇÃO DE LINHA

Este apêndice apresenta a aplicação para verificação de linha e as suas funcionalidades na ótica do utilizador.

Esta aplicação foi desenvolvida em *Microsoft Access/VBA*, possui dois *front-ends* distintos, um para a Bancada de Preparação de *Feeders* e outro para as linhas de montagem.

Front-end da Bancada de Preparação de Feeders:

Inicialmente o utilizador tem ao seu dispor três opções, bem como a indicação dos *feeders* disponíveis, nesta fase apenas tem essa indicação para os *feeders* mecânicos.

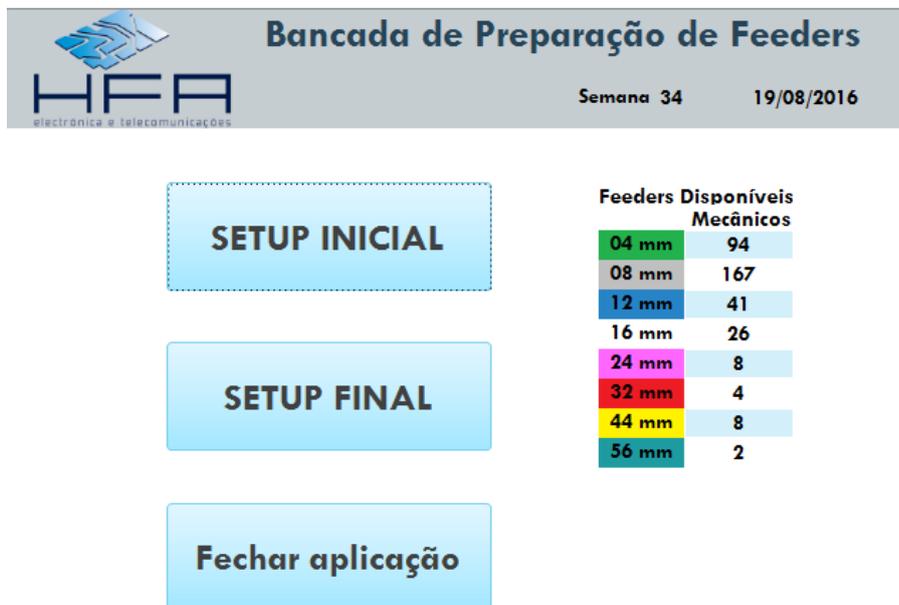


Figura D.1. *Front-end* da Bancada de Preparação de *Feeders*.

Ao seleccionar a opção “Setup Inicial”, é solicitado ao utilizador que introduza determinados dados, de acordo com a Figura D.2, através de um leitor de código de barras.

Bancada de Preparação de Feeders
Semana 34 19/08/2016

Operador:
OF:
Produto:
Operação:

Voltar ao início

Figura D.2. Front-end da Bancada de Preparação de Feeders – Introdução de dados.

Apenas depois de concluir a introdução de dados corretamente é que a aplicação avança para a preparação dos *feeders* propriamente dita, onde o utilizador irá efetuar o emparelhamento das bobines dos componentes com os *feeders* compatíveis.

Bancada de Preparação de Feeders
SETUP INICIAL Semana 34 19/08/2016

OF: OF000000 Produto: TESTE Operação: TOP

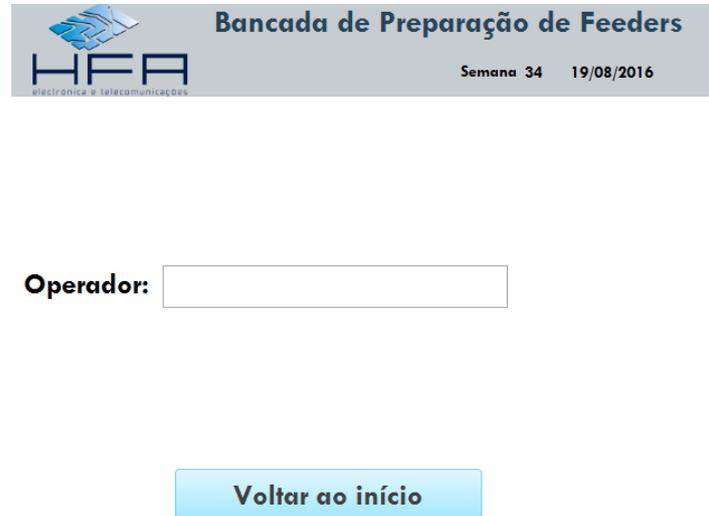
Feeder	Componente			
M-24-0003	2380020035304R	OF000000	TOP	✘
M-24-0002	2380020035304R	OF000000	TOP	✘
M-16-0001	2230105070006R	OF000000	TOP	✘
M-24-0001	2380020035304R	OF000000	TOP	✘

Feeder: **Bobine:**

Finalizar

Figura D.3. Front-end da Bancada de Preparação de Feeders – Emparelhamento.

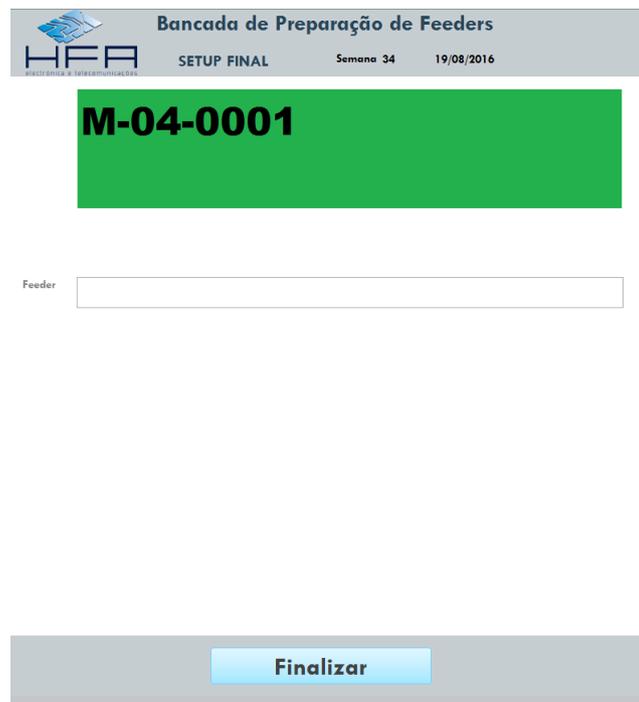
Por sua vez, se no menu inicial, Figura D.1, o utilizador seleccionar “Setup Final”, apenas lhe é solicitado a introdução do seu código de operador.



The screenshot shows the top header of the application with the HFA logo (Electrónica e Telecomunicações) on the left, the title 'Bancada de Preparação de Feeders' in the center, and 'Semana 34 19/08/2016' on the right. Below the header, there is a label 'Operador:' followed by an empty text input field. At the bottom center, there is a blue button with the text 'Voltar ao início'.

Figura D.4. *Front-end* da Bancada de Preparação de *Feeders* – Setup Final.

Após a introdução do código de operador, este já poderá “picar” o código de barras de cada *feeder*, colocando-o na lista de disponíveis.

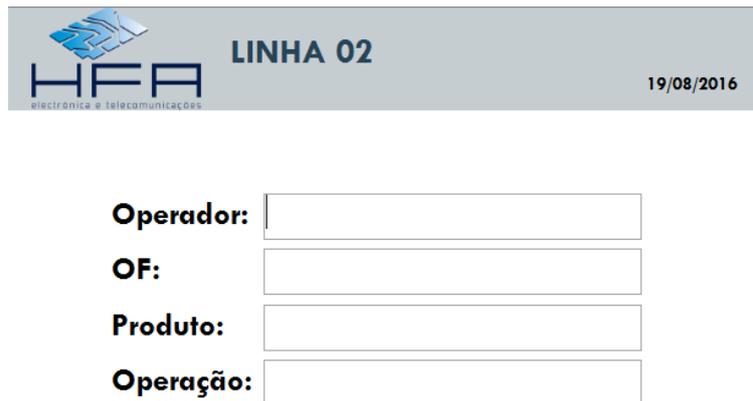


The screenshot shows the same header as Figure D.4. Below the header, the text 'SETUP FINAL' is visible. A large green rectangular area contains a black barcode with the alphanumeric code 'M-04-0001' printed above it. Below this area, there is a label 'Feeder' followed by an empty text input field. At the bottom center, there is a blue button with the text 'Finalizar'.

Figura D.5. *Front-end* da Bancada de Preparação de *Feeders* – Setup Final (remover feeders).

Front-end da Linha de Assemblagem:

Nas linhas de assemblagem o utilizador terá que iniciar o processo e de seguida introduzir determinados dados, de acordo com a Figura D.6, através de um leitor de código de barras.



The screenshot shows a grey header bar with the HFA logo (electrónica e telecomunicações) on the left, 'LINHA 02' in the center, and the date '19/08/2016' on the right. Below the header, there are four input fields with labels: 'Operador:', 'OF:', 'Produto:', and 'Operação:'.

Figura D.6. *Front-end* da Linha de Assemblagem (introdução de dados).

Após esta etapa, terá à disposição duas opções, além daquela para terminar o processo. A primeira destas refere-se à colocação dos *feeders* e a outra à substituição de *feeders* caso se detete o mau funcionamento dos mesmos.



The screenshot shows a grey header bar with the HFA logo (electrónica e telecomunicações) on the left, 'LINHA 02' in the center, and the date '19/08/2016' on the right. Below the header, there is a menu with three options: 'Iniciar Colocação' (light blue button), 'Substituir Feeder' (light blue button), and 'Terminar' (red button). The header also displays 'OF: OF000000', 'Operação: TOP', and 'Produto: TESTE'.

Figura D.7. *Front-end* da Linha de Assemblagem (menu intermédio).

Caso o utilizador opte pela primeira opção, este irá efetuar a leitura do código de barras do componente na bobine e a aplicação indicará qual a *slot* correta do sistema *Pick & Place* em que deverá alocar o conjunto *feeder* + bobine.



Figura D.8. *Front-end* da Linha de Assemblagem (colocação no sistema *Pick & Place*).

Depois de terminar a colocação, o utilizador deve continuar para a verificação de linha, onde irá confirmar todo o processo, desde a Bancada de Preparação de *Feeders* até à colocação no sistema *Pick & Place*.

Para o efeito, o utilizador irá “picar” os códigos correspondentes às *slots* do sistema *Pick & Place* e o código dos *feeder* alocados nessas mesmas *slots*. A aplicação indicará se existe algum erro e caso exista, indicar a *slot* correta para aquele *feeder*. Também informará o utilizador aquando o término da verificação.



Figura D.9. *Front-end* da Linha de Assemblagem (verificação – “Não OK!”).



Figura D.10. *Front-end* da Linha de Assemblagem (verificação – “OK!”).



Figura D.11. *Front-end* da Linha de Assemblagem (verificação terminada).

Por sua vez, se no menu intermédio, Figura D.7, o utilizador seleccionar “Substituir *Feeder*”, será encaminhado para a lista de *feeders* correspondente àquele produto. E desta forma, após “picar” o código do *feeder* em mau funcionamento, irão surgir indicações para o remover o mesmo da lista e de seguida terá que proceder ao emparelhamento de um novo *feeder* com a respetiva bobine com os componentes.

Esta aplicação está associada a uma base de dados onde guarda toda a informação, tais como tempos, nome do operador, erros, entre outros (Figura D.12).

CódigoOperador	NomeOperador	OF	Produto	Operação	Feeder	Componente	Posto	Estado	Ação	Slot	Tempo
0000	admin	OF101010	TESTE	TOP	M-16-0001	2230105070006R	LINHA02	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	12/07/2016 18:36:35
0000	admin	OF101010	TESTE	TOP	M-16-0001	2230105070006R	LINHA02	SETUP INICIAL	REMOVIDO	N/A	13/07/2016 14:52:44
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-16-0015	2220010330319R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F22	21/07/2016 15:29:51
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0101	2210027601007R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F24	21/07/2016 15:30:08
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-16-0005	2410360001704R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F26	21/07/2016 15:30:27
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0099	2013180430305R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F28	21/07/2016 15:30:40
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0020	2015360310001R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F29	21/07/2016 15:30:51
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0097	2105330404707R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F30	21/07/2016 15:31:01
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0019	TYCO00066	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F31	21/07/2016 15:31:13
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0093	2014604200306R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F32	21/07/2016 15:31:23
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0129	2201000002119R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F33	21/07/2016 15:31:34
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-16-0009	2410450007111R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F36	21/07/2016 15:31:55
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0096	2015200310314R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F38	21/07/2016 15:32:05
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0078	2012120200312R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F40	21/07/2016 15:32:14
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0041	2320410710206R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F42	21/07/2016 15:32:23
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0104	2014300200310R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F44	21/07/2016 15:32:32
0039	Bruno Carvalho	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-12-0002	2220010330043R	LINHA02	SETUP INICIAL	VERIFICADO	F48	21/07/2016 15:32:55
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0093	2014604200306R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:23:30
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0104	2014300200310R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:24:22
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-16-0009	2410450007111R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:25:18
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-12-0002	2220010330043R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:27:33
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0099	2013180430305R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:28:20
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0096	2015200310314R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:31:48
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0129	2201000002119R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:34:21
0353	Vitor Pereira	OF162597	53850273RSMD	TOP	M-08-0101	2210027601007R	BANCADA	SETUP INICIAL	ADICIONADO	N/A	21/07/2016 12:35:45

Figura D.12. Dados recolhidos da aplicação de verificação de linha.