

Redução do tempo de troca de referência numa máquina de montagem de componentes para automóvel

Miguel Filipe Matos Carneiro

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professor Paulo Luís Cardoso Osswald



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2018-07-10

“Science is about knowing, engineering is about doing”

Henry Petroski

Resumo

Este projeto visou desenvolver um conjunto de propostas de melhoria para reduzir o tempo de troca de referência numa linha de produção de componentes para automóvel e estabelecer um plano de controlo da eficácia das propostas efetivamente implementadas.

O projeto foi desenvolvido aplicando a metodologia SMED dos princípios do *Lean Manufacturing*.

A realização deste trabalho iniciou-se com a observação geral de toda a linha de produção. Para cumprir os limites de tempo disponíveis para a realização do projeto, focou-se o trabalho num dos tipos de máquina da secção de tubos híbridos. Efetuou-se um levantamento do histórico de produção do parque de máquinas desta área da Empresa (três tipos de máquinas distintas). Concluiu-se que seria mais produtivo estudar e melhorar as trocas de referência nas máquinas de tubos híbridos.

Agruparam-se os dados relativos aos diferentes tipos de trocas de referência para facilitar a análise e desenvolvimento da resolução do problema. Registou-se em vídeo cada tipo de troca e analisou-se cada tarefa efetuada durante a troca, o tempo consumido e as distâncias percorridas. Sugeriram-se melhorias para reduzir o tempo de algumas das tarefas, normalizou-se e documentou-se o processo para reduzir a dispersão nos tempos de troca. Adicionalmente, idealizou-se a alteração do *layout* da zona a montante das máquinas alvo de estudo, de forma a criar um fluxo de matéria prima mais homogéneo.

Devido ao tempo limitado para a realização deste trabalho, nem todas as propostas aceites puderam ser ainda implementadas.

Dos resultados finais deste projeto realizado em ambiente industrial, salientam-se:

- Aumento do índice de disponibilidade das máquinas em cerca de 4%;
- Redução de cerca de 25% na duração média de troca em cada uma das duas máquinas em análise, o que permite produzir mais 74800 peças anualmente, correspondendo a um aumento de produção de 1,65% e um aumento do lucro anual em 8976€. O retorno do investimento deste projeto verificar-se-á em 4 meses;
- A melhor formação e motivação do pessoal, que a médio prazo permitirá consolidar e melhorar os resultados acima referidos.

Existem ainda propostas em vias de aprovação que se estimou poderem reduzir o tempo médio de troca de referência em cerca de 5%, fazendo aumentar a produção para mais 14960 peças por ano.

Elaboraram-se também medidas de controlo como a conceção de um quadro visual de desempenho e a realização de auditorias semestrais a todo o processo.

Palavras-chave

Lean Manufacturing, SMED, *Setup*, Troca Rápida de Ferramenta, Normalização de Procedimentos

Changeover time reduction in a machine for automotive parts assembly

Abstract

This project aimed to provide a set of recommendations for improvement to reduce the changeover time in an automotive parts assembly line and to establish a control plan for its effectiveness in the long run.

It was developed applying the SMED methodology and the principles of Lean Manufacturing.

The ground work began with the general observation of the entire production line. Due to the short time available for the project, it was decided to focus on just one type of machines (“oval” tube machines, plate machines and hybrid tube machines) and soon it was realized that it would be more productive to study the changeovers in hybrid tube machines.

The different types of changeovers were grouped to facilitate the analysis and work in solving the problem. Each type of changeover was recorded in video and analyzed regarding every task performed, time consumed in each as well as the distance the worker had to travel. After that we were able to suggest improvements to reduce the time of some of the tasks and we standardized and documented the process in order to reduce the variation in exchange times. We also conceived the change of the layout of the supply zone of the hybrid tube machines in order to ease the flow of raw supplies.

Owing to the limited timeframe for this work, not all final proposals have been implemented yet.

At the end of this project developed in a real industrial setting, some gains were already apparent:

- Increase of the availability index of the machines: 4%;
- Reduction of around 25% in the total changeover time in each machine, allowing an extra 74800 parts production per year (a 1.65% increase in the production rate) and a net profit of 8976 €. The return on investment for this project will be around 4 months;
- A better education and motivation of the staff, probably enabling the enhancement of the abovementioned results in the near future.

There are also pending proposals, which are estimated to be able to reduce the average changeover time by about 5%, increasing production to over 14960 hybrid tubes per year.

There were establish some control measures as a visual performance framework and conduct bi-annual audits of the entire process.

Recommendations have been laid for the future, in order to further improve the indicators, such as a preventive maintenance program or the formation of dedicated teams to perform changeovers.

Keywords

Lean Manufacturing, SMED, Setup, Quick Changeover, Standard Work

Agradecimentos

Na realização deste projeto contei com a colaboração e entusiasmo de todos os trabalhadores e da administração da BorgWarner Emissions Systems Portugal. A todos agradeço a forma como me receberam e como me proporcionaram as condições para realizar o meu trabalho.

À minha equipa, que se mostrou sempre disponível para me auxiliar no projeto e me orientou nas ideias que iam surgindo.

À Equipa da Qualidade da BorgWarner Emissions Systems Portugal, pelo bom ambiente e ajuda durante o projeto.

Ao meu orientador na Empresa, Eng. André Lamosa de Almeida Seara, um agradecimento especial, pela facilitação da minha rápida integração e orientação no mundo prático da atividade industrial.

Ao meu orientador de tese, Professor Paulo Luís Cardoso Osswald, agradeço o empenho com que me apontou o caminho a seguir e corrigiu os inevitáveis desvios que o projeto inicial foi sofrendo.

À Helena, um agradecimento especial por ter estado sempre ao meu lado e ter sido um apoio incansável desde o início deste projeto.

Um agradecimento particularmente sentido à minha família, pelo o apoio e incentivo que me transmitiram para levar a cabo esta dissertação e a compreensão que tiveram para as horas de convívio que lhes subtraí durante a sua execução.

Tabela de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	A Empresa “BorgWarner Emissions Systems Portugal”	1
1.3	Desenvolvimento do projeto na BorgWarner	3
1.4	Estrutura da Dissertação	5
2	Revisão do estado da arte	6
2.1	Lean Manufacturing	6
2.2	Single-Minute Exchange of Die (SMED)	10
2.3	Setup	13
3	A linha de montagem de tubos híbridos	15
3.1	Processo de produção de tubos híbridos	17
3.2	Objetivos de performance	18
3.3	Parque de máquinas na linha de tubos híbridos	19
3.4	Definição do foco de atuação	20
3.5	Processo de alteração da configuração da máquina de tubos híbridos	24
3.6	Práticas de registo de tempos	25
3.7	Desempenho atual	25
4	Projeto de melhoria do índice de disponibilidade das máquinas	28
4.1	Tempo gasto nas atividades de troca de referência	28
4.2	Diferença de tempos nos diferentes turnos	29
4.3	Distâncias percorridas durante a mudança de setup	30
4.4	Custos associados à troca de referência	31
4.5	Constituição da equipa e planeamento das tarefas	32
4.6	Oportunidades de melhoria	33
4.7	Resultados	45
4.8	Controlo	47
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	49
5.1	Conclusões	49
5.2	Trabalho futuro	50
6	Referências	51
	ANEXO A: Excerto de documento de apoio à recolha de dados de <i>setup</i>	53
	ANEXO B: Excerto de listagem de operações e tempos de execução	54
	ANEXO C: Diagrama spaghetti dos percursos nas trocas de referência	55
	ANEXO D: Numeração das máquinas	56
	ANEXO E: Excerto de matrizes de troca de referência	57
	ANEXO F: Standard Work Combination Sheet	58
	ANEXO G: Proposta de layout da área de “supermercado”	59

Siglas e acrónimos

EGR	<i>Exhaust Gas Recirculation</i> (Recirculação de Gás de Escape)
FTT	First Time Through (Produção à Primeira Tentativa)
JIT	<i>Just in Time</i> (No Tempo Certo)
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicadores Chave de Performance)
MP	Muda apenas a ferramenta da prensa
MQE	<i>Manufacturing Quality Engineer</i> (Engenheiro de Qualidade de Produção)
MQT	<i>Manufacturing Quality Technician</i> (Técnica de Qualidade de Produção)
MT	Muda tudo
MTTPI	Muda o <i>transfer</i> do tubo, a prensa e a inserção
MT-F	Muda tudo, exceto o filme
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficácia Geral de Equipamento)
PL	<i>Product Leader</i> (Líder de Produto)
ROI	<i>Return on Investment</i> (Retorno do Investimento)
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i> (Troca de Ferramenta em menos de 10 minutos)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
TPS	<i>Toyota Production System</i> (Sistema de Produção Toyota)
WIP	<i>Work in Progress</i> (Trabalho em Progresso)

Índice de Figuras

Figura 1 – A BorgWarner Inc. em números.....	2
Figura 2 - Instalações da BorgWarner Emissions Systems Portugal	2
Figura 3 – Primeira versão do diagrama temporal do projeto	4
Figura 4 - Casa do TPS (adaptado de Pinto, 2014).....	6
Figura 5 - <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	10
Figura 6 - Distribuição das atividades de <i>setup</i> segundo Shingo (1985).....	14
Figura 7 - Cooler EGR BorgWarner	15
Figura 8 - Tubo híbrido.....	16
Figura 9 - Tubo “oval”.....	16
Figura 10 - Placa ondulada.....	16
Figura 11 - Processo de estampagem de placas	17
Figura 12 - Processo de fabrico de tubo “oval”.....	18
Figura 13 - Processo de montagem de tubos híbridos	18
Figura 14 - Quadro KPI's da linha de tubos híbridos. (Março de 2018).....	19
Figura 15 - Layout da linha de tubos híbridos em fevereiro de 2018.....	20
Figura 16 - Pontos de troca na máquina de tubos híbridos	24
Figura 17 - Diagrama temporal do processo de <i>setup</i>	25
Figura 18 - Duração de trocas de referência em cada máquina de tubos híbridos.....	26
Figura 19 - Contribuição de cada tipo de atividade para o tempo total de cada tipo de <i>setup</i>	29
Figura 20 - Duração de troca de referência por turno, tipo e máquina	30
Figura 21 – Diagrama <i>spaghetti</i> (MT) na máquina 2 de tubos híbridos, no turno 1	31
Figura 22 - Novo cartão de requisição de ferramenta da prensa da máquina 2	34
Figura 23 - Movimentação da ferramenta da prensa (Atual Vs. Proposta para futuro).....	36
Figura 24 - Armazenamento das peças para troca de referência no início do projeto	36
Figura 25 - Armazenamento 5S identificado por cores.....	37
Figura 26 - Sugestão de melhoria com marcação no ajuste dos alimentadores.....	38
Figura 27 - Fixação da lança de inserção e nova sugestão de fixação	39
Figura 28 - Sugestão de fixação da ferramenta da prensa	39
Figura 29 - Possível sistema de retenção da ferramenta da prensa	40
Figura 30 - Fixação da prensa e proposta de chave de roquete com extensão	40
Figura 31 - Cantoneira e sua localização na troca de referência do tipo "MT" na máquina 1	41
Figura 32 - Exemplo de identificação e colocação das chaves de aperto	42
Figura 33 - Bancadas em uma das áreas da máquina 2	42
Figura 34 - Fluxo de material na linha de tubos híbridos (Início do projeto Vs. proposta).....	45
Figura 35 - Quadro de controlo visual do processo de troca de referência	47

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Caracterização de cada família de produto no ano de 2017	17
Tabela 2 - Histórico de disponibilidade das máquinas (agosto 2017- janeiro 2018)	20
Tabela 3 - Distribuição das componentes do índice de disponibilidade	21
Tabela 4 - Número de casos e mediana da duração das trocas de referência na máquina 1 de tubos híbridos	22
Tabela 5 – Número de casos e mediana da duração das trocas de referência na máquina 2 de tubos híbridos	22
Tabela 6 - Dados das trocas de referência nos meses de fevereiro e março de 2018	26
Tabela 7 - Dados das trocas de referência nos meses de agosto de 2017 a janeiro de 2018	26
Tabela 8 - Nº de casos de tipo de troca de referência em cada um dos turnos.....	29
Tabela 9 – Distâncias média percorridas pelo operário consoante o tipo de <i>setup</i>	31
Tabela 10 - Custos de troca de referência	32
Tabela 11 - <i>Payback</i> da alteração do cartão de requisição de ferramenta.....	34
Tabela 12 - <i>Payback</i> da implementação das melhorias na identificação	37
Tabela 13 - <i>Payback</i> da implementação das melhorias nos alimentadores	38
Tabela 14 - <i>Payback</i> da implementação do circuito hidráulico	40
Tabela 15 - Ferramentas utilizadas no <i>setup</i> nas máquinas de tubos híbridos	41
Tabela 16 - <i>Payback</i> da implementação da localização de ferramentas.....	42
Tabela 17 - Dados para eventual cálculo do retorno de investimento da solução do botão no controlador	43
Tabela 18 - <i>Payback</i> da implementação de um servo-motor na guia da calha do filme	44
Tabela 19 - Comparação dos tempos antes VS. após SMED	45

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O projeto desenvolvido nesta Dissertação surgiu da necessidade de melhorar a eficácia numa das linhas de produção de uma empresa de componentes para o setor automóvel. Nesta empresa, a “BorgWarner Emissions Systems Portugal”, o problema ocorre na linha de produção de tubos híbridos para *coolers* EGR e recuperadores de calor.

Dado o panorama atual da indústria automóvel onde se assiste a uma tentativa de reduzir as emissões de óxidos de azoto, a Administração da unidade fabril de Viana do Castelo prevê para os próximos anos um aumento da utilização dos componentes criados nesta linha de produção. Assim, definiu como objetivos estratégicos a otimização dos níveis de eficiência e eficácia produtiva e a melhoria da flexibilidade desta linha de produção, permitindo produzir com maior rapidez lotes com especificações diferentes (referências), conforme as necessidades dos clientes.

Esta linha funciona em regime de laboração contínua. Em 2017 produziu 14.748.354 placas onduladas, 6.802.310 tubos “ovais” e 4.548.328 tubos híbridos.

Está equipada com três tipos de máquinas que param apenas por avaria ou necessidade de alteração da configuração, para produzir um lote de componentes diferente (troca de referência). O número de trocas de referência de lote varia entre 1 a 3 por semana. Em 2017 efetuaram-se 254 trocas de referência, com uma duração média de 88 minutos.

Neste cenário, a redução do tempo da configuração da máquina para fabricar um novo lote de componentes adquire uma importância relevante, ao reduzir o desperdício de tempo e permitir um aumento da faturação da empresa ao disponibilizar tempo para produção de maior número de peças de referências diferentes.

O trabalho incide particularmente na análise do processo de troca de referência da linha de produção de tubos híbridos. Pretende obter evidência qualitativa e quantitativa que permita elaborar propostas para minimizar a duração desse processo (que não acrescenta valor ao produto final) e monitorizar o aumento de eficiência obtido.

1.2 A Empresa “BorgWarner Emissions Systems Portugal”

A “BorgWarner Inc.” é uma empresa multinacional de origem norte-americana que atua no setor da produção de peças para automóveis. O objetivo da empresa centra-se no desenvolvimento de tecnologias que permitam melhorar o consumo de combustível, reduzir as emissões de gases de escape e aumentar o desempenho dos veículos automóveis.

Detentora de extensa carteira de clientes, a “BorgWarner Inc.” está presente num total de 67 localizações, distribuídas por 18 países, na Europa, América, África e Ásia, tendo 29000 empregados (Figura 1).

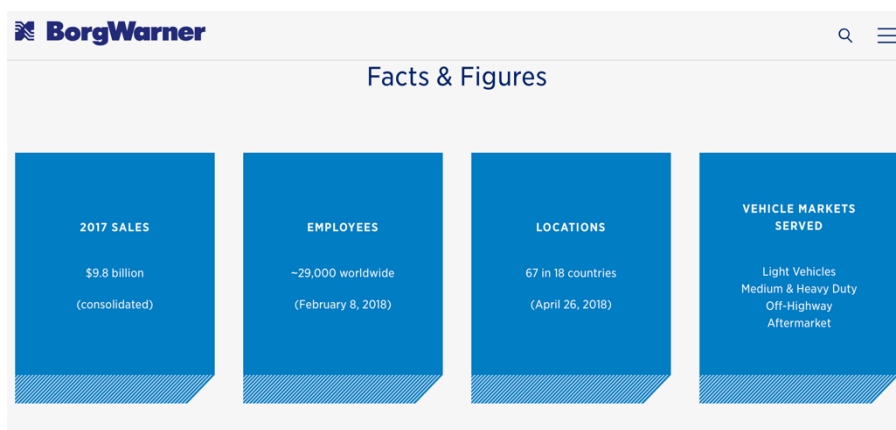


Figura 1 – A BorgWarner Inc. em números

(Fonte: <https://www.borgwarner.com/company>, acessado em 10/04/2018)

A “BorgWarner Emissions Systems Portugal” é uma das empresas do grupo, localizada no Parque Empresarial de Lanheses desde 2014 (Figura 2).

Emprega atualmente cerca de 820 pessoas, embora as perspetivas de crescimento para os próximos anos levem a crer que esse número virá a aumentar.



Figura 2 - Instalações da BorgWarner Emissions Systems Portugal

A BorgWarner Emissions Systems Portugal está certificada segundo as seguintes normas:

- IATF 16949: Norma que se refere ao sistema de controlo de qualidade. É atribuída a empresas que apostam na melhoria contínua, prevenção de defeitos e redução de variabilidade e desperdício na área de produção;
- ISO 14001: Norma que define uma série de exigências no que diz respeito à implementação de um sistema ambiental dentro da organização.

A Empresa dá especial ênfase às condições de trabalho de forma a que estas proporcionem a máxima segurança aos seus colaboradores. Monitoriza de perto as condições de saúde dos mesmos de forma a garantir o bem-estar de todo o pessoal.

Um dos focos da Empresa é o melhorar cada vez mais os níveis de segurança, pela prevenção ou eliminação de fatores de risco, evitando assim maiores custos sociais e económicos.

Atualmente, o *portfólio* de produtos desta fábrica está direcionado para os sistemas de emissão e sistemas térmicos de gases de escape. Fazem parte desta gama produtos como tubos EGR, *coolers* EGR, módulos EGR e módulos de controlo de velas incandescentes, entre outros.

1.3 Desenvolvimento do projeto na BorgWarner

1.3.1 Objetivos

O objetivo primário do projeto é elaborar um conjunto de propostas de melhoria para reduzir o tempo despendido na mudança de referência na linha produção de tubos híbridos e elaborar um plano de monitorização da continuidade e eficácia dessas propostas.

Uma vez que as áreas produtivas caracterizadas pela existência de multiprodutos obrigam a alterações complexas na configuração das máquinas que ocupam tempo valioso sem valor acrescentado, é de extrema importância que se reduza esse tempo¹.

Ao reduzir o tempo de troca de referência está-se a aumentar a capacidade da linha produtiva. Ao mesmo tempo, conseguem-se produtos finais mais diferenciados, o que refletirá um aumento da flexibilidade.

Além disso, é de esperar que os conhecimentos que se venham a obter através da análise aqui presente, sirvam como base para uma melhoria geral do parque de maquinaria existente na BorgWarner Emissions Systems Portugal, incluindo outras máquinas além das da linha de produção estudada.

1.3.2 Método

O projeto foi desenvolvido aplicando a metodologia SMED dos princípios do *Lean Manufacturing*.

O planeamento assentou nas 5 fases principais, em que se alocou cada uma das tarefas SMED a cada um dos grandes grupos mencionados.

A primeira parte do projeto desenrolou-se quase exclusivamente no Departamento de Qualidade, onde se procedeu a uma análise da estrutura, objetivos e processos produtivos da Empresa, incidindo principalmente na área inerente ao projeto (Área de produção de tubos híbridos). Procedeu-se ainda à recolha e tratamento do histórico de dados relativos às máquinas existentes na área em questão.

¹ O tempo necessário para alteração de uma máquina na linha de produção para produzir lote de referência diferente, definido desde a sua paragem, alteração de configuração e ajustes até produzir a primeira peça de qualidade do próximo lote, habitualmente designado por “*setup*”, é designado na BorgWarner por “Troca de referência”. As duas expressões serão utilizadas com o mesmo significado, ao longo deste trabalho.

A segunda parte foi desenvolvida tanto no chão de fábrica (“*shop floor*”), onde se procedeu à recolha direta de dados, como no Departamento de Qualidade, para análise posterior.

A implementação das melhorias realizou-se no “*shop floor*” da linha de produção de tubos híbridos.

Elaborou-se no início um diagrama temporal, com o intuito de evitar derrapagens a nível de prazos e para um melhor controlo do projeto (Figura 3).

Por sugestão da Empresa, inseriu-se neste plano a realização de *workshops* para os operários da linha de tubos híbridos que estão diretamente relacionados com este projeto, bem como para outros elementos do Departamento de Produção com o objetivo de lhes dar a conhecer as atuais práticas das trocas de referência e discutir e incutir novos métodos para diminuir o tempo de troca.

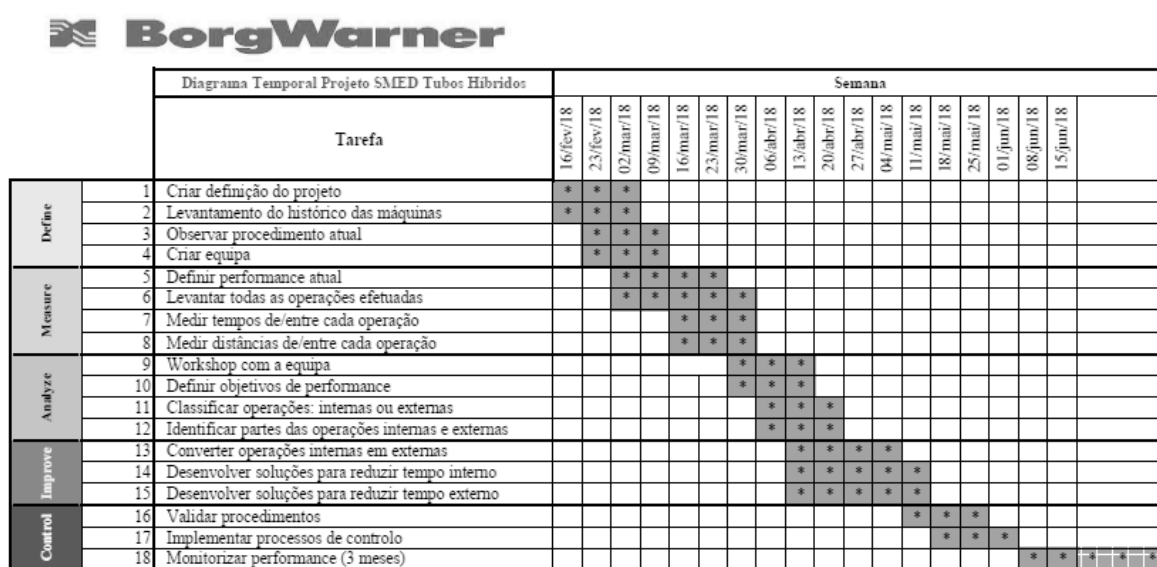


Figura 3 – Primeira versão do diagrama temporal do projeto

O trabalho no *shop floor*, consistiu sobretudo na recolha de dados numéricos e ainda registos em vídeo realizados com uma *action camera* colocada no tronco do operador da máquina onde se realizava a troca de referência. Assim se puderam analisar com maior pormenor e rigor as operações efetuadas e se evitou a dependência de outros elementos da equipa para a recolha de todos os dados da troca de referência (tarefas, tempo e distâncias percorridas).

Esta recolha de dados foi efetuada após aprovação por parte do Departamento de Recursos Humanos, da equipa do projeto e ainda dos próprios operários.

Para a análise estatística dos resultados, recorreu-se à aplicação “MiniTab 17 Statistical Software” (Minitab Ltd, Coventry, Inglaterra).

Utilizaram-se os testes ANOVA, estabelecendo-se como estatisticamente significativo um valor de $p < 0,05$.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação está dividida em 5 capítulos, divididos em subcapítulos.

No capítulo introdutório, enquadra-se brevemente o problema a estudar, a empresa onde decorreu o trabalho e a metodologia empregue.

No segundo capítulo, apresenta-se uma breve revisão dos conceitos abordados ao longo da Dissertação, nomeadamente do *Lean Manufacturing*, conceitos de *setup* e a metodologia que serve de suporte teórico ao trabalho: *Single-Minute Exchange of Die*. Com base nessa metodologia foi possível identificar, explorar e estruturar o estudo do problema principal do projeto.

No terceiro capítulo, apresentam-se os produtos finais da linha produtiva e as máquinas que fazem parte da transformação deste mesmo produto. Descreve-se o processo produtivo e revelam-se dados relativos à sua produção nos seis meses imediatamente anteriores ao projeto. Este capítulo define o foco de atuação, expõe o processo de troca de componentes nas máquinas de tubos híbridos. Descreve ainda as boas práticas de registo e o desempenho dos operadores, no que diz respeito às trocas de referência.

No quarto capítulo analisam-se o tempo gasto nas diferentes fases do processo de troca de referência, as diferenças de desempenho entre os diferentes turnos e os diferentes percursos percorridos durante os *setups*. Explicitam-se os custos associados às trocas de referência, descreve-se a constituição da equipa de trabalho e apresenta-se a lista de recomendações de melhoria derivadas dos dados analisados. Faz-se uma análise do retorno de investimento destas mesmas soluções. Por fim, elabora-se um plano de controlo que constitui a forma de garantir a boa evolução do processo após a implementação das melhorias. Neste capítulo existe um subcapítulo onde se discriminam os resultados finais resultantes da aplicação da metodologia deste projeto. Analisam-se também a redução de custos esperada e o aumento do volume de faturação da Empresa após a aplicação destas soluções.

O último capítulo sintetiza as considerações finais sobre o trabalho. Refere ainda as perspetivas de trabalhos futuros, corolário do trabalho já desenvolvido.

2 Revisão do estado da arte

Justifica-se agora um breve enquadramento da filosofia *Lean Manufacturing*, tanto a sua origem como princípios, bem como das técnicas nela aplicadas. Uma vez que o foco deste projeto se baseia na metodologia SMED, este tema foi também objeto de revisão, explicando não só a sua origem como também os métodos de implementação e as vantagens que advêm da sua aplicação na produção industrial.

2.1 *Lean Manufacturing*

A competitividade mundial de um mercado cada vez mais global leva a que as novas abordagens de produção das empresas sejam cada vez mais cruciais. Com clientes cada vez mais exigentes no que diz respeito à qualidade de produtos e rigorosos quanto aos prazos de entrega, é necessário que as empresas adotem novas técnicas produtivas com vista ao aumento de eficiência de modo a satisfazerem os requisitos dos clientes, ao mesmo tempo que aumentam a qualidade dos seus produtos. Com vista a produzir uma gama cada vez mais alargada de produtos em lotes cada vez mais pequenos, a indústria deparou-se com a necessidade de flexibilizar mais o processo produtivo.

Desde meados do século XX a indústria tem dado uma especial atenção a uma filosofia cujo objetivo é repensar o funcionamento do sistema produtivo: *Lean Manufacturing*. Este tem como princípio básico a identificação e eliminação sistemática de desperdícios através da melhoria contínua, possibilitando o aumento da flexibilidade e da competitividade das organizações (Womack e Jones, 1996).

2.1.1 *Origem e enquadramento*

O conceito *Lean Manufacturing* é entendido como uma evolução de uma outra filosofia denominada *Toyota Production System* (TPS) (Holweg, 2007).

O aparecimento do TPS remonta a uma época em que Taichii Ohno e Shigeo Shingo observaram a técnica de produção utilizada pela Ford Motor Company, a produção em massa. Ohno e Shingo preconizaram novas soluções que permitiam uma produtividade semelhante ao modelo Ford, combinada com a possibilidade de produzir variados produtos (Womack *et al.*, 1990), uma vez que era perceptível a existência de uma lacuna no que dizia respeito à capacidade de se fornecer uma vasta gama de produtos apenas com uma linha produtiva, ao invés do que faziam a Ford e General Motors, que tinham linhas dedicadas (Ohno, 1988).

A Figura 4 resume os princípios do TPS: O telhado da casa simboliza os objetivos que a empresa deve procurar atingir. Para isso, há dois pilares fulcrais para o seu sustento: JIT e *Autonomation* (neologismo que engloba a automação e a autonomização) – (*Jidoka* em japonês). Segundo Ohno (1988), a produção num sistema JIT significa produzir apenas o necessário, na quantidade necessária e no momento necessário de entrega, a fim de reduzir o desperdício na empresa.

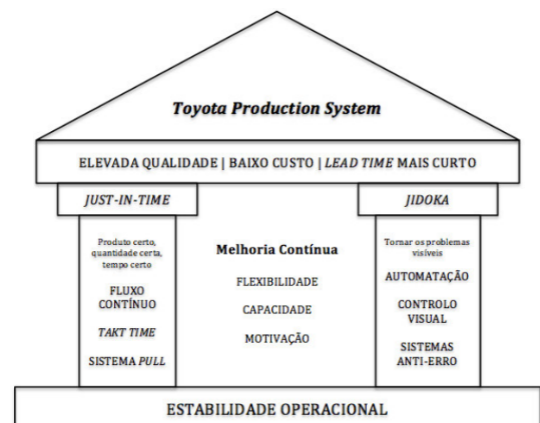


Figura 4 - Casa do TPS (adaptado de Pinto, 2014)

A *Autonomation*, corresponde à tarefa de automatizar previamente a máquina para que o operador se possa ocupar de outros aspetos mais relevantes (por exemplo: o controlo de outras máquinas) como também de incorporar mecanismos de paragem.

2.1.2 Princípios

Com vista a colocar no mercado produtos mais competitivos e sem perda de níveis de qualidade, as empresas basearam-se na filosofia *Lean Manufacturing* para desenvolver técnicas que permitissem minimizar perdas e custos.

Estas técnicas assentam em cinco princípios fundamentais, que servem de base à filosofia *Lean Thinking* (Womack e Jones, 1996):

- Valor: este conceito requer que se identifique valor no ponto de vista do cliente;
- Cadeia de Valor: Este princípio recai sobre a identificação de todos os processos necessários para a obtenção do produto final, sendo que tudo o que não acrescentar valor ao produto final deverá ser descartado;
- Fluxo: Este princípio assenta na ideia de que se deve obter uma fluidez de processos para criar um fluxo ininterrupto. Espera-se, portanto, uma redução do *lead time* e dos *stocks* intermédios (Womack e Jones, 2003);
- Sistema *Pull*: Neste tipo de sistema a produção de um determinado produto apenas é iniciada quando é solicitado um pedido por parte do cliente (interno ou externo). Desta forma, eliminam-se os desperdícios resultantes de uma produção excessiva;
- Melhoria Contínua: Foco em atingir a perfeição. Sabendo que esta é inatingível, é sempre possível melhorar a partir da situação atual. Conceito também conhecido por *Kaizen*, em que se procura eliminar desperdícios ao mesmo tempo que se cria valor.

2.1.3 Tipos de desperdícios

O principal objetivo do *Lean* é a eliminação por completo dos desperdícios; entenda-se por desperdício tudo o que, ao mesmo tempo que não acrescenta valor ao consumidor, aumenta o custo do produto ou o tempo despendido (Machado, 2007). A *Toyota* identificou três tipos de desperdícios: *muda*, *mura* e *muri*.

- *Muda* – Aquilo que é encarado como desperdício e que deverá ser reduzido ou eliminado uma vez que não acrescenta valor e pelo qual o cliente não está disposto a pagar (Found *et al.*, 2008);
- *Mura* – Traduz a variabilidade do processo, referindo-se às irregularidades ou inconsistências (Found *et al.*, 2008). Este tipo de desperdício pode ser eliminado através da normalização de processos, tornando os processos mais estáveis e controláveis;
- *Muri* – Sobrecarga, de pessoas ou máquinas (Found *et al.*, 2008). Este tipo de desperdício ocorre como reação ao *mura* e *muda* procurando recuperar atrasos ou ainda tentando reduzir os excessos resultantes do *mura*.

Shingo identificou sete *mudas* importantes aquando da implementação do TPS (Found *et al.*, 2008):

- Excesso de produção: Ohno (1998), considera este um dos desperdícios mais sérios e que oculta outros desperdícios. O objetivo deve ser produzir apenas o que é pedido, na altura e quantidade pedidas;
- Tempos de espera: Períodos de inatividade em que os recursos ou informação não se encontram disponíveis quando necessários, resultando assim em maiores *lead-times*;
- Movimentação: Deslocações e movimentos desnecessários de pessoas, tanto no posto de trabalho como fora dele;
- Transporte: A movimentação do produto não acrescenta valor ao produto e, como tal, deve ser eliminada pois apenas se traduz num aumento de custos;
- Excesso de processamento: Processos que obtêm especificações mais complexas do que aquelas que foram identificadas pelo cliente, traduzindo-se num processo que não acrescenta valor ao produto;
- Inventário: Excesso de matéria-prima, WIP e produto final. Este desperdício surge de um planeamento de produção defeituoso que conduz a uma utilização de recursos e capital parado desnecessários;
- Defeitos: Processos ineficientes que fazem com que se desperdice tempo e recursos ao produzir peças defeituosas e, por isso, sem valor.

Mais tarde viria a ser adicionado um novo desperdício que realça o subaproveitamento do potencial humano (Womack e Jones, 2003).

2.1.4 Técnicas e Ferramentas

De forma a implementar a filosofia *Lean* existe um conjunto de métodos, técnicas e ferramentas que podem ser aplicados pelas empresas com vista a assegurar que se atingem os objetivos desta filosofia. Nesta secção apresentam-se apenas algumas das principais ferramentas existentes que serão utilizadas durante a realização deste projeto.

Standard Work

O *Standard Work* é uma ferramenta *Lean* que define um conjunto de procedimentos de trabalho com o objetivo de estabelecer os melhores métodos e sequências para cada processo e para cada colaborador. Todos os elementos envolvidos no processo alvo de uniformização deverão efetuar determinada tarefa da maneira documentada para evitar uma variabilidade.

Esta ferramenta é caracterizada por:

- Sequência de trabalho normalizado;
- Inventário WIP normalizado;
- Tempo de ciclo normalizado.

Deste modo, uma vez que, ao aplicar esta ferramenta, os operadores realizam as operações seguindo um padrão lógico, o *Standard Work* possibilita a identificação das atividades que são definidas como boas práticas e que minimizam os desperdícios dos operadores.

Gestão Visual

A gestão visual é uma ferramenta *Lean* que visa a simplificação dos processos, aumentando a sua eficiência e eficácia. O seu grande objetivo é a transparência uma vez que, segundo Shingo (1996), a eficácia do processo deve ser facilmente percecionada por todos. Shingo (1996) afirma a existência de diversos tipos de gestão visual, tais como a delimitação de espaços, folhas de trabalho normalizadas, cores, imagens, etc. Um dos exemplos mais conhecidos é o da sinalização luminosa “*Andon*”. Os sistemas de gestão visual, tais como quadros de produção e quadros de ferramentas, têm um papel fundamental na implementação de práticas *Lean*. Estas ferramentas podem ser utilizadas para mostrar indicadores de desempenho, planos de produção, descrição de processos e metas a atingir. Segundo Liker (2004), esta ferramenta tem provado ser um estímulo para o aumento da produtividade dos operadores.

5S

A metodologia 5S está associada ao pensamento *Lean* e à gestão visual. O seu objetivo é garantir a arrumação, organização e limpeza do posto de trabalho. “5S” deriva de 5 palavras japonesas que se iniciam por “S” e que Imai (1997) caracteriza da seguinte forma:

- **Seiri**: Consiste em selecionar apenas o que é necessário para desempenhar a tarefa, na quantidade correta. Tudo o que não é necessário é eliminado da área de trabalho;
- **Seiton**: Organização do posto de trabalho com a finalidade de reduzir os tempos de deslocação e de procura de ferramentas;
- **Seiso**: Limpeza e manutenção do posto de trabalho;
- **Seiketsu**: Normalização dos três “S’s” já implementados. Ou seja, é necessário estabelecer um padrão para este processo para ser possível mantê-lo;
- **Shitzuke**: Incutir aos colaboradores a responsabilidade de seguir esta metodologia para que este processo seja norma na organização. É necessário realizar auditorias regulares para garantir a normalização do processo.

SMED

O SMED (*Single-Minute Exchange of Die*) é uma ferramenta que visa a diminuição do tempo de troca de referência. O princípio assenta na transformação de atividades internas (aquelas que são efetuadas com a máquina parada), em tarefas externas (efetuadas com a máquina em funcionamento) e ainda na melhoria dos dois tipos de atividade com vista à redução do tempo total de cada uma delas e consequentemente o tempo de duração da troca de referência. Devido à extrema importância desta ferramenta neste projeto, será analisada com maior detalhe no ponto 2.2.

2.1.5 Overall Equipment Effectiveness

De modo a conseguir medir a eficiência de um equipamento ou de uma linha de produção, Nakajima introduziu uma métrica denominada OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) (Nakajima, 1982).

Este conceito, que se insere no *Lean Manufacturing*, é bastante útil já que ajuda a estabelecer uma lista de prioridades para uma posterior análise dos problemas identificados.

Tem-se então que a fórmula geral do OEE (2.1) é dada por:

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad (2.1)$$

Em que as três componentes do OEE (representadas na Figura 5) são:

- **Disponibilidade:** esta componente é afetada pelas avarias, *setups* e afinações do equipamento. Esta é a componente que será alvo de especial atenção no decorrer deste documento devido a ser influenciada pelo tempo de *setup*, variável principal de estudo do projeto;
- **Desempenho:** aqui estão incluídas as perdas por redução de velocidade e as micro-paragens;
- **Qualidade:** componente que é influenciada pelos defeitos e perdas de produção devido ao arranque do equipamento.

Tempo total			
Disponibilidade (B/A)	A	Tempo planeado de produção	
	B	Tempo disponível de produção	Perdas por paragens não planeadas
Desempenho (D/C)	C	Produção teórica	
	D	Produção real	Perdas de velocidade
Qualidade (F/E)	E	Peças conformes + Peças defeituosas	
	F	Peças conformes	Perdas por defeitos

Figura 5 - Overall Equipment Effectiveness

2.2 Single-Minute Exchange of Die (SMED)

No *Lean Manufacturing* existem vários métodos para reduzir desperdícios no setor produtivo sendo que o *Single-Minute Exchange of Die* é uma destas metodologias. O método visa reduzir o tempo de troca de ferramenta, alterando o produto numa linha de produção de uma forma rápida e eficiente de modo a evitar grandes perdas de produtividade, refletidas em um *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) demasiado baixo. Tarefas como mudança de ferramentas, troca de matérias-primas, ajustes, entre outras, não acrescentam qualquer valor visto que durante a sua execução nenhum produto é obtido: está-se perante um desperdício que deverá ser eliminado ou, pelo menos, reduzido. Com a implementação deste método consegue-se reduzir os custos ao mesmo tempo que se adquire uma maior flexibilidade no que diz respeito aos produtos produzidos pela empresa.

2.2.1 Origem e enquadramento

Ao longo da história, foram diversas as técnicas implementadas pela indústria com vista a maximizar a produção, reduzindo os custos inerentes às paragens das máquinas aquando da mudança de ferramentas. Uma das mais valorizadas era a produção em grandes lotes, de modo a que a frequência das mudanças ou a proporção do tempo perdido relativamente ao tempo de produção fosse o menor possível.

Porém, a indústria caminhou de forma oposta com vista a aumentar a flexibilidade, reduzindo o tamanho dos lotes e os níveis de *stock*. Era imperativo seguir nesta direção uma vez que os

clientes eram cada vez mais exigentes e valorizavam a entrega dos produtos finais no momento que desejavam.

O conceito SMED nasceu entre os finais da década de 50 e o início da década de 60, quando Shigeo Shingo tentava calcular qual a quantidade ideal de produtos que cada lote devia ter, de maneira a reduzir custos. As técnicas desta metodologia baseiam-se na experiência pessoal de Shingo ao longo dos diversos projetos em que esteve envolvido.

Analisando a problemática dos custos inerentes a *stocks* em vias de ser produzidos, o responsável da Toyota liderou um projeto de melhoria do tempo de preparação de uma prensa e verificou que a melhor maneira de reduzir o tamanho de lote de modo a flexibilizar a produção era reduzir os tempos de paragem para mudança de formato. Shingo idealizou que, para ter menores lotes e consequentemente menores custos, teria que efetuar mudanças de *setup* com paragens de tempo bem menores do que as que eram praticadas até então.

Em 1969, a operação de mudança de ferramenta demorava quatro horas e o objetivo da empresa era fazê-lo em menos tempo do que a Volkswagen, que o fazia em menos de duas horas e que era, naquele momento, uma das principais concorrentes da Toyota. Shingo conseguiu diminuir o tempo de preparação para 90 minutos, no entanto, a empresa japonesa exigiu um resultado melhor para elevar ainda mais os níveis de competitividade (Shingo, 1985). Foi aqui que Shingo desenvolveu uma nova ideia: transformar tarefas internas em tarefas externas, ou seja, passar tarefas do *setup* interno para externo com o propósito de rentabilizar o tempo de operação das máquinas. Assim, ao fim de um extenso trabalho de melhorias, conseguiu reduzir o tempo de preparação para 3 minutos. Este trabalho demonstra bem o potencial desta metodologia no que diz respeito à melhoria do tempo de ciclo de produtos.

2.2.2 Descrição do método

A metodologia SMED pode ser aplicada em qualquer empresa ou máquina (Shingo, 1985). Contudo, a sua aplicação exige uma análise prévia a todo o processo de *setup* que se pretende melhorar para conhecer com mais detalhe cada uma das operações aí existentes (Sousa *et al*, 2009).

As operações de *setup* são divididas em dois tipos:

- Operações internas;
- Operações externas.

São denominadas como operações internas aquelas que só podem ser executadas quando a máquina se encontra obrigatoriamente parada como, por exemplo, colocar ou retirar matrizes numa máquina. Já as operações externas são aquelas que se podem realizar com a máquina em funcionamento como é exemplo a organização das ferramentas necessárias para o *setup* seguinte.

Segundo Shingo (Singo, 1985), a metodologia SMED está dividida em 4 fases principais:

Fase 0 ou fase preliminar: “Não existe distinção entre operações internas e externas.”

Num processo de mudança de ferramenta não estudado a mudança é desorganizada e não planeada. Nesta fase documenta-se o que está a ser feito e como está a ser feito. Apenas se faz um levantamento e medição de todas as tarefas efetuadas durante essa fase (quer sejam operações internas ou externas);

Fase 1: “Separação entre operações internas e externas”

O primeiro passo é distinguir entre operações internas e externas. Para isso é importante perceber se é necessário parar a máquina para efetuar tal tarefa. Em caso afirmativo, estamos perante uma operação interna; caso contrário será denominada “operação externa”. Tipicamente, esta alteração poupa entre 30% e 50% de tempo na realização da mudança de referência (Shingo, 1996). Nesta fase é aconselhável utilizar uma *checklist* onde estejam listadas todas as tarefas, os intervenientes e ferramentas, entre outros.

Fase 2: “Conversão de operações internas em operações externas”

Nesta fase, tenta-se converter as operações internas em operações externas. Esta tarefa não é simples e exige que se analise detalhadamente cada uma das operações do *setup* interno. Poder-se-ão adotar algumas técnicas eficazes como a preparação antecipada de algumas operações (como o aperto de algumas fixações), ou ainda a utilização de moldes iguais. Com estes moldes, consegue-se ajustar um deles, fora da máquina, enquanto que o outro produz as peças do lote anterior. Aquando da troca de referência troca-se o molde todo, ao invés de se proceder a ajustes mais demorados. Esta fase pode ser efetuada paralelamente com a fase 3.

Fase 3: “Melhoria de todas as operações de *setup*”

Esta fase visa diminuir o tempo das operações de *setup* ao desenvolver soluções para realizar as diferentes tarefas de um modo mais fácil, rápido e seguro. As melhorias nas operações externas não contribuem diretamente para a redução do tempo de paragem da máquina. Contudo, permitem que os operadores possam realizar outras atividades que de outra forma não seriam possíveis. As melhorias neste tipo de tarefas centram-se na otimização de movimentações, etiquetagem de ferramentas, identificação de locais de armazenagem, etc. No que diz respeito ao *setup* interno, deverão ser aplicadas algumas técnicas: Executar corretamente operações de medição e ajuste para eliminar afinações posteriores; utilização de fixadores rápidos; atribuição de tarefas a mais do que um operador para trabalharem em paralelo e ainda a automação de algumas funções (embora apenas em último recurso devido aos gastos inerentes a esta aplicação).

2.2.3 Vantagens da implementação

São diversos os benefícios, tanto diretos como indiretos, que a implementação da metodologia SMED traz para qualquer empresa, em diversas áreas de atividade.

Os ganhos económicos associados podem ser observados em diversas vertentes: na diminuição de custos de mão-de-obra envolvida nas mudanças, aumento de tempo útil de produção, aumento de flexibilidade e melhorias na qualidade (Lopes *et al.*, 2010).

Utilizando a metodologia SMED é possível aumentar a disponibilidade do equipamento, o que levará à existência de *lead-times* mais reduzidos e ao aumento da capacidade da linha (Pinto, 2009).

Perante um processo identificado como um gargalo, a aplicação do SMED pode ser uma alternativa à aquisição de novos equipamentos (Michels, 2007). Por vezes, é necessário um certo investimento para conseguir alcançar *setups* mais rápidos como é o caso de aquisição de ferramentas pneumáticas, ao invés de manuais. Contudo, a vantagem deste método é que não é o requisito principal, uma vez que é possível criar e implementar padrões de operação, formar o pessoal, efetuar modificações simples nos equipamentos e no *layout*, de forma a conseguir criar valor sem investimentos significativos (Pinto, 2009).

Ao produzir com um *setup* mais simples e rápido, o tamanho dos lotes poderá ser diminuído, o que levará, geralmente, a que qualquer falha seja detetada mais facilmente no controlo de qualidade e a quantidade de peças afetadas se restrinja apenas àquele lote reduzido (caso se efetue o controlo por amostragem no final de cada lote). Ao invés, num lote muito mais numeroso as falhas nas peças provocam maior perda de capital por necessidade de as refazer ou inutilizar. Ao simplificar tarefas, padronizá-las e eliminar ajustes e afinações, consegue-se diminuir a variabilidade do processo, sendo este um contributo significativo para evitar o aparecimento de problemas na fonte.

2.3 Setup

O *setup* representa o processo completo de mudança entre a produção de um determinado produto e o fabrico de um produto diferente, com qualidade dentro dos padrões estabelecidos pela empresa (McIntosh *et al.*, 1996).

Ao tentar efetivar a redução do tamanho dos lotes, as empresas procuram aumentar a flexibilidade da produção. Desta forma conseguem fazer face a um mercado cada vez mais global e exigente no que diz respeito a padrões de qualidade, preços, prazos de entrega cada vez mais apertados e ainda de produtos bastante diferenciados. A produção *Just-In-Time* (JIT) surge de acordo com as exigências impostas por um mercado competitivo que obriga a produzir não só o que o cliente quer, mas também quando o necessita (Goubergen, 2000).

A produção numa linha multiproduto obriga a que se produza em lotes pequenos, de modo a permitir a flexibilidade do processo. Consequentemente, origina um incremento no número de *setups*. Daí que o processo de *setup* adquira uma extrema importância, ao ser um elemento limitador da capacidade produtiva (McIntosh *et al.*, 2007).

Para conseguir atingir os objetivos de produção, é necessário que os *setups* sejam rápidos, eficazes e que não falhem, com vista a evitar atrasos na produção (Singh e Khanduja, 2010). Existem 3 razões principais para se proceder à redução dos tempos de *setup*:

- Flexibilização das linhas de produção – a adaptação das empresas a clientes cada vez mais exigentes é fulcral, pelo que se exige uma grande flexibilidade em produzir diversos produtos com elevada qualidade;
- Controlo de gargalos (estrangulamentos) – uma vez que um *setup* mais demorado pode ser a origem de um desequilíbrio de produção numa linha, provocando um gargalo, com a introdução de um *setup* mais reduzido, reduz-se a probabilidade do aparecimento deste tipo de problemas;
- Minimização de custos – reduzindo os tempos de paragem das máquinas, aumenta-se a eficiência do processo produtivo e com isso, reduz-se os custos inerentes à produção.

Surge, desta forma, o chamado “*quick changeover*”, ou *setup* rápido, para conseguir alcançar os elevados padrões da produção JIT (qualidade, flexibilidade e rapidez de resposta).

2.3.1 Processo de *setup*

Segundo Bacci (2005), o processo de *setup* envolve diversas atividades, desde o simples transporte de ferramentas e materiais até à troca de ferramentas da máquina, ajustes, produção e inspeção de peças do novo lote, com o fim de aferir a qualidade das novas peças.

Para Shingo (1985), tradicionalmente existem passos a seguir para se efetuar um *setup*:

- Preparação e arrumação de ferramentas e outros acessórios de aperto e fixação– todos os materiais e ferramentas devem estar no seu lugar próprio, limpos e a funcionar nas melhores condições antes de se proceder à colocação na máquina;
- Colocação e remoção de ferramentas– na mudança de *setup*, é necessário retirar ferramentas que já não são necessários para a produção do próximo lote e preparar novos acessórios e ferramentas para o lote seguinte;
- Ajuste do posicionamento – uma vez que a mudança de lote implica o correto posicionamento das novas ferramentas na máquina;
- Teste e afinação – para assegurar a qualidade do novo lote, são efetuadas afinações extra para testar e garantir a qualidade da nova peça.

Uma vez que todas as tarefas que constituem o processo de *setup* não acrescentam qualquer valor ao produto final, todo este processo é considerado um desperdício, já que aumenta os custos associados ao produto.

2.3.2 Tempo de *setup*

Define-se tempo de *setup* como o tempo decorrido entre o momento de saída da máquina do último produto do lote até ao momento de saída do primeiro produto conforme do próximo lote (Shingo, 1985).

Segundo Shingo, como se verifica na Figura 6, os testes e as afinações finais representam cerca de metade tempo total de um *setup*, por ser necessário assegurar que as peças trabalhadas cumpram as especificações. Apesar de ser sempre um trabalho que requer tempo, este pode ser diminuído, treinando o pessoal envolvido no processo de *setup*.

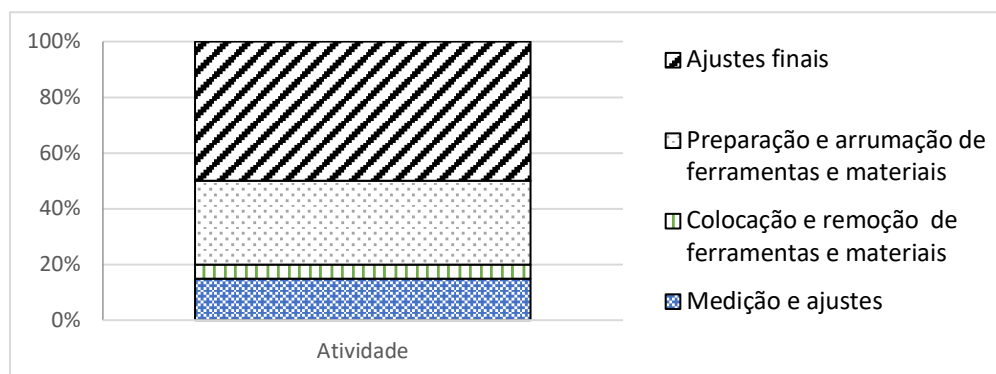


Figura 6 - Distribuição das atividades de *setup* segundo Shingo (1985)

3 A linha de montagem de tubos híbridos

O presente projeto desenvolve-se na secção de tubos híbridos da Empresa. Nesta área são produzidos somente estes componentes, que irão, numa fase posterior, ser inseridos em *coolers* EGR ou ainda em recuperadores de calor de gases de escape.

A linha de produção em estudo trabalha em regime contínuo, com operadores distribuídos por três turnos (6h-14h, 14h-22h e 22h-6h). Durante o fim-de-semana não se produzem tubos híbridos. A produção só é suspensa quando há necessidade de troca de referência de lote ou por avaria de alguma máquina.

Uma parte dos componentes dos tubos híbridos (placas e tubos “ovais”) é armazenada e vendida a outras fábricas do grupo. No entanto, uma vez produzidos os tubos híbridos, estes são utilizados, quase na sua totalidade, em produtos da unidade fabril de Viana do Castelo.

No que diz respeito aos *coolers* EGR (Figura 7), os tubos híbridos neles colocados permitem arrefecer os gases de escape provenientes da câmara de combustão, ao fazê-los passar no seu interior, enquanto no exterior se banham as placas com um fluido de refrigeração. De seguida, os gases regressam à câmara de combustão pelo tubo EGR, a uma temperatura muito inferior àquela que se registava à entrada do *cooler* EGR. Esta redução e otimização de temperatura dentro da câmara de combustão tem como principal benefício a redução de emissão de óxidos de azoto (NOx).

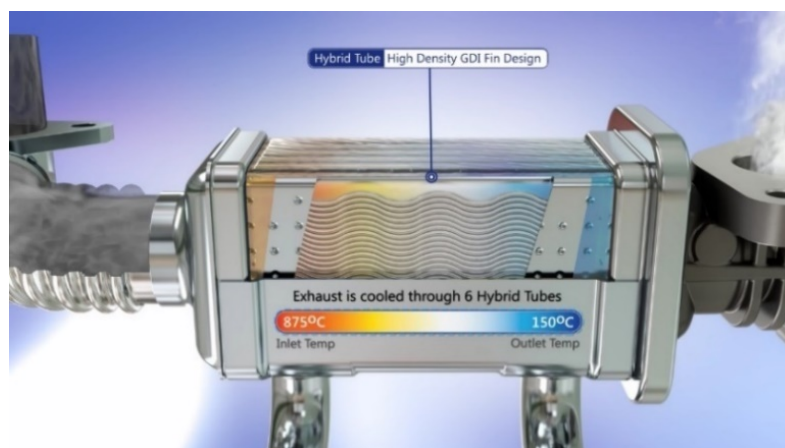


Figura 7 - Cooler EGR BorgWarner

Quanto aos recuperadores de calor de gases de escape, de forma inversa aos *coolers*, aproveitam a funcionalidade dos tubos híbridos para, numa fase de arranque do motor a frio, recuperar o calor (que normalmente iria para os tubos de escape) e aquecer os fluídos refrigerantes e óleos do automóvel, reduzindo perdas mecânicas e aumentando o conforto dos passageiros.

Apesar de nesta linha existir apenas um produto final - o tubo híbrido (Figura 8) - existem dois componentes que também são transformados internamente: tubo “oval” (Figura 9) e placa ondulada (Figura 10). Estes dois componentes têm diversas configurações, de acordo com a especificação de cada produto.

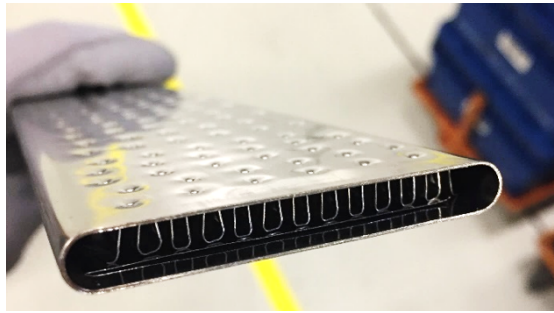


Figura 8 - Tubo híbrido

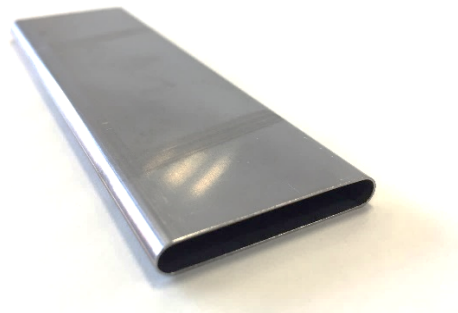


Figura 9 - Tubo "oval"

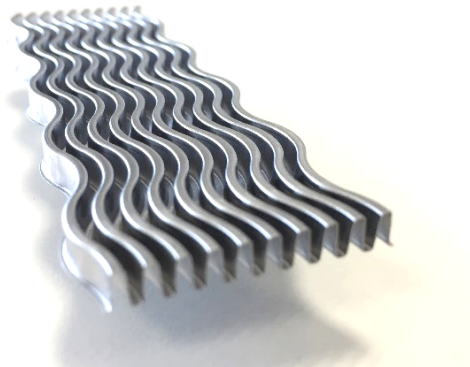


Figura 10 - Placa ondulada

Semanalmente são produzidos de 80000 a 120000 tubos híbridos, um número que varia consoante os pedidos dos clientes. O número de placas produzidas, oscila entre 300000 e 350000 unidades, para o mesmo período de tempo. No que diz respeito aos tubos "ovais", produzem-se semanalmente de 125000 a 175000 unidades.

No ano de 2017 foram produzidas nas quantidades referidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização de cada família de produto no ano de 2017

Família de produtos	Quantidade produzida (unidades)	Número de referências	Número de trocas de referência	Tempo médio de troca de referência (min)
Placa ondulada	14.748.354	15	185	85
Tubo “oval”	6.802.310	10	34	52
Tubo híbrido	4.548.328	11	254	88

A desproporção entre a produção de tubos híbridos e placas e tubos “ovais” justifica-se pela encomenda destes últimos componentes por outras fábricas do grupo.

Verifica-se um menor número de trocas de referência de tubo “oval” uma vez que a empresa tem outras máquinas (localizadas numa linha contígua), que efetuam uma tarefa semelhante e que também abastecem a linha de tubos híbridos.

3.1 Processo de produção de tubos híbridos

O processo de produção de tubos híbridos inicia-se com a receção dos materiais provenientes dos fornecedores da Empresa. São recebidas três famílias de produtos diferentes que posteriormente serão transformadas nas instalações da BorgWarner Emissions Systems Portugal: Bobinas de chapa de aço inoxidável, tubos redondos de aço e bobinas de cobre ou níquel laminado.

O processo geral inicia-se com dois subprocessos independentes:

O primeiro, representado na Figura 11, é a transformação de bobinas de aço inoxidável em placas onduladas, por estampagem na chamada “Máquina de placas”. A Empresa possui três destas máquinas.

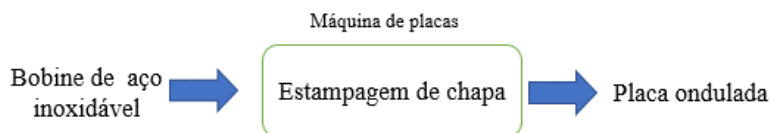


Figura 11 - Processo de estampagem de placas

O outro subprocesso é a transformação do tubo “oval” que se inicia com o corte do mesmo e posterior conformação por rolos numa única “máquina de tubo “oval” (Figura 12).

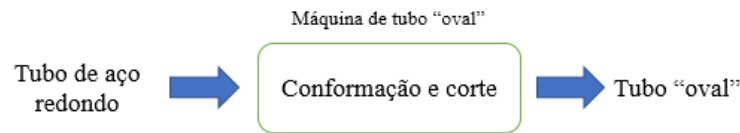


Figura 12 - Processo de fabrico de tubo “oval”

Após estes dois subprocessos, inicia-se a última fase (Figura 13), onde se coloca a placa ondulada dentro do tubo “oval” e se insere entre estes dois componentes, uma lâmina de cobre ou níquel para os soldar, numa fase posterior. Em seguida procede-se à prensagem onde se certifica que a placa e a lâmina inseridos no tubo ficam cravados dentro do tubo “oval”. Finalmente realiza-se uma calibração da peça.

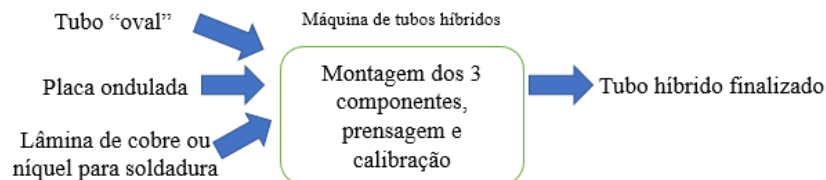


Figura 13 - Processo de montagem de tubos híbridos

Após este passo dá-se por finalizado o fabrico dos tubos híbridos, os quais irão, numa fase posterior, ser montados nos componentes a que se destinam (quase todos os tubos híbridos sofrem um processo de brasagem dos seus componentes após estarem montados nos *coolers* ou recuperadores de calor).

3.2 Objetivos de performance

A BorgWarner Emissions Systems Portugal definiu como objetivo ter os KPI relativos ao OEE acima dos 85% e na maioria dos pontos da fábrica, esse objetivo é atingido. No entanto, o OEE da linha de tubos híbridos, situa-se bastante abaixo do esperado (cerca de 50%) pelo que urge encontrar soluções que permitam elevar este KPI para os valores do objetivo designado pela Empresa. Observando a Figura 14 é possível ter uma noção dos indicadores de *performance* desta linha de produção, sendo de notar que os indicadores assinalados a vermelho revelam que esse indicador está abaixo do objetivo. (Os verdes significam que se atingiu os objetivos propostos e o azul revela uma paragem da linha nesse turno devida a manutenção, formação de operadores, colocação de novas máquinas, etc.). No quadro visual estão presentes KPIs como OEE, FTT (peças corretamente processadas à primeira: nº de unidades processadas - nº de unidades rejeitadas/nº de unidades processadas), nº de peças por hora e ainda a quantidade de sucata.



Figura 14 - Quadro KPI's da linha de tubos híbridos. (Março de 2018)

Assumindo que os parâmetros de desempenho e qualidade se mantêm inalterados (87% e 100%, respetivamente), para atingir os objetivos de OEE definidos pela Empresa (85%), há que atingir, pelo menos, 98% de disponibilidade. Este valor é difícil de atingir, muito por causa da ocorrência de avarias e morosidade da sua resolução que se tem vindo a assistir nestas máquinas. A manutenção preventiva é uma área que deverá trabalhada futuramente na linha de tubos híbridos da BorgWarner Emissions Systems Portugal, mas não faz parte do âmbito deste projeto.

3.3 Parque de máquinas na linha de tubos híbridos

No início deste projeto, a linha de tubos híbridos (Figura 15) contava com as seguintes máquinas:

- Uma máquina de corte de tubo “oval” (1);
- Duas máquinas de placa ondulada (2);
- Três máquinas de tubos híbridos (embora só duas delas serão consideradas neste projeto, já que uma delas foi adquirida muito recentemente) (3);
- Duas máquinas lavadoras para retirar o óleo das placas onduladas (4).

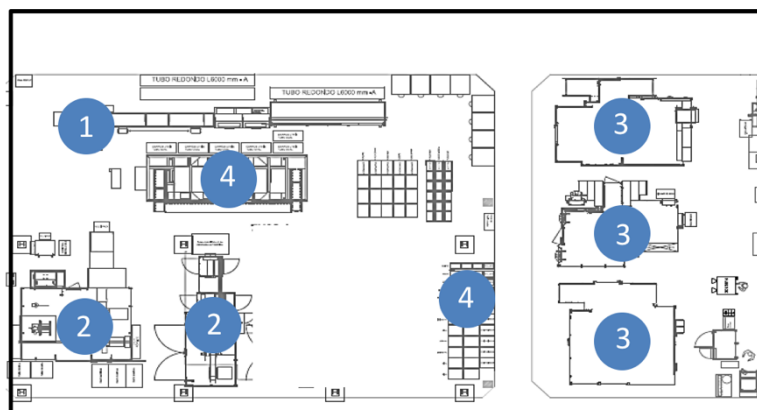


Figura 15 - Layout da linha de tubos híbridos em fevereiro de 2018

3.4 Definição do foco de atuação

Por indicação dos responsáveis do Departamento de Qualidade e Manufatura da Empresa, apesar de se ter inicialmente feito um levantamento do histórico relativo à máquina de conformação e corte de tubos “ovais”, não se procedeu à sua análise já que os *setups* são bastante simples e existe um número reduzido de referências, não existindo grande variação de tempos entre eles.

Dada a duração limitada do trabalho, para perceber em qual dos tipos de máquinas se deveria focar a atenção, avaliou-se o índice de disponibilidade em cada uma das 4 máquinas (2 de placas e 2 de tubos híbridos), indicador indireto da eficácia da troca de referência. Na Tabela 2 estão representados esses índices, nos 6 meses imediatamente anteriores ao início deste projeto (início de agosto de 2017 a fim de janeiro de 2018).

Tabela 2 - Histórico de disponibilidade das máquinas (agosto 2017- janeiro 2018)

Máquina	agosto 2017	setembro 2017	outubro 2017	novembro 2017	dezembro 2017	janeiro 2018	Média
Placas 1	76%	75%	80%	81%	80%	69%	77%
Placas 2	73%	75%	80%	80%	80%	69%	76%
Tubo Híbrido 1	42%	67%	64%	62%	56%	66%	60%
Tubo Híbrido 2	57%	69%	76%	73%	75%	70%	70%

Os valores demonstram que o índice de disponibilidade é mais baixo nas máquinas de tubos híbridos do que nas máquinas de placas. Uma vez que este índice é determinado pelas paragens para troca de referência e pelas paragens por avaria nas máquinas, é importante determinar qual destes fatores é mais relevante (uma análise global ao índice de disponibilidade poderia resultar em conclusões erradas). Assim sendo, é possível encontrar esta distribuição na Tabela 3.

Tabela 3 - Distribuição das componentes do índice de disponibilidade

Máquina	Disponibilidade	Perdas por Avaria	Perdas por troca de referência
Placas 1	77%	87%	13%
Placas 2	76%	79%	21%
Tubo Híbrido 1	60%	73%	27%
Tubo Híbrido 2	70%	75%	25%

As trocas de referência nas máquinas de tubos híbridos são aquelas que mais influência têm no índice de disponibilidade (27% no caso da máquina 1 e 25% na máquina 2), pelo que fez sentido analisar este tipo de máquina, ao invés das máquinas de placas cujas perdas por troca de referência se cifravam em 13% na máquina 1 e 21% na máquina 2.

3.4.1 Estudo do histórico relativo às trocas de referência

Optou-se por estudar os últimos 6 meses de produção (1 de agosto de 2017 a 31 de janeiro de 2018) com vista a obter uma visão mais global acerca do real processo produtivo uma vez que a Empresa não tem dias pré-definidos para a alteração de troca de referência das máquinas. Estas realizam-se consoante a necessidade de produção de determinado número de peças específicas e encomendas de clientes. Com este universo temporal, consegue-se ter uma ideia mais fundamentada acerca dos reais tempos de troca de referência das máquinas.

A primeira nota a ter em conta é que neste levantamento não se contabilizaram as trocas de referências cuja troca envolvia algum tipo de peças-protótipo. Adotou-se este critério porque, nestes casos é de prever que o tempo de troca seja mais demorado, já que os operadores não têm rotinas estabelecidas para o *setup* daquelas peças e, como tal, levaria a uma análise menos precisa do problema real.

Procedeu-se inicialmente à recolha do histórico das trocas de referência na máquina de tubos híbridos 1. Na Tabela 4 é possível observar os dados relativos às trocas efetuadas nesta máquina e a sua respetiva duração média (minutos) e frequência. Verifica-se imediatamente uma acentuada dispersão nos tempos de paragem: de 30 a 130 minutos (mediana 79 minutos), dependendo do tipo de troca efetuada. Também o tempo total de paragem no período estudado (frequência x duração média) é muito variável conforme a troca (de 30 a 858 minutos, mediana 155 minutos). Estas mudanças de referência são obrigatórias (dependem das encomendas dos clientes), pelo que não é útil fazer uma recomendação no sentido de evitar as trocas mais impactantes nos tempos de paragem da máquina (por exemplo a troca 7157-7185, que só por si é responsável por 858 minutos de paragem, em 6 meses de produção).

Tabela 4 - Número de casos e mediana da duração das trocas de referência na máquina 1 de tubos híbridos

		Referência IN										
Referência OUT	Referência	7157	7185	18926	5730	5535	26495	0953	21840	29998	17171	5887
	7157	Nº de casos	11	-	2	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	78	-	40	-	-	-	-	-	-	-
	7185	Nº de casos	6	5	8	4	-	-	-	-	2	-
		Mediana da duração	120	91	86	80	-	-	-	-	80	-
	18926	Nº de casos	2	7	1	3	-	-	-	-	1	-
		Mediana da duração	75	89	30	55	-	-	-	-	70	-
	5730	Nº de casos	3	4	2	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	68	88	85	-	-	-	-	-	-	-
	5535	Nº de casos	1	3	1	-	-	-	-	-	1	1
		Mediana da duração	60	113	60	-	-	-	-	-	115	60
	26495	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0953	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	21840	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	29998	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17171	Nº de casos	-	1	-	3	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	120	-	75	-	-	-	-	-	-
	5887	Nº de casos	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	130	-	60	-	-	-	-	-	-

A máquina 2 de tubos híbridos (Tabela 5) foi a que revelou ter um período de paragem médio mais relevante em 2 referências cuja frequência foi bastante elevada (7185-21840 e 21840-7185). Só estas 2 trocas de referências contribuíram para um total de 3467 minutos de paragem nos últimos 6 meses de produção.

Tabela 5 – Número de casos e mediana da duração das trocas de referência na máquina 2 de tubos híbridos

		Referência IN										
Referência OUT	Referência	7157	7185	18926	5730	5535	26495	0953	21840	29998	17171	5887
	7157	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7185	Nº de casos	-	-	-	-	1	-	19	1	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	90	-	93	130	-	-
	18926	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5730	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5535	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	26495	Nº de casos	-	3	-	-	-	1	2	-	-	-
		Mediana da duração	-	90	-	-	-	105	83	-	-	-
	0953	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	60	60	-	-	-
	21840	Nº de casos	-	17	-	-	5	-	-	1	-	-
		Mediana da duração	-	100	-	-	96	-	96	90	-	-
	29998	Nº de casos	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	65	-	70	-	-	-
	17171	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5887	Nº de casos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mediana da duração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Em qualquer caso, tanto na máquina 1 como na máquina 2, os tempos de mudança de referência são elevados, fazendo perder respetivamente 95,5 horas e 83,2 horas de produção em 6 meses (correspondendo a uma perda de produção de quase 143000 tubos híbridos), pelo que urge encontrar soluções para diminuir este tempo, diminuindo custos inerentes ao tempo de paragem e ainda aumentando a flexibilidade da linha produtiva.

Em resumo, o problema inicial é uma eficiência demasiado baixa na linha de produção de tubos híbridos, devida a tempos de *setup* demasiado elevados. Isto leva a que não se possa trabalhar eficientemente com lotes de tamanho reduzidos (que exigem mudança de *setup* de lote para lote) perdendo, desta forma, uma grande flexibilidade no que diz respeito à capacidade de dar resposta às constantes mudanças de referência, sem refletir atrasos produtivos.

Ao diminuir o tempo de mudança de referência, seria possível diminuir o tamanho de lotes de produção, reduzir a quantidade de material em espera antes das máquinas de tubo híbrido, aumentar a capacidade da linha, melhorando, globalmente, a eficiência da linha produtiva.

Existem duas máquinas de fabrico de tubos híbridos em análise (máquinas 1 e 2), que funcionam paralelamente, embora produzindo referências diferentes. Existem referências que são produzidas apenas numa máquina enquanto que outras são produzidas tanto na máquina 1 como na máquina 2.

A máquina 1 produz em exclusivo as referências 7157, 18926, 5730, 5535, 5887 e 17171 enquanto que a máquina 2 produz as referências 26495, 21840, 0953 e 29998. A única referência que é produzida nas duas máquinas é a 7185.

O *setup* nas duas máquinas é quase igual nas duas máquinas. A única diferença reside no facto de a máquina 2 ter mais um apoio de encaixe de uma ferramenta e o controlador ser móvel, ao contrário da máquina 1 que conta com o controlador fixo.

3.4.2 Agregação de trocas de referência

Quando se procede à troca de referência, poderá ser necessária apenas uma troca da ferramenta da prensa (MP), uma troca do *transfer* do tubo, prensa e inserção (MTTPI), uma troca de todos os componentes da máquina (MT) ou a troca de todos os componentes à exceção do filme (MT-F). Assim, as alterações de configuração das máquinas são classificadas na Empresa em quatro grupos: MP, MTTPI, MT e MT-F.

Na troca do tipo “MP”, o operário efetua apenas a troca da ferramenta da prensa que comprime o tubo “oval” contra a placa e estampa depressões de forma a que esta fique imóvel dentro do tubo. Procede-se também ao ajuste nos alimentadores de placas e tubo “oval”.

A troca “MTTPI”, consiste na troca dos moldes do *transfer* do tubo, onde estes são calibrados, tanto antes de entrar na prensa, bem como após a saída desta ferramenta. É também trocada a ferramenta da prensa, o molde e lança de inserção da placa no tubo “oval”. Além disto, também se efetua o ajuste da largura do *transfer* de placa e ainda o ajuste nos alimentadores tanto de placa como de tubo “oval”.

A troca “MT”, envolve a troca de todos os componentes da máquina passíveis de serem trocados. Consiste nas trocas efetuadas em “MTTPI”, na troca das pinças do *transfer* de placas, dos suportes deste último componente e na troca das bobinas de filme de soldadura.

Por fim, o *setup* do tipo “MT-F”, refere-se a todos os passos da troca “MT” exceto a mudança das bobinas do filme.

3.5 Processo de alteração da configuração da máquina de tubos híbridos

As alterações de configuração nas máquinas de tubos híbridos, exigem múltiplos passos, efetuados por um único operador. Apenas em casos excecionais há ajuda de um técnico de manutenção na retirada de algum molde que esteja preso ou na retirada da ferramenta da prensa (devido ao seu peso elevado e incorreta configuração de alguns carrinhos de apoio).

A Figura 16 demonstra os pontos em que pode haver necessidade de intervenção:

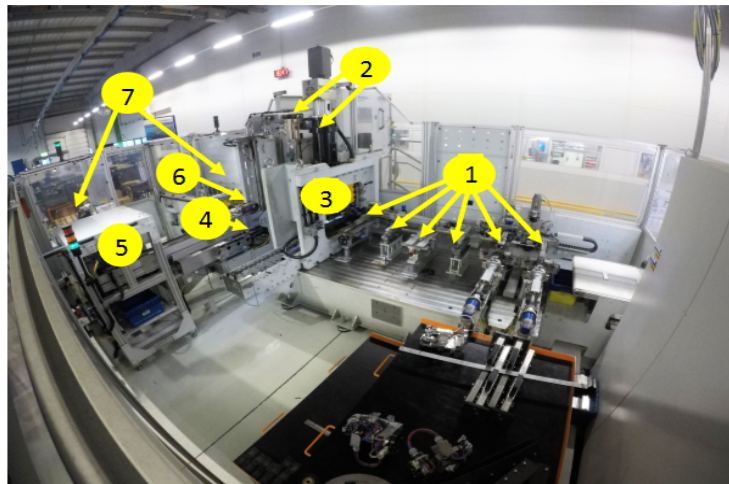


Figura 16 - Pontos de troca na máquina de tubos híbridos

- Na secção 1 são trocados os apoios do *transfer* do tubo híbrido e as pinças de alinhamento, bem como as cabeças dos calibrados, se necessário.
- Em 2, são trocadas as bobinas do filme de cobre ou níquel (para posterior soldadura em forno industrial) bem como os rolamentos, dependendo do filme a ser inserido.
- No local 3, localiza-se a prensa e o apoio da contra-inserção que são, também eles, trocados.
- A localização 4 diz respeito à inserção da placa e a lança que faz com que a placa penetre no tubo “oval” com a lâmina de filme de soldadura.
- Em 5 está representado o *transfer* de placas, onde se procede à troca dos suportes de placa e ao ajuste da largura dos mesmos.
- Na secção 6 localiza-se o *transfer* do tubo oval e é onde se procede à troca dos apoios, das pinças e, no caso da máquina 2, da cabeça do pré-calibrado.
- Em 7 estão localizados os alimentadores, quer de placas, quer de tubos “ovais”. Nestas áreas são ajustadas as larguras das torres de alimentação e, caso seja necessário, trocadas estas últimas.

A empresa tem 3 máquinas de tubos híbridos sendo que uma delas não foi objeto de estudo neste projeto por ter sido adquirida recentemente e, com isso, poder induzir erros na análise do histórico. A máquina nº 1 é muito semelhante à máquina nº 2, à exceção do número de apoios no ponto 1 (existem 4 em vez de 6) e no ponto 6 em que não existe um pré-calibrado e, por isso, não necessita de troca de cabeça. Na máquina 1 o controlador está fixo num único local, ao contrário da máquina 2, que conta com um controlador que é possível ser deslocado para diversos pontos da máquina.

3.6 Práticas de registo de tempos

Nesta fase foram estudadas as definições das métricas em vigor na Empresa, fulcrais para se conseguir obter uma posterior comparação e verificar as melhorias espectáveis. Seguidamente procedeu-se à medição do desempenho atual do processo.

É importante salientar que, tal como a definição clássica o sugere e como já foi referido, a empresa considera como “Tempo de mudança de referência” o tempo decorrido entre a produção da última peça em boas condições de um lote e a produção da primeira peça em boas condições do lote seguinte (Figura 17). Isto corresponde na realidade ao definido por Shingo como tempo de *setup*.

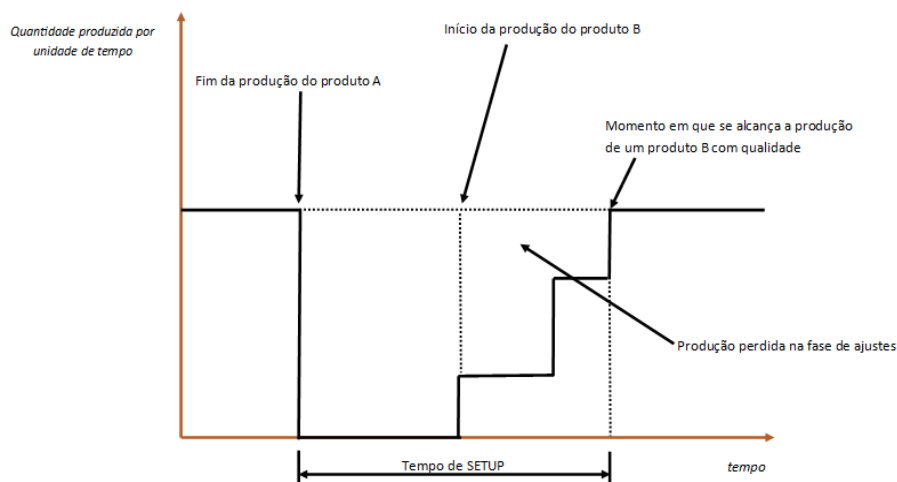


Figura 17 - Diagrama temporal do processo de *setup*

3.7 Desempenho atual

Quando se termina a produção de um lote de uma referência de tubos híbridos, o operário regista a hora de paragem da máquina num caderno de registos de produção, além de outros dados, tais como a quantidade de peças produzidas, o tempo de avarias, quais as avarias e ainda as medições das peças controladas durante o processo. Após a obtenção e confirmação da qualidade da primeira peça sem defeito, o operário regista a hora. Após este processo, o *Team Leader* rubrica a folha de registo, de forma a garantir que a troca de referência foi, de facto, realizada no período de tempo registado.

Após a agregação dos diferentes tipos de *setup* por tipologia, foi possível analisar os registos relativos ao período de início de agosto de 2017 a fim de janeiro de 2018 (6 meses). Observou-se uma grande variação nos tempos de troca de referência para o mesmo tipo de trocas e para a mesma máquina, como se observa na Figura 18. (No gráfico representado e nos outros deste tipo, o limite inferior do retângulo representa o primeiro quartil do conjunto de valores, a linha intermédia representa a mediana e o limite superior diz respeito ao terceiro quartil. Quanto às linhas verticais, estas representam a distância dos quartis aos valores mínimo e máximo enquanto que os asteriscos representam *outliers* do conjunto de dados).

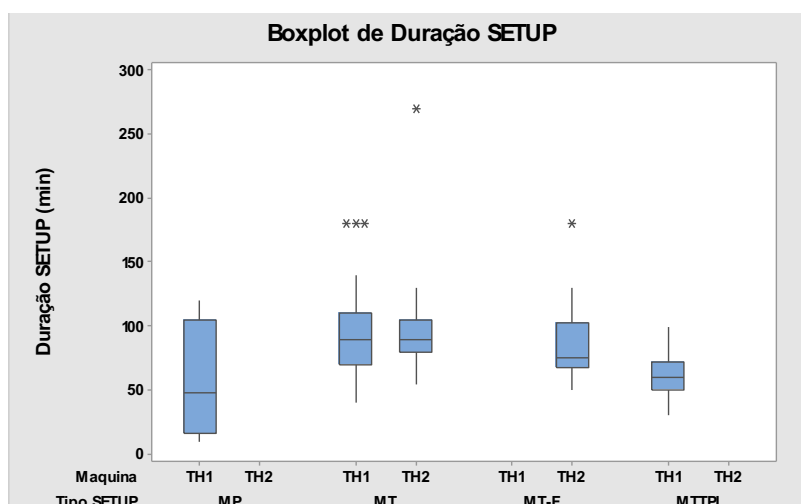


Figura 18 - Duração de trocas de referência em cada máquina de tubos híbridos

Após confirmar que as boas práticas de registo do tempo de troca de referência se mantinham, fez-se um registo dos tempos respetivos das duas máquinas de tubos híbridos, no período compreendido entre o início do mês de fevereiro e o final do mês de março. Este registo foi comparado ao histórico analisado neste projeto.

Nestes meses foram realizados os *setups* presentes na Tabela 6. Os dados relativos ao histórico encontram-se na Tabela 7.

Tabela 6 - Dados das trocas de referência nos meses de fevereiro e março de 2018

Máquina	Tipo Troca Referência	Nº de casos	Duração média (min)	Duração mais elevada (min)
TH1	MTTPI	6	72	122
	MP	2	35	40
	MT	9	98	183
TH2	MT	5	101	109
	MT-F	4	90	102

Tabela 7 - Dados das trocas de referência nos meses de agosto de 2017 a janeiro de 2018

Máquina	Tipo Troca Referência	Nº de casos	Duração média (min)	Duração mais elevada (min)
TH1	MTTPI	13	67	100
	MP	4	55	120
	MT	57	90	180
TH2	MT	40	97	270
	MT-F	13	85	180

Os valores apresentados mostram que os dados, na sua globalidade, estão de acordo com o histórico, com uma variação a rondar os 5 minutos.

No entanto, em 4 casos a mudança de referência do tipo “MP” da máquina de tubos híbridos 1, revela uma discrepância de 20 minutos na média dos tempos medidos, face à média dos tempos presentes nos seis meses do universo temporal de referência. A explicação destes casos pode ser encontrada na dependência do operário que efetua o *setup* em relação a outras secções: quando o operário se desloca até à ferramentaria para buscar a ferramenta para a prensa, pode encontrá-la fechada, se coincidir com um horário em que o funcionário deste espaço estiver em pausa. Nesse caso, o tempo de troca de referência reflete esta ausência, uma vez que a máquina fica parada durante esse período. Inquirindo os operários e responsáveis da linha sobre tal situação, foi transmitida a ideia de que é bastante provável que tenha sido essa a explicação. Este foi um alerta para uma recomendação no sentido de melhorar a coordenação entre horários e disponibilidade entre os vários setores da Empresa.

Segundo Shingo (1985), os tempos de *setup* de referência devem ser inferiores a 10 minutos. Uma análise aos tempos das trocas de referência revela um elevado tempo médio de *setup*, qualquer que seja a troca que se efetue, tanto na máquina 1 como na máquina 2.

Outro dos problemas detetados neste projeto foi a grande variação no tempo do mesmo tipo de troca de referência, na mesma máquina. É, por isso, objeto de estudo neste projeto.

Algumas diferenças são espectáveis devido a fatores como a altura do dia em que são feitos os *setups*, o cansaço do operário ou mesmo a habilidade do mesmo para realizar tal tarefa. No entanto, seria desejável uma menor dispersão de valores e há então que detetar oportunidades de melhoria com vista a manter os tempos de *setup* dentro de uns limites de variação temporal mais apertados para atingir os níveis de excelência requeridos pela Empresa.

Após algumas observações do processo no “*shop floor*”, percebe-se que as variações que ocorrem são essencialmente devidas à falta de organização no que diz respeito ao planeamento de tarefas a executar e à sua execução de forma não padronizada. Esta realidade explica a variabilidade de tempos interoperadores e intraoperador: O mesmo colaborador efetua a mesma troca de referência de formas distintas, levando à variação de tempos observada. Outro dos problemas detetados é a existência de descoordenação de horários de pausa entre áreas diferentes, mas essenciais para o decurso harmonioso do processo: Operadores de máquina, técnicos de manutenção e colaboradores que guardam as ferramentas da prensa na ferramentaria. Isto pode conduzir a paragem prolongada da máquina, uma vez que o operador, mesmo fazendo uma gestão correta das suas tarefas durante o *setup*, perde tempo, por vezes, no período em que os outros funcionários necessários à correta troca de referência não estão disponíveis.

4 Projeto de melhoria do índice de disponibilidade das máquinas

4.1 Tempo gasto nas atividades de troca de referência

Com vista à recolha de dados das tarefas efetuadas nas mudanças de referência, foi elaborado um documento (Anexo A), adaptado de Costa (2012), no qual se discriminaram as tarefas, distâncias percorridas pelos operadores e duração das atividades para posteriormente serem analisadas.

As atividades efetuadas nas trocas de referência podem agrupar-se em 5 categorias:

- **Operação:** O tempo de operação diz respeito ao tempo que o operário demora a realizar as tarefas de retirada de moldes, desaperto e aperto de parafusos, alimentar a máquina com placas onduladas e tubos “ovais”, mudança de bobinas do filme, entre outras.
- **Transporte:** As tarefas de transporte referem-se ao transporte de material, quer seja de matéria prima, ferramentas ou moldes. Tudo o que envolva a deslocação do operador para a obtenção de material para realizar o *setup* está contemplado nesta secção.
- **Controlo:** Este tipo de operação diz respeito ao controlo das peças para verificar a conformidade das mesmas. O correto ajuste dos componentes da máquina durante a troca de referência também está englobado nesta secção.
- **Espera:** A espera na troca de referência diz respeito aos tempos de paragem do operador quer à espera da saída das primeiras peças da máquina para posterior controlo quer pela espera pelo funcionário da ferramentaria que não se encontrava no seu posto e não permitiu a troca da ferramenta da prensa em tempo útil.
- **Armazenamento:** As atividades que se incluem neste tipo de tarefa referem-se ao armazenamento das ferramentas que eram usadas na produção do lote anterior e foram retiradas da máquina. Também se incluem neste tipo de operação tarefas de armazenagem de material que por não estar no seu local correto de armazenamento, impedia a armazenagem do material retirado da máquina durante a troca de referência em questão.

Após várias observações e medições de tempos e respetivas atividades no “*shop floor*”, determinou-se a média da contribuição de cada uma das operações realizadas nos diferentes tipos de *setup* para a duração total dos mesmos (Anexo B). Esses valores estão representados no gráfico da Figura 19.

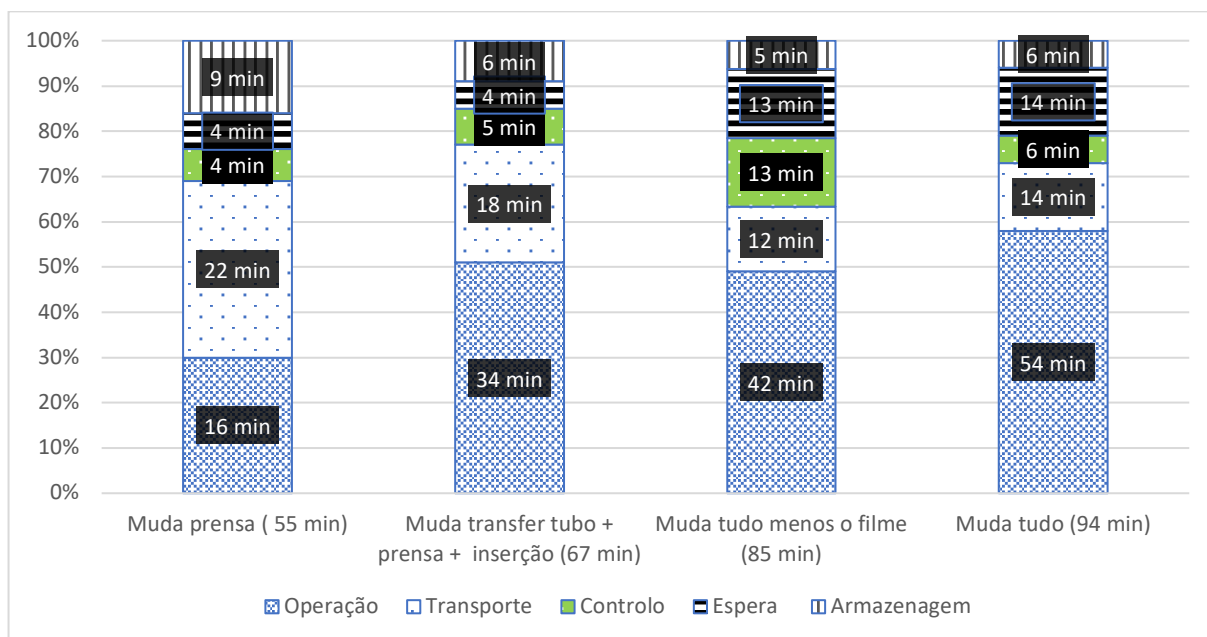


Figura 19 - Contribuição de cada tipo de atividade para o tempo total de cada tipo de *setup*

4.2 Diferença de tempos nos diferentes turnos

Com vista a analisar a prática corrente é importante verificar se existem diferenças significativas na duração das trocas de referência entre turnos.

No universo temporal estudado, as trocas foram quase todas elas feitas pelos mesmos operários nas duas máquinas, em cada um dos turnos. Pontualmente existiram algumas ações de formação de novos operadores (não assinaladas nos registos de produção) o que poderá justificar a existência de alguns valores dispare. Agrupou-se o número de cada tipo de troca de referência por turno (Tabela 8).

Tabela 8 - N° de casos de tipo de troca de referência em cada um dos turnos

Máquina	Tipo <i>setup</i>	N° de casos turno 1	N° de casos turno 2	N° de casos turno 3
1	MT	17	21	19
	MTTPI	5	6	2
	MP	1	1	2
2	MT	10	20	10
	MT-F	2	4	7

Na Figura 20 apresentam-se os gráficos da variação de duração das 127 trocas de referência efetuadas entre agosto de 2017 e janeiro de 2018, agrupados por máquina, tipo de troca e turno.

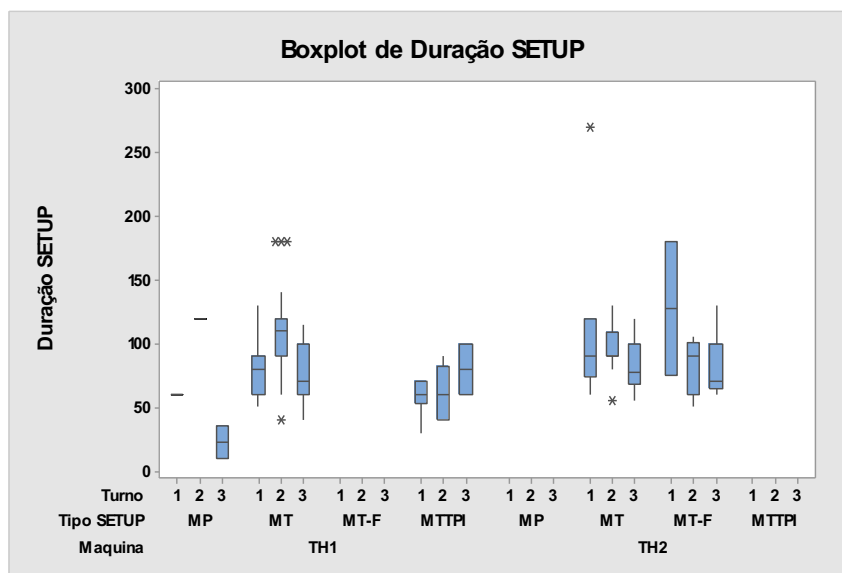


Figura 20 - Duração de troca de referência por turno, tipo e máquina

Na máquina 1 (TH1), no que respeita à troca de referência do tipo “MP”, verificou-se que nos 4 casos observados, o turno 2 teve um desempenho pior do que os turnos 1 e 3 (o escasso número de casos não permite análise estatística). No tipo de troca de referência “MT”, observaram-se diferenças estatisticamente significativas (o turno 2 é significativamente pior do que os outros 2) na duração das trocas de referência entre turnos (Teste ANOVA, $p=0,003$). No caso da troca de referência “MTTPI”, não existiram diferenças estatisticamente significativas na duração das trocas de referência entre turnos (Teste ANOVA, $p=0,690$).

Quanto à máquina 2 (TH2), o tipo de troca de referência “MT”, não registou diferenças estatisticamente significativas na duração das trocas de referência entre turnos (Teste ANOVA, $p=0,200$). No caso do tipo de troca de referência “MT-F”, também não se verificaram diferenças estatisticamente significativas na duração das trocas de referência entre turnos (Teste ANOVA, $p=0,762$).

4.3 Distâncias percorridas durante a mudança de setup

A minimização dos percursos dos operários durante o *setup* permite não só ganhos para a Empresa como também ganhos para os operários, que desta forma despendem um menor esforço. Analisaram-se algumas trocas de referência para ter noção das deslocações dos operários durante o processo e representou-se cada uma das trocas de referência num diagrama do tipo *spaghetti* como o exemplo da Figura 21. (Os restantes diagramas podem ser consultados no Anexo C).

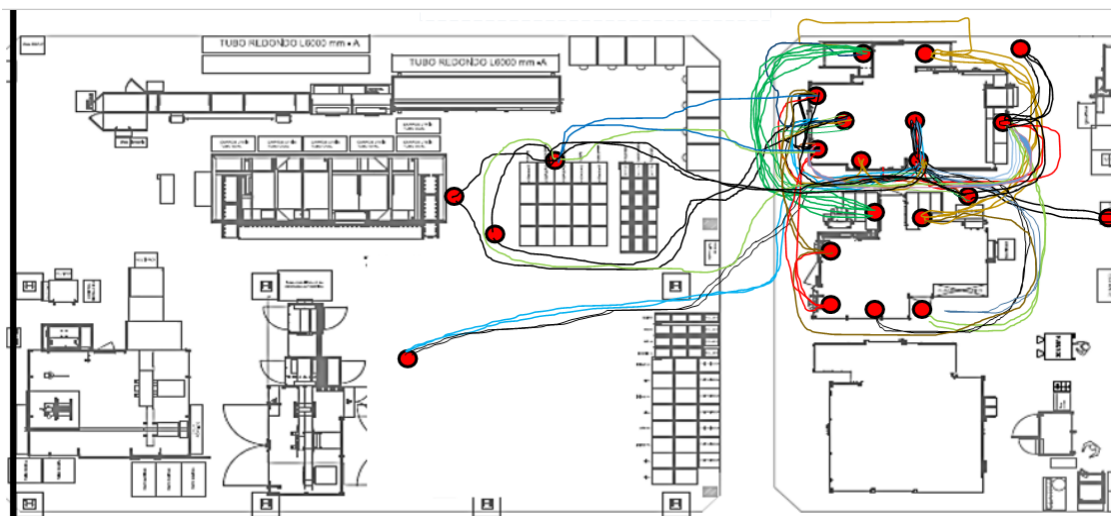


Figura 21 – Diagrama *spaghetti* (MT) na máquina 2 de tubos híbridos, no turno 1

A distância média percorrida em pelo menos 2 trocas de referência de cada tipo pode ser consultada na Tabela 9.

Tabela 9 – Distâncias média percorridas pelo operário consoante o tipo de *setup*

Tipo <i>setup</i>	Máquina	Turno	Distância média (m)
MT	2	1	720
MT-F	2	1	960
MP	2	2	400
MTTPI	2	2	835

4.4 Custos associados à troca de referência

Discutiu-se, junto do elemento da equipa responsável pelas questões financeiras de controlo da linha de produto, quais os custos associados à troca de referência e quantificou-se esse custo de forma a ser possível analisar eventuais investimentos que se pudessem fazer para melhorar o tempo de troca de referência.

Um dos fatores diz respeito ao custo de mão de obra enquanto outro representa o custo de oportunidade perdido por não estar a aproveitar o recurso.

Quanto ao custo de mão de obra, chegou-se a um valor de 0,22€/min ao dividir o custo total anual que um operador daquela máquina representa para a Empresa pelo número de minutos de trabalho num ano.

O custo de oportunidade perdido calculou-se com base no custo de aquisição da máquina, a vida útil esperada e o número de minutos de produção programado. Assim, obteve-se um valor que se cifrou nos 0,21€/min.

Somando estes dois fatores e tendo em conta que a troca de referência é efetuada por um operador apenas, chega-se a um valor de custo de 0,43€/min.

O custo atual por tipo de *setup* encontra-se distribuído como representado na Tabela 10.

Tabela 10 - Custos de troca de referência

Máquina	Tipo <i>setup</i>	Duração média (min)	Custo/ <i>setup</i>	Nº casos anuais
M1	MT	90	38,70 €	114
	MTTPI	67	28,81 €	26
	MP	55	23,65 €	8
M2	MT	97	41,71 €	80
	MT-F	85	36,55 €	26

Tendo em conta o número de casos de cada um dos tipos de troca de referência, calculou-se o custo anual médio que as trocas de referência nas duas máquinas de tubos híbridos representam para a Empresa: aproximadamente 9637€.

4.5 Constituição da equipa e planeamento das tarefas

Foi criada uma equipa multidisciplinar de suporte ao projeto, com elementos pertencentes a várias áreas dos quadros da Empresa, desde a Direção de Qualidade até aos operadores de máquina.

O trabalho de recolha e tratamento de dados, assim como de toda a melhoria do processo de troca de referência foi apoiado pelos seguintes elementos:

- Diretor do Departamento de Qualidade (“*Quality & Manufacturing Services Manager*”) - como orientador deste projeto na BorgWarner Emissions Systems Portugal, a sua função passou por assegurar um correto planeamento das tarefas e certificar-se que o projeto cumpria os prazos estabelecidos;
- Controlador da linha de produção (“*Product Line Controller*”) - pertencente ao Departamento Financeiro da Empresa, foi um elemento que participou na discussão acerca da potencial redução de custos e/ou aumento da faturação resultantes da aplicação do projeto;
- Líder de produto (“*Product Leader - PL*”) - foi nele que recaiu a função do planeamento da produção e trocas de referência a efetuar em cada momento na linha de tubos híbridos;
- Engenheiro de qualidade de produção (“*Manufacturing Quality Engineer - MQE*”) - elemento cujas responsabilidades visavam assegurar a qualidade do produto final e coordenar todas as melhorias a serem implementadas na linha de produção para aumentar a produtividade global, tendo sempre em vista a qualidade do produto;
- Técnica de qualidade de produção (“*Manufacturing Quality Technician*”) - controlou os registos de produção, auxiliou o autor deste projeto com as instruções de operação e deu apoio ao MQE e ao PL;

- Líderes de equipa (“*Team Leader*”) – dois elementos que coordenaram os operários da linha de produção e os técnicos de manutenção, distribuíram funções e organizaram o trabalho de acordo com o planeado juntamente com o PL;
- Operadores de máquinas – elementos que lidavam no dia-a-dia com as máquinas e assim deram um *feedback* valioso das dificuldades que sentiam ao efetuar as trocas de referência;
- Técnicos de manutenção (“*Maintenance Technician – MT*”) - têm um conhecimento profundo das máquinas. São eles que auxiliam em ajustes pontuais nas trocas de referência.

4.6 Oportunidades de melhoria

Após a análise dos dados qualitativos e quantitativos obtidos, foi possível identificar oportunidades de melhoria nas seguintes vertentes: Conversão de tarefas internas em externas; Normalização de procedimentos; Atividades paralelas; Melhoria da operação; Mecanização e ainda Melhoria no armazenamento de matéria prima.

Após a definição das propostas para melhoria, reuniu-se a equipa para as discutir e avaliar a sua possibilidade e oportunidade de implementação. Nesta reunião foram sumarizados os problemas encontrados na análise das trocas de referência e sugeridas melhorias corretivas para cada um deles, individualmente.

O envolvimento de toda a equipa, permitiu obter contribuições de todos os participantes, desde os operadores que lidam com as máquinas no dia-a-dia, até ao PL ou MQE, responsáveis pela linha de produção. Desta forma, foi possível congrega e discutir os pontos fracos e fortes e todo o processo e escolher as opções de melhoria mais viáveis.

4.6.1 Conversão de operações internas em externas

No início do projeto, a análise das gravações vídeo efetuadas no *shop floor*, confirmou que todas as tarefas de recolha de material necessário à troca de referência bem como o armazenamento de peças eram feitas com a máquina parada (tarefas internas).

Para aumentar a eficiência do processo de troca de referência, sugeriu-se converter algumas operações que implicavam a paragem das máquinas, em tarefas externas (Shingo, 1985). Desta forma, poupar-se-ia tempo que poderia ser aproveitado para a produção de novas peças.

Recolha antecipada das matérias-primas

Recomendou-se que se recolhessem previamente as placas onduladas, tubos “ovais” necessários à produção da nova referência e se colocassem junto do lugar onde seriam posteriormente utilizados na produção do novo lote, de forma a aproximar o mais possível a um sistema JIT. Contudo, o espaço disponível perto da área das máquinas de tubos híbridos não permite ter um local onde se possa colocar as placas onduladas e tubos “ovais” do novo lote. A política da Empresa obriga a que se retire o material do lote anterior antes de colocar um novo a fim de evitar misturar materiais de diferentes referências. Assim sendo, esta proposta não foi aceite.

Preenchimento do cartão de requisição da nova ferramenta da prensa

No início deste projeto, constatou-se que os operadores, quando necessitavam de requisitar a nova ferramenta da prensa para produção do lote seguinte, tinham que preencher uma folha (de utilização única). Nessa folha deveria constar o seu nome, número de colaborador, a referência que iriam produzir de seguida e ainda a referência da ferramenta que necessitavam. Com isto, cada operador demorava, em média, 1:30 min a executar esta tarefa.

Detetou-se aqui uma oportunidade de melhoria que se pôs em prática com a elaboração de cartões plastificados (Figura 22), onde existia já o código de cada referência associado ao código de cada ferramenta. Desta forma, o operador só teria que assinalar qual a ferramenta que desejava e escrever o seu número de colaborador e a data. Desta forma, reduziu-se o tempo para apenas 20 segundos e reduziu-se o desperdício de papel na linha de produção.

Requisição ferramenta prensa TH2

(Marcar com "x")	Referência	Ferramenta
	7185	*13018
	21840	*16797
	26495	*17024

(Marcar com "x")	Referência	Ferramenta
	29998	120000001423
	0953	*17343

Nº colaborador: _____
Data: _____

Figura 22 - Novo cartão de requisição de ferramenta da prensa da máquina 2

O custo associado a esta alteração é praticamente nulo (0,50 €) uma vez que a elaboração dos dois cartões necessários corresponde apenas à impressão e plastificação de uma folha A5 (Tabela 11).

Tabela 11 - *Payback* da alteração do cartão de requisição de ferramenta

Número de trocas de referência anuais	254
Duração média de operação com preenchimento	1:30 min
Duração operação com a solução proposta	0:20 min
Ganhos (€) por redução de paragem da máquina	120,14 €
Ganhos (Quantidade) de produção nesse período	3725 unidades
Lucro anual possível	192,23 €
Total de ganhos em 1 ano	312,37 €
Custo da solução	0,50 €
<i>Payback</i>	0 meses

4.6.2 Normalização de procedimentos

De forma a minimizar a grande variação dos tempos de troca de referência, planeou-se a realização do processo de forma padronizada e otimizada, de forma a diminuir a dispersão de tempos de *setup* e minimizar as distâncias que os operadores têm que percorrer, melhorando a eficiência do sistema e reduzindo a fadiga dos operários. Para tal seria necessário elaborar uma norma contendo todos os passos necessários (na BorgWarner estas normas denominam-se “Instrução de Operação”).

Identificou-se a necessidade de realizar uma nova definição e lista de procedimentos na medida em que nenhuma das anteriores era completamente adequada para poder ser replicada em todas as trocas de referência. Nessa norma seria identificado por ordem numérica sequencial cada local onde haveria ações a desempenhar durante o processo de troca de referência (por meio de cartões numerados afixados no local). Deste modo se garantia que todos os operários executariam o processo pela mesma sequência (otimizada). A numeração, seria complementada por um quadro-matriz que permitisse de modo expedito visualizar o conjunto de locais de troca a visitar.

Para facilitar a preparação da troca de referência, construiu-se um esquema da máquina contendo a numeração dos pontos de troca (Anexo D). A numeração também está presente na máquina e encontra-se colocada com ímanes o que permite que se possa modificar a sua disposição na eventualidade de se encontrar uma melhor sequência de troca.

A definição da sequência de troca teve como base um estudo que minimizasse o tempo gasto nas atividades de locomoção. Observaram-se todos os locais onde era necessário ir recolher ou depositar algum componente e, após essa tarefa, projetou-se um plano lógico de troca de ferramentas.

Elaborou-se então uma matriz de dupla entrada para cada máquina (Anexo E) que permite ao operador consultar que itens terá que trocar na máquina durante o processo de troca.

Elaborou-se também um documento que descreve as diversas fases do processo e os tempos de troca espectáveis para cada posto (Anexo F). Estes tempos foram definidos depois de observar várias trocas de referência de teste e registados os tempos médios necessários para a realização dessas mesmas tarefas. É espectável que estes tempos sejam reduzidos com o passar do tempo pelo que, após meio ano, seria importante refazer uma nova tabela de tempos *standard*.

Assim, minimizam-se deslocações a locais da máquina que não necessitam de intervenção. Paralelamente a esta operação, elaborou-se um conjunto de instruções de operação e ajustes, obrigatórias na Empresa para todas as máquinas.

4.6.3 Atividades paralelas

Uma das tarefas que requer mais tempo e deslocação por parte do operário que efetua a troca de referência é o transporte da ferramenta da prensa desde a ferramentaria até à máquina. No início do projeto, era o próprio operador da máquina que, aquando da troca de referência, tinha que se deslocar ao local de armazenamento de ferramentas (localizado a mais de 120 metros de distância das máquinas) com a ferramenta a trocar, entregá-la ao profissional responsável, requisitar a nova ferramenta, aguardar que ela lhe fosse entregue e transportá-la de volta até à máquina.

Este era um processo muito consumidor de tempo e entendeu-se importante otimizá-lo: Uma vez que a Empresa possui alguns comboios logísticos, preconizou-se o transporte das ferramentas por meio destes comboios, operados por profissionais dedicados (Figura 23), libertando o operário que efetua a troca de referência para a sua atividade específica.



Figura 23 - Movimentação da ferramenta da prensa (Atual Vs. Proposta para futuro)

Apesar de constar nos planos de logística o início do transporte de ferramentas para todas as linhas produtivas a partir do ano de 2019, uma vez que se dista mais de seis meses do arranque desse projeto, viu-se uma oportunidade de redução de custos neste intervalo de tempo, pelo que se implementou uma medida que visou substituir temporariamente o comboio logístico: Estabeleceu-se que o operador, aquando do início da troca de referência, entregará um cartão de requisição da nova ferramenta ao TL que atribuirá a um operário da linha de produção que esteja menos ocupado a tarefa de ir buscar a ferramenta e o fará enquanto o operador da máquina de tubos híbridos procede à troca de outros componentes da máquina. No final da troca de referência, o operador alertará novamente o TL para proceder à devolução da ferramenta.

4.6.4 Melhoria da operação

Código de cores e 5S's no armazenamento

No início do projeto, detetou-se uma clara oportunidade de melhoria no que diz respeito à recolha de materiais na bancada: Apesar de todas as peças estarem identificadas com uma numeração específica para cada referência de produto, verificava-se que os operadores demoravam algum tempo a tentar identificar as peças corretas, porque estas não estavam armazenadas segundo uma ordem lógica e ainda pela falta de visibilidade da numeração em cada uma delas (Figura 24).

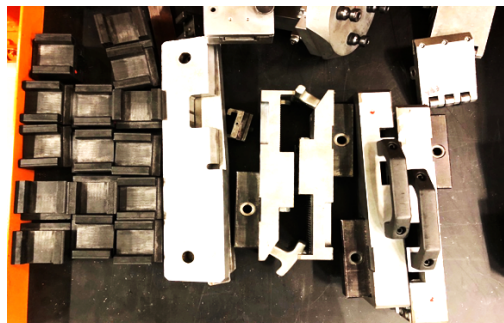


Figura 24 - Armazenamento das peças para troca de referência no início do projeto

Assim, sugeriu-se que se estabelecesse um código de cores para cada referência, a identificação de cada um dos componentes com a cor respetiva e a definição de uma localização específica para as peças de cada uma das referências, identificando o espaço respetivo. Estimou-se a viabilidade económica da melhoria sugerida (Tabela 12).

Tabela 12 - *Payback* da implementação das melhorias na identificação

Número de trocas de referência anuais	246
Duração média de operação de armazenamento/recolha	6:00 min
Duração operação com a solução proposta	2:30 min
Ganhos (€) por redução de paragem da máquina	370,23 €
Ganhos (Quantidade) de produção nesse período	11480 unidades
Lucro anual possível	592,37 €
Total de ganhos em 1 ano	962,60 €
Custo da solução	10 €
<i>Payback</i>	0 meses

Decidiu-se, portanto, implementar a codificação por cores das peças por referência e a organização das peças em locais específicos e pré-definidos. Trata-se de alterações de baixo custo e benefício elevado (Figura 25).



Figura 25 - Armazenamento 5S identificado por cores

Modificação da máquina

Propôs-se a reformulação de algumas peças da máquina de tubos híbridos:

Alimentadores de tubos híbridos – atualmente, o portfólio de produtos deste tipo de máquina obriga a que em quase todas as trocas de referência, o operador tenha que ajustar manualmente 8 torres que constituem os alimentadores, quer de placas onduladas, quer de tubos “ovais”. Para isso, o operador tem que desapertar 2 parafusos para cada conjunto de torres, ir recolher um tubo “oval” e uma placa ondulada para, manualmente, proceder ao ajuste da distância entre as duas torres.

A sugestão de melhoria consiste em identificar, por meio de marcações coloridas na base dos alimentadores (Figura 26), os locais de colocação das torres. Outra sugestão foi colocar tubos e placas onduladas “modelo” junto dos alimentadores, para efetuar o ajuste das torres com esses modelos. Paralelamente a esta operação, pensou-se em colocar mecanismos de fixação rápida (ou no mínimo, normalizados) de forma a evitar o tempo gasto no aperto dos parafusos que se situam entre as torres e a placa divisória (difícil acesso) e na escolha das chaves de aperto.

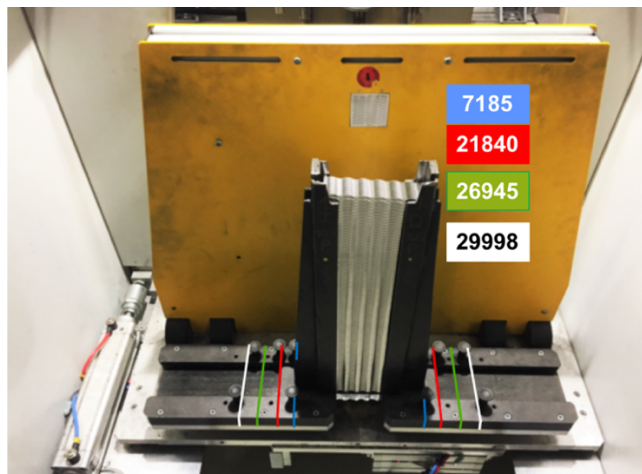


Figura 26 - Sugestão de melhoria com marcação no ajuste dos alimentadores

Calculou-se o potencial económico da melhoria sugerida (Tabela 13).

Tabela 13 - *Payback* da implementação das melhorias nos alimentadores

Número de trocas de referência anuais	254
Duração média de operação com troca de alimentadores	4:00 min
Duração operação com a solução proposta	1:30 min
Ganhos (€) por redução de paragem da máquina	273,05 €
Ganhos (Quantidade) de produção nesse período	8467 unidades
Lucro anual possível	436,88 €
Total de ganhos em 1 ano	709,93 €
Custo da solução	60 €
<i>Payback</i>	1 mês

As marcações coloridas foram executadas enquanto que os parafusos de difícil acesso foram substituídos por parafusos manuais de aperto rápido.

Lança de inserção - Este dispositivo insere a placa ondulada dentro do tubo “oval” juntamente com a lâmina de soldadura. A sua fixação é realizada recorrendo a 2 parafusos de cabeça cilíndrica com sextavado interior (Figura 27). Apesar de serem apenas 2 parafusos, o processo tem margem de melhoria uma vez que se gasta mais de um minuto para retirar os parafusos e igual tempo para aparafusar. Assim, pensou-se em adaptar um sistema semelhante ao de retenção de uma máquina fotográfica a um tripé, com a parte móvel a ser soldada na lança para evitar folgas e a consequente necessidade de ajuste, e a base ter um sistema de encaixe com um dispositivo de fácil manuseamento, tal como é apresentado no lado direito da Figura 27.

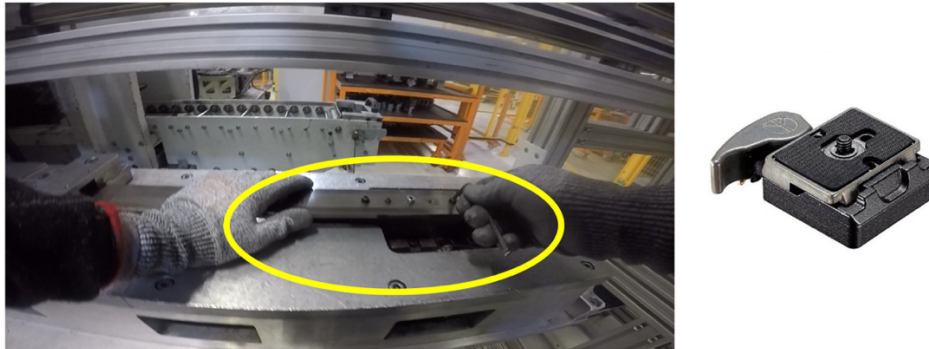


Figura 27 - Fixação da lança de inserção e nova sugestão de fixação

Contudo, esta proposta não foi implementada devido às forças envolvidas no processo de inserção da placa ondulada no tubo “oval”. Uma vez que esta área é sensível no que respeita a avarias, a melhoria proposta poderia fazer com que o processo piorasse nesta área. Também envolveria a alteração do *design* da peça e da própria máquina, o que se refletiria em custos elevados e não traria retorno económico na vida útil da máquina.

Ferramenta da prensa - Atualmente a fixação desta ferramenta faz-se com recurso ao aperto de 8 parafusos de cabeça hexagonal. Este é um dos processos que mais tempo despende no decorrer da troca de referência, não só pelo número de parafusos, mas sobretudo pelo exíguo espaço de que o operador dispõe para o aperto/desaperto de cada parafuso. Para resolver este problema, imaginou-se a substituição do recurso a parafusos por um sistema hidráulico¹ (Figura 28) que requeria apenas que o operador deslizasse a ferramenta e posicionasse os “cogumelos” superiores nas ranhuras da ferramenta e da prensa. Assim que se ligasse a máquina, uma bomba hidráulica faria com que o fluido obrigasse os dispositivos a trabalhar à compressão, mantendo a ferramenta imóvel.

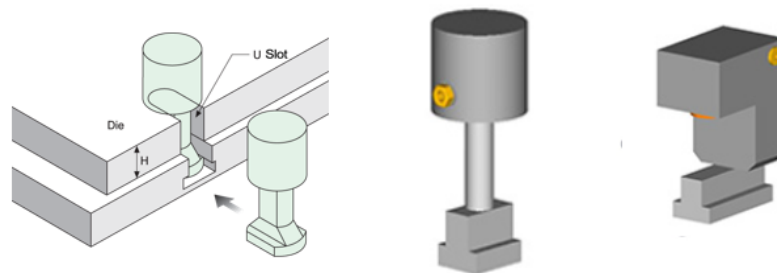


Figura 28 - Sugestão de fixação da ferramenta da prensa

Contudo, este sistema revelou-se dispendioso, não só pelo custo inicial (aproximadamente 3000€ por máquina), mas também porque requeria um circuito hidráulico a trabalhar paralelamente ao circuito de ar comprimido instalado na máquina.

Foi importante estimar o retorno económico da solução (Tabela 14).

¹ in <http://www.agab.se/wp/produkt/hydro-clamp/?lang=en>, acessido em 10/04/2018

Tabela 14 - *Payback* da implementação do circuito hidráulico

Número de trocas de referência anuais	254
Duração média de operação com a ferramenta da prensa	4:00 min
Duração operação com a solução proposta	1:30 min
Ganhos (€) por redução de paragem da máquina	273,05 €
Ganhos (Quantidade) de produção nesse período	8467 unidades
Lucro anual possível	436,88 €
Total de ganhos em 1 ano	709,93 €
Custo da solução	6000 €
<i>Payback</i>	102 meses

Verificou-se que o retorno do investimento desta solução se obteria em aproximadamente 8 anos e meio o que, para a Empresa, é um limite temporal distante pelo que a proposta não foi aceite. Para além disso, descartou-se esta opção uma vez que a prensa deve ser uma zona livre de qualquer tipo de óleo devido a requisitos de qualidade. Podia ainda revelar-se um foco de avarias, pelo que a sua implementação estará dependente do estudo destes fatores e a aprovação por parte da Empresa.

Para evitar a utilização do circuito hidráulico, preconizou-se a utilização de um dispositivo de fixação mecânica da ferramenta da prensa mais simples: uma fixação de alavanca e excêntrico (Figura 29). Com um custo muito inferior (aproximadamente 30€) ao sistema hidráulico apresentado, este dispositivo, permitiria dispensar o uso de chaves de aperto ao mesmo tempo que assegurava o correto posicionamento e fixação da ferramenta da prensa.



Figura 29 - Possível sistema de retenção da ferramenta da prensa

Porém, após discussão das propostas com os técnicos da Empresa, não foi possível fazer qualquer alteração física na fixação da ferramenta da prensa porque esta exige que a fixação seja suficientemente robusta para não haver deslocamentos (o aperto manual de um fixador rápido não é suficiente) e compacta para caber num espaço confinado.

Idealizou-se uma outra proposta que foi aceite pela Empresa: propôs-se a utilização de uma chave de roquete com uma extensão tubular para permitir um acesso mais fácil aos parafusos, e proceder ao aperto e desaperto de forma mais célere, além de melhorar a segurança do operador ao impedir que este embata com as mãos no *transfer* do tubo (Figura 30).



Figura 30 - Fixação da prensa e proposta de chave de roquete com extensão

A aquisição destas ferramentas custou 104,17€ e conseguiu-se uma redução do tempo de troca para 2:30 min. Tendo em conta que esta melhoria significará um total de ganhos anuais de 425,96€, espera-se obter o retorno do investimento ao fim de 3 meses.

Ajuste do *transfer* do tubo - Na máquina de tubos híbridos 1, uma das trocas de referência mais frequentes requer a colocação de uma cantoneira no final do apoio do *transfer* do tubo, antes de passar para a inserção. Esta cantoneira é aparafusada com 2 parafusos e obriga a que o operador utilize um tubo “oval” modelo para ajustar a distância a que esta deve ficar para garantir um correto posicionamento deste antes de ser colocado no apoio da inserção (Figura 31). Uma vez que este ajuste é efetuado apenas para aquela troca de referência (todas as outras têm o próprio ajuste do apoio do *transfer* do tubo), sugeriu-se que se fizesse o mesmo para este, podendo mesmo soldar-se a peça no apoio, de forma a evitar o desperdício de tempo.

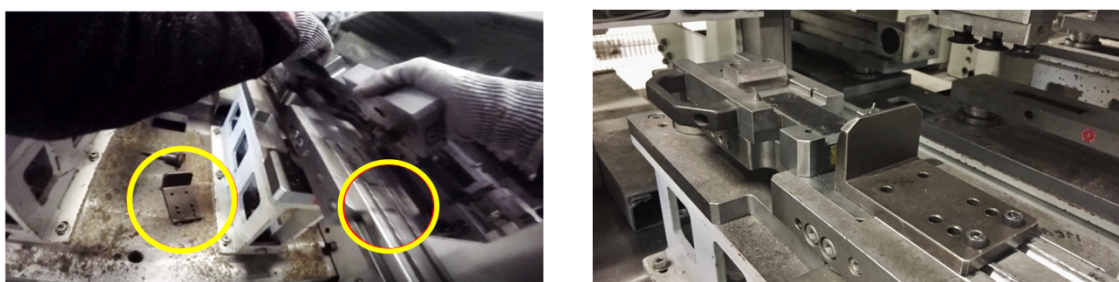


Figura 31 - Cantoneira e sua localização na troca de referência do tipo "MT" na máquina 1

Esta solução foi aceite. Contudo, à data do termo deste projeto, ainda não tinha sido implementada. Estimou-se que se conseguisse reduzir 1:30 minutos no tempo total de troca de referência. A alteração da peça seria feita internamente, pelo que não se considerou um custo.

Reposicionamento das ferramentas e materiais de aperto

Localização central dos materiais de aperto - Atualmente a mudança de referência implica a utilização dos materiais referidas na Tabela 15. Ocasionalmente, utiliza-se ainda um martelo para auxiliar a retirada de algumas peças que possam ficar presas.

Tabela 15 - Ferramentas utilizadas no *setup* nas máquinas de tubos híbridos

		Máquina	
		Tubos Híbridos 1	Tubos Híbridos 2
Local na máquina	Prensa	Chave sextavada nº 6	Chave hexagonal de boca nº 18
	Alimentadores	Chave sextavada nº 10	Chaves sextavadas nº 4 e 6
	Calibrados	Chave sextavada nº 8	Chave sextavada nº 8
	Inserção	Chaves sextavadas nº 6 e 10	Alicate

Recomendou-se a colocação destas ferramentas num local tão perto quanto possível do local de utilização para evitar a deslocação do operário (e consequente perda de tempo). Apresentou-se a ideia da identificação da localização das chaves de aperto para as tornar mais rapidamente identificáveis pelo operário (Figura 32). Como medida adicional sugeriu-se que cada operador tivesse também um jogo de chaves suplentes para o caso de alguma chave não se encontrar no seu local devido.

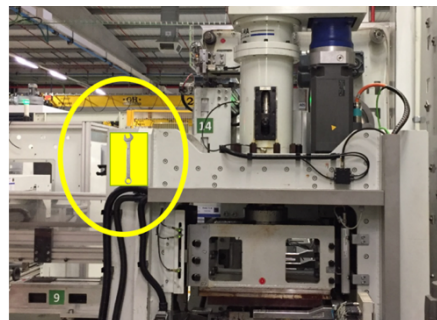


Figura 32 - Exemplo de identificação e colocação das chaves de aperto

Alteração da localização das ferramentas de troca -

Idealizou-se ainda a disposição das ferramentas de troca de forma em bancadas e prateleiras que estivessem mais perto do local onde iriam ser utilizadas e estimou-se o retorno económico da proposta de melhoria como se verifica na Tabela 16.

Tabela 16 - *Payback* da implementação da localização de ferramentas

Número de trocas de referência anuais	254
Duração média de deslocações	13:00 min
Duração operação com a solução proposta	3:00 min
Ganhos (€) por redução de paragem da máquina	1092,20 €
Ganhos (Quantidade) de produção nesse período	33867 unidades
Lucro anual possível	1747,52 €
Total de ganhos em 1 ano	2839,72 €
Custo da solução	2360 €
<i>Payback</i>	10 meses

Uma vez que o *payback* se obteria em apenas 10 meses (período aceite pela Empresa), consideraram-se duas áreas virtuais (uma em cada porta de acesso), contendo na sua proximidade as suas ferramentas específicas e instalaram-se umas bancadas nas áreas da máquina de forma a dividir os componentes de troca pelas localizações respetivas. (Figura 33).



Figura 33 - Bancadas em uma das áreas da máquina 2

4.6.5 Mecanização

Implementação de “Botão de troca de referência”

Verificou-se que no termo da produção de um lote, o operador gastava em média 4 minutos a alterar individualmente várias configurações do controlador eletrónico da máquina, de forma a colocá-la numa posição inicial que permite a troca de componentes. A eventual melhoria passaria por reprogramar o *software* do controlador para que contemplasse a existência de um botão que, automaticamente, colocasse todos os componentes da máquina nessa posição inicial.

Esta sugestão foi idealizada durante o último terço da estadia na Empresa. Após uma reunião com o técnico responsável pela programação de máquinas, percebeu-se que não existia a nível local possibilidade de reprogramar o *software* para implementar esta melhoria. Pediu-se então ao fornecedor da máquina a avaliação e orçamento da alteração pretendida. Esse orçamento não chegou em tempo útil pelo que esta melhoria não foi implementada no período de estadia na Empresa, aguardando-se a sua chegada para avaliar o potencial retorno do investimento (Tabela 17).

Tabela 17 - Dados para eventual cálculo do retorno de investimento da solução do botão no controlador

Número de trocas de referência anuais	254
Duração média de operação para configurar controlador	4:00 min
Perda anual (€) por máquina parada	436,88 €
Perda anual (Quantidade) de produção nesse período	13547 unidades
Lucro anual possível	699 €
Total de ganhos em 1 ano	1135,89 €
Custo da solução	Desconhecido
<i>Payback</i>	Desconhecido

Alteração da guia do filme

A máquina 1 não tem um servo-motor para alinhamento automático da guia do filme na inserção como existe na máquina 2. Em algumas trocas de referência, os operadores têm que aceder a espaços muito reduzidos para aceder a locais para alterarem manualmente a altura da guia. Sugeriu-se a colocação de um mecanismo semelhante ao da máquina 2.

O preço elevado da aquisição e aplicação de um servo-motor (1900€) inviabilizou a implementação da proposta (como se pode ver pela Tabela 18) numa máquina que já se começa a aproximar do fim de vida (previsto para o final de 2020).

Tabela 18 - *Payback* da implementação de um servo-motor na guia da calha do filme

Número de trocas de referência anuais em que se procedeu ao ajuste da guia	114
Duração média de operação para ajuste da guia do filme	5:15min
Perda anual (€) por máquina parada	257,36 €
Perda anual (Quantidade) de produção nesse período	7980 unidades
Lucro possível	411,77 €
Total de ganhos em 1 ano	669,13 €
Custo da Solução	1900 €
<i>Payback</i>	35 meses

Assumindo que se iria realizar o mesmo número de trocas de referência nos próximos anos, uma vez que o *payback* não seria obtido durante a vida útil da máquina, esta sugestão não foi implementada.

No entanto, será importante analisar se algumas das avarias detetadas na máquina são devido ao ajuste incorreto das guias do filme. Nesse caso, deve-se ter em consideração o tempo de paragem da máquina para reparar esta avaria e realizar nova análise económica para verificar se existirá retorno do possível investimento. Este é um estudo que deverá ser tido em consideração por parte dos responsáveis da linha de tubos híbridos da Empresa.

4.6.6 Melhoria no armazenamento de matéria prima

Na Empresa existem áreas de armazenamento de matéria primas e de produtos manufaturados, designados por “supermercado”.

O material sai da lavadora (1 ou 2), é depositado no supermercado (3) segundo o fluxo representado pelo sentido das setas da Figura 34 e só depois é utilizado na máquina de tubos híbridos (4 ou 5). Os operadores têm, por vezes, que mover várias caixas para descobrir a matéria prima que necessitam e que se pode encontrar no meio do supermercado, devido à falta de organização.

Uma vez que não seria possível colocar previamente a matéria prima da nova referência a ser produzida junto da máquina (política da Empresa), pensou-se em adaptar o *layout* do supermercado que abastece as máquinas de tubos híbridos de forma a garantir um fluxo mais eficiente de material e que fizesse com que os operadores percorressem uma menor distância durante a troca de referência (Figura 34).

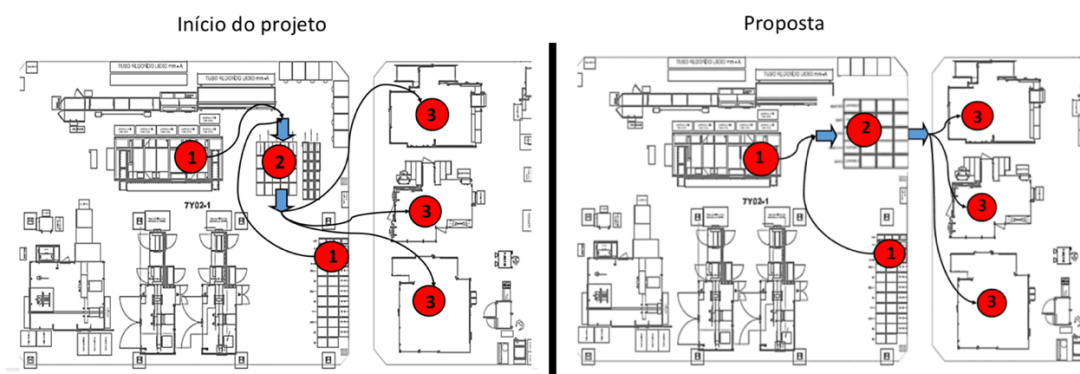


Figura 34 - Fluxo de material na linha de tubos híbridos (Início do projeto Vs. proposta)

Idealizou-se a rotação do supermercado em 90° no sentido anti-horário, aproximando-o o mais possível do corredor. Seria importante separar os materiais por referência para ser mais facilmente identificável os locais de recolha da matéria prima. Contudo, o espaço disponível não permitia dispor todas as referências junto ao corredor, como inicialmente pensado. Após discussão com o *Product Leader*, chegou-se à proposta representada no Anexo G.

A solução consiste em agrupar os espaços por máquina, com um corredor para os tubos “ovais” e outro para as placas onduladas. Desta forma, um operador que esteja a realizar a troca de referência, desloca-se ao depósito de matéria prima da máquina correspondente e retira as caixas de matéria prima mais próximas (que foram colocadas no supermercado pela ordem de necessidade nas máquinas de tubo híbrido). Evita-se o tempo desperdiçado à procura da matéria prima, enquanto se reduzem as distâncias percorridas pelos operadores.

Uma vez que durante o decorrer deste projeto foi admitido na Empresa um elemento responsável pelos supermercados na linha de tubos híbridos, foi-lhe apresentada esta proposta esperando que esta seja validada e aprovada o mais brevemente possível.

4.7 Resultados

4.7.1 Redução dos tempos de operação

Ainda durante a fase de análise foram sendo testadas informalmente todas as melhorias idealizadas e que viriam a ser implementadas. Após aplicação da metodologia SMED, obteve-se uma melhoria generalizada na duração das trocas de referência, que podem ser consultadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparação dos tempos antes VS. após SMED

Máquina	Tipo Troca	Tempo inicial (min)	Tempo após SMED (min)	Redução
Máquina 1	MTTPI	67	50	25%
	MP	55	15	73%
	MT	90	70	23%
Máquina 2	MT	97	70	28%
	MT-F	85	62	27%

Ao normalizar e redefinir os percursos de troca, conseguiu-se reduzir as distâncias percorridas pelos operadores em cerca de 70%. Este valor serviu como incentivo para demonstrar aos operadores a importância de seguirem as instruções de trabalho segundo a sequência estabelecida.

Assumindo-se que o tempo de paragem por avarias se manterá inalterado, esta redução fará aumentar o índice de disponibilidade das duas máquinas aproximadamente 4%, passando dos atuais 65% para 69%. Estes valores poderão ser ainda mais elevados caso se venham a implementar as soluções ainda pendentes de orçamento.

4.7.2 Retorno do Investimento

Para operacionalizar as medidas de melhoria foi necessário adquirir algum equipamento, sobretudo bancadas para colocação de materiais e ferramentas. Este equipamento representou um investimento total de 2534,67 €.

Estes investimentos refletirão uma poupança anual de 5603 minutos em trocas de referência (3110 minutos na máquina 1 e 2493 minutos na máquina 2), o que equivale a aproximadamente 93,5 horas, no total das 2 máquinas e a uma redução de custos de 1178,1€ (custo de oportunidade de não aproveitamento do recurso).

O aproveitamento deste tempo permite produzir mais 74800 tubos híbridos (assumindo que o tempo de ciclo se manterá constante a 4,5 segundos), o que se traduz num aumento de produção de 1,65% e num aumento do lucro anual em 8976 € (considerando o valor da margem de lucro fornecido pela Empresa).

Neste tempo é possível realizar, em média, mais 48 trocas de referência na máquina 1 (37 do tipo MT, 8 do tipo MTTPi e 3 do tipo MP) e 35 trocas na máquina 2 (27 do tipo MT e 8 do tipo MT-F), admitindo que a proporção de tipo de trocas de referência se mantém igual ao ano anterior. Com este aumento do número de trocas, é possível diminuir o tamanho dos lotes de produção e aumentar a flexibilidade da linha de produção.

Tendo em conta apenas o custo das trocas de referência, o *payback* do investimento é obtido após 12 meses, sendo que após esse tempo a Empresa terá o retorno do investimento realizado.

Se consideramos que as máquinas vão produzir tubos híbridos no intervalo de tempo que se ganhou com a redução do tempo de troca de referência, o *payback* obtém-se passados 4 meses.

4.8 Controlo

Finalmente, definiu-se a forma de controlar os resultados das melhorias efetivamente implementadas. Esse controlo deverá ser realizado de forma continuada, permitindo acompanhar a esperada evolução favorável, mas também detetar precocemente desvios devidos a situações fortuitas que importa detetar e remediar desde o início.

4.8.1 Feedback visual da melhoria

Com vista a controlar os tempos de *setup* obtidos após a melhoria do processo, foi implementado um quadro de controlo visual para cada turno, localizado na proximidade das máquinas.

Este quadro, apresentado na Figura 35, mostra o estado geral da troca de referência através da colocação de marcas de cor verde, amarelo ou vermelho. É ainda possível verificar quais os tempos definidos como objetivo das trocas de referência para cada tipo, a média semanal e quantificar a diferença para o objetivo estabelecido. Desta forma consegue-se ter uma perceção geral das trocas da semana anterior e permite-se que os operadores consigam visualizar mais facilmente quais os objetivos definidos pela equipa para os tempos de troca.

 **TROCA DE REFERÊNCIA**

Semana nº _____

Máquina 1				Máquina 2			
Estado				Estado			
Tipo Troca	Objetivo (min)	Média semanal (min)	Diferença para objetivo (min)	Tipo Troca	Objetivo (min)	Média semanal (min)	Diferença para objetivo (min)
MT				MT			
MTTP1				MT-F			
MP							

MT: Muda Talo
 MTTP1: Muda Transfer do Talo, Prensa e Injeção
 MP: Muda Prensa
 MT-F: Muda Talo Manca Filme

Figura 35 - Quadro de controlo visual do processo de troca de referência

A cor verde será atribuída se todos os tipos de *setup* de uma máquina estiverem dentro do objetivo proposto. No caso de apenas um deles estar dentro do objetivo e os outros não cumprirem as metas, será atribuída a cor amarela. Será colocada a cor vermelha caso todas as durações de trocas de referência estiverem acima do objetivo proposto.

Adicionalmente, foi sugerido que, semestralmente, os responsáveis de Higiene e Segurança e o MQT realizem uma auditoria ao processo de troca de referência, para aferir das condições de segurança e rigor de cumprimento das normas estabelecidas.

4.8.2 *Análise qualitativa periódica*

Quando ocorrem problemas, o operador anota num documento específico as dificuldades encontradas durante as trocas de referência e os tempos que demoraram a ser solucionadas. Este documento é verificado pelo MQT, que faz um levantamento mensal desses documentos com vista a análise para perceber outras formas de minimizar a duração do *setup* sem interferir com a qualidade dos produtos. Este documento pode revelar-se de grande utilidade a um projeto que está a ser estudado e desenvolvido na linha de tubos híbridos e que incide na limitação de avarias através da manutenção preventiva. A aposta nesta vertente fará certamente elevar o indicador de disponibilidade da linha de tubos híbridos.

4.8.3 *Determinação quantitativa da melhoria*

Espera-se que exista uma redução nos tempos de *setup* desde o início da implementação pois algumas das medidas têm efeito imediato, mas que continuem a melhorar ao longo do tempo, de acordo com o treino adquirido pelo pessoal que as executam.

Será necessário construir tabelas comparando o histórico com a realidade atual e extrair dos valores obtidos as métricas que são convertidas em KPI pela Empresa.

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

5.1 Conclusões

Este trabalho constituiu uma aplicação prática em ambiente industrial da aplicação da metodologia SMED com vista à redução do tempo de mudança de referência numa linha de produção de componentes para motores de combustão.

Constituiu-se e liderou-se uma equipa com definição das responsabilidades de cada elemento, bem como um cronograma de todo o projeto.

A fase seguinte foi a obtenção de dados em produção real, seguida da sua limpeza, agregação e análise, que confirmaram a impressão de grande variabilidade de tempos de *setup* e a sua duração média elevada, com uma decomposição em fatores bastante diferente da idealizada por Shingo.

Foi então possível elaborar uma lista de propostas visando corrigir o problema inicial e apresentá-las à Empresa. Desta lista viriam a ser implementadas algumas medidas: Conversão de tarefas internas em externas; Normalização de procedimentos; Atividades paralelas; Melhoria da operação; Mecanização e ainda Melhoria no armazenamento de matéria prima. Com as medidas já implementadas conseguiu-se uma redução de cerca de 25% na duração e 50% na variação médias das trocas de referência. Estas melhorias permitirão a produção de mais 74800 tubos híbridos por ano (um aumento de 1,65%) ou a flexibilização da linha, ao proporcionar a realização de mais 83 trocas de referência anuais.

É de salientar que todas as medidas recomendadas devem ser sustentadas em primeiro lugar por firme aposta na informação, formação e valorização dos recursos humanos envolvidos, de modo que compreendam que o trabalho que está a ser realizado não só vai de encontro às expectativas da Empresa como também os beneficia, ao reduzir a carga de trabalho necessária. Este foi o objetivo dos cinco *workshops* de formação realizados durante o desenvolvimento do projeto.

Finalmente, idealizou-se um plano de controlo da eficiência das propostas implementadas e de outras que vierem a ser efetivamente implementadas, contendo um acompanhamento qualitativo e quantitativo que permita acompanhar a evolução da eficiência da linha de montagem.

5.2 Trabalho futuro

A duração reduzida deste projeto obrigou a um foco numa área muito restrita do problema identificado. Faltou também a validação em tempo razoável da eficácia de algumas soluções propostas.

Temos assim que este é um trabalho que deveria ter continuidade, contemplando o alargamento dos limites da área estudada. Esses trabalhos poderiam incluir:

- Alargamento da metodologia aplicada às máquinas de placas da linha de tubos híbridos;
- Implementação de um sistema de medição de tempo de troca mais rigoroso, com registo eletrónico automático dos tempos de troca para evitar erros nos registos. Estes tempos seriam armazenados numa base de dados, juntamente com o tipo de troca realizada, para tornar mais fácil e rigorosa a análise da ineficiência inerente às trocas de referência;
- Melhoria da TPM. Uma vez que cerca de 75% das perdas por disponibilidade nas máquinas de tubos híbridos dizem respeito a avarias, um estudo mais aprofundado desta área certamente permitirá atuar na causa do problema e aumentar a eficiência da linha;
- Melhoria do indicador de desempenho das máquinas de tubos híbridos. Para fazer com o que o indicador de OEE atinja o nível estabelecido pela empresa (85%), é necessário intervir em todas as suas componentes. Uma vez que o índice de qualidade se cifra quase no máximo, deverá intervir-se no indicador de desempenho das máquinas;
- Estudos da correlação entre operador e tipo de avarias. Para evitar a repetição de avarias por uso ou afinação incorreta da máquina, poder-se-ia estudar a relação entre as avarias verificadas e o operador que trabalhava na máquina, detetando casos individuais que necessitariam de maior apoio e formação;
- Operador Vs. Tempo de troca de referência. Para uma aposta na especialização, poder-se-ia estudar quais os operadores que efetuavam as trocas de referência de maneira mais eficiente para permitir diminuir os tempos médios de troca;
- Estudos de possibilidade de criar equipas dedicadas à troca de referência na unidade fabril de Viana do Castelo, à semelhança do que já acontece em empresas do mesmo ramo.

6 Referências

- Bacci, M., Sugai, M., & Novaski, O. 2005. Proposta de modelo de tomada de decisão para aplicação da metodologia SMED. XII SIMPEP, Bauru, São Paulo, Brasil.
- Costa, E. 2012. Melhoria da Secção de Transformação Mecânica de uma Empresa de Elevadores. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.
- Found, P. et al. 2008. Staying Lean: Thriving, not just surviving. Cardiff: Lean Enterprise Research Centre.
- Goubergen, D. Van. 2000. Set-up reduction as an organization-wide problem. Proceedings of the IEE Solutions 2000, Cleveland, Ohio, USA, 22-2.
- Holweg, M. 2007. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management* 25: 420–437.
- Imai, M. 1997. *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management*. McGraw-Hill.
- Liker, J. 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greastest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Lopes, R., Neto, C., & Pinto, J. 2010. Mudança rápida de ferramentas (Quick Changeover): aplicação prática do método SMED. *Kêramica*, 305: 31-36.
- Machado, V.C. 2007. Perspectivas de Desenvolvimento da Produção Magra. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Disponível em: <<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/25/25-25.pdf>>, acedido em 26/02/2018.
- McIntosh, R., Culley, S., Gest, G., Mileham, T., & Owen, G. 1996. An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(9): 5-22.
- McIntosh, R., Owen, G., Culley, S., & Mileham, T. 2007. Changeover improvement: reinterpreting Shingo's "SMED" methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1): 98-111.
- Michels, B.T. 2007. Application of Shingo's Single Minute Exchange of Dies. *Bold*. 20(5).
- Nakajima, S. 1982. *TPM tenkai*, JIPM Tokyo.
- Ohno, T. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Productivity Press.
- Pinto, J. P. 2014. "Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras". Lidel, Lisboa.
- Pinto, J. 2009. *Modelo de Implementação do pensamento JIT - Uma abordagem prática aos conceitos*. Publindústria Edições Técnicas, Lisboa.
- Singh, B., & Khanduja, D. 2010. SMED: for quick changeovers in foundry SMEs. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59: 98-116.
- Shingo, S. 1985. *A Revolution in Manufacturing: the SMED System*, Productivity Press, Cambridge, Massachusetts and Norwalk, Connecticut.

Shingo, S. 1996. O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia da Produção. Bookman.

Sousa, R., Lima, R., Carvalho, D., & Alves, A. 2009. An industrial application of resource constrained scheduling for quick changeover. Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Hong Kong, 189-193.

Womack, J., Jones, D. 2003. Lean thinking banish waste and create wealth in your corporation. Fress Press, New York.

Womack, J., Jones, D. 1996. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation. Free Press, New York.

Womack, J., Jones, D & Ross, D. 1990. The Machine That Changed the World. London: Simon & Schuster UK.

ANEXO A: Excerto de documento de apoio à recolha de dados de *setup*



Diagrama de sequência												
Diagrama nº		Folha nº de		Resumo								
Máquina:				Atividades	Atual	Proposta	Ganhos	%				
\				Operação	0,0		0	0%				
Referência OUT:				Transporte	0,0		0	0%				
Operadores:				Controlo	0,0		0	0%				
Turno:				Espera	0,0		0	0%				
Método: Atual / Proposto				Armazenagem	0,0		0	0%				
Data:				Distância (m)		0	Total		0			
Horas:				Tempo (min)		0,0			0			
Diagrama por:									0			
Nº	Descrição da tarefa	Interna	Externa	Distância (m)	Duração		Atividades					OBS
					min	seg	●	→	■	■	▼	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												

Figura 36 - Documento de apoio à recolha de dados de *setup*

ANEXO B: Excerto de listagem de operações e tempos de execução



Diagrama de sequência												
Diagrama nº 2		Folha nº 1 de 3			Resumo							
Máquina: TUBOS HÍBRIDOS 2 Referência IN: 7185 Referência OUT: 21840 Operadores: Y Turno: 1					Atividades		Atual	Proposta	Ganhos	%		
					Operação		58		0	0%		
					Transporte		15		0	0%		
					Controlo		10		0	0%		
					Espera		100		0	0%		
Armazenagem		6		0	0%							
Método: <u>Atual</u> / Proposto					Total							
Data: 14/03/2018		Horas: 08:50			Distância (m)		681		0	0%		
Diagrama por: Miguel Carneiro					Tempo (min)		188		0	0%		
Nº	Descrição da tarefa	Interna	Externa	Distância (m)	Duração		Atividades					OBS
					min	seg	●	➡	■	⬇	▼	
1	STOP máq		x		0	30	x					
2	Limpeza TH em fim de linha (manual)	x			2	10	x					
3	STOP máq 1 para retirar moldes	x		14	2	30	x					Moldes deviam estar na m2
4	Configurar controlador	x			0	30	x					
5	Abrir porta lateral	x		5	0	5	x					
6	Colocar locker	x			0	5	x					
7	SOS controlo calibre máq 1	x		2	0	25	x					Ajuda ao operário maq 1
8	Retirar MP alimentador placas OUT 1	x		7	0	35	x					
9	Retirar peças retidas máq	x		5	0	40	x					
10	Retirar MP alimentador placas OUT 2	x		4	0	25	x					
11	Retirar MP alimentador To OUT	x		6	0	45	x					
12	Retirar locker	x			0	5	x					
13	Procurar controlador	x		12	0	10		x				
14	Configurar controlador zona filme	x			0	25	x					
15	Retirar filme retido	x			0	25	x					
16	Armazenar To controlo	x		35	0	40					x	
17	Retirar placas calibre 1	x			0	8	x					
18	Retirar molde calibre 1	x			0	18	x					
19	Retirar placas calibre 2	x			0	12	x					
20	Rodar parafusos s/fim 1 & 2	x			0	30	x					
21	Retirar suportes cabeça	x			0	5	x					
22	Retirar molde calibre 3	x			0	5	x					
23	Ajustar posto 11C	x		2	0	30	x					
24	Retirar molde posto 11C transfer	x			0	30	x					Molde preso
25	Ajuste posto intermedio 11C	x			0	15	x					

Figura 37 - Excerto de listagem de operações e tempos de execução numa troca de referência do tipo "MT"

ANEXO C: Diagrama spaghetti dos percursos nas trocas de referência

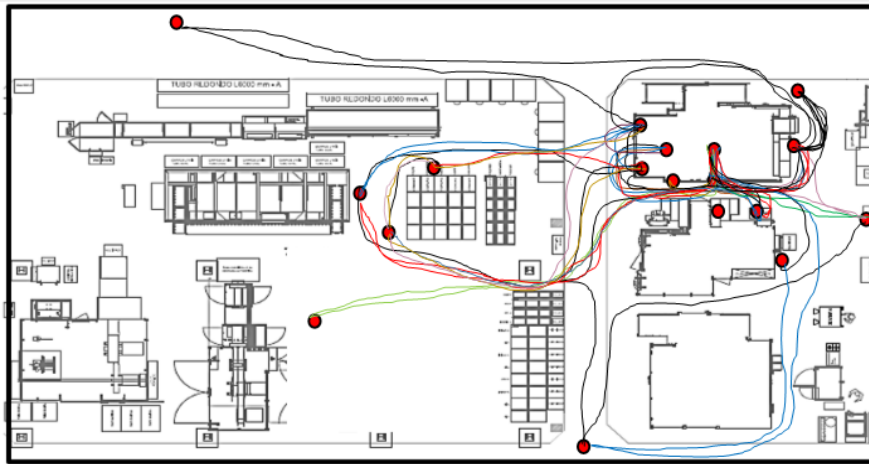


Figura 38 - Diagrama spaghetti (MT-F) na máquina 2 de tubos híbridos, no turno 1

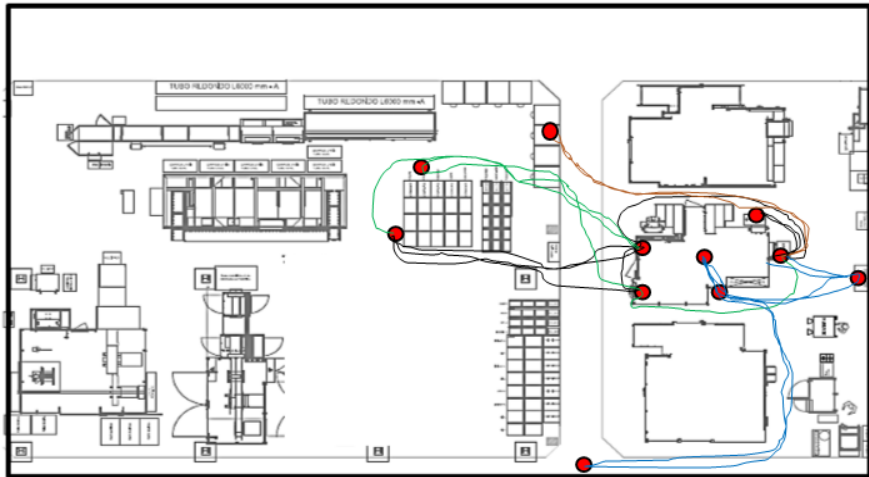


Figura 39 - Diagrama spaghetti (MP) na máquina 2 de tubos híbridos, no turno 2

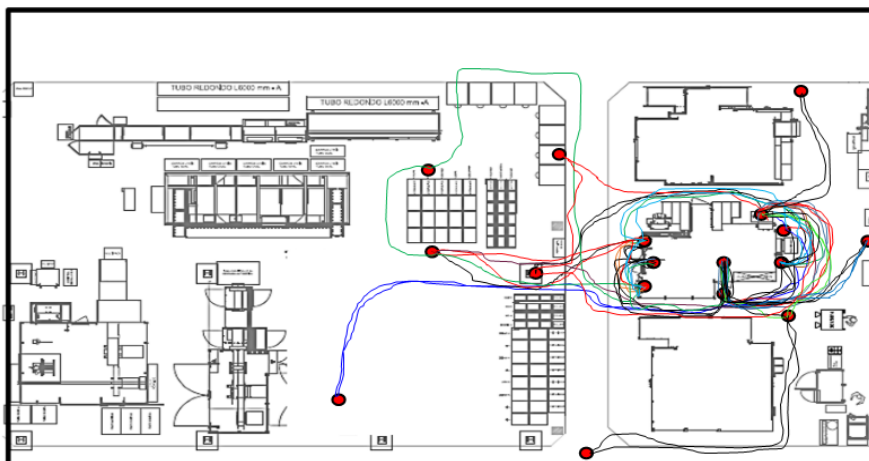


Figura 40 - Diagrama spaghetti (MTTPI) na máquina 2 de tubos híbridos, no turno 2

ANEXO D: Numeração das máquinas

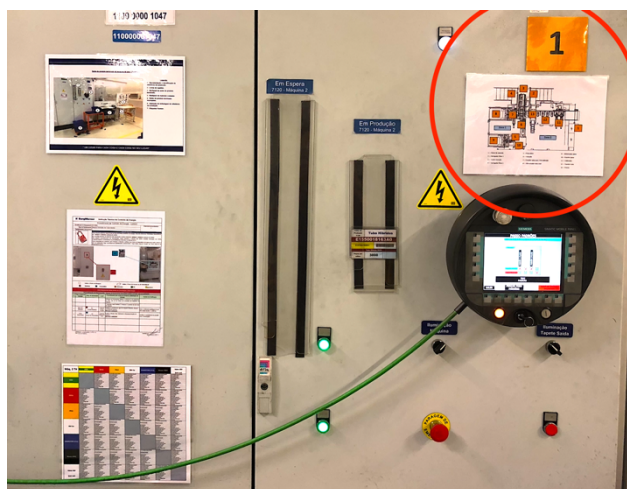


Figura 41 - Numeração na máquina e esquema de numeração

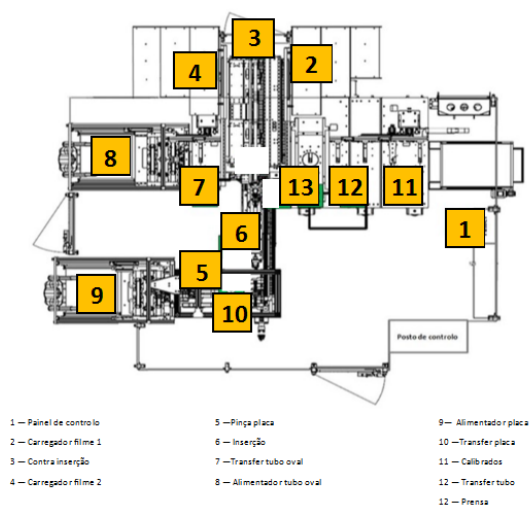


Figura 42 - Esquema máquina 1 de tubos híbridos

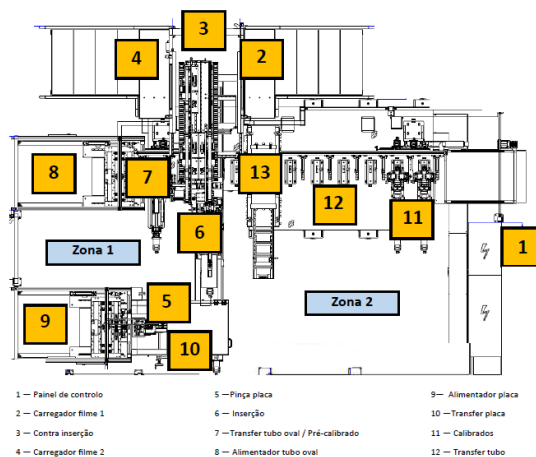


Figura 43 - Esquema máquina 2 de tubos híbridos

ANEXO E: Excerto de matrizes de troca de referência

Máq. 1 TH	7157	7185	18926
7157		P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa	P1-Definições Painel Cor P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo ova P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa
7185	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa		P1-Definições Painel Cor P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo ova P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa
18926	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval	

Figura 44 - Excerto da matriz de troca de referência da máquina 1 de tubos híbridos

Máq. 2 TH	7185	21840	26495	2998
7185		P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa	P1-Definições Painel Com P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa
21840	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa		P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa	P1-Definições Painel Com P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa
26495	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa		P1-Definições Painel Com P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa P10-Transfer placa P11-Calibrados P12-Cunas transfer tubo P13-Prensa
2998	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa	P1-Definições Painel Controlo P2-Carregador flme 1 P3-Contra-inserção P4-Carregador flme 2 P5-Piça Placa P6-Inserção P7-Transfer tubo oval P8-Alimentador tubo oval P9-Alimentador placa	

Figura 45 - Excerto da matriz de troca de referência da máquina 2 de tubos híbridos

ANEXO F: Standard Work Combination Sheet

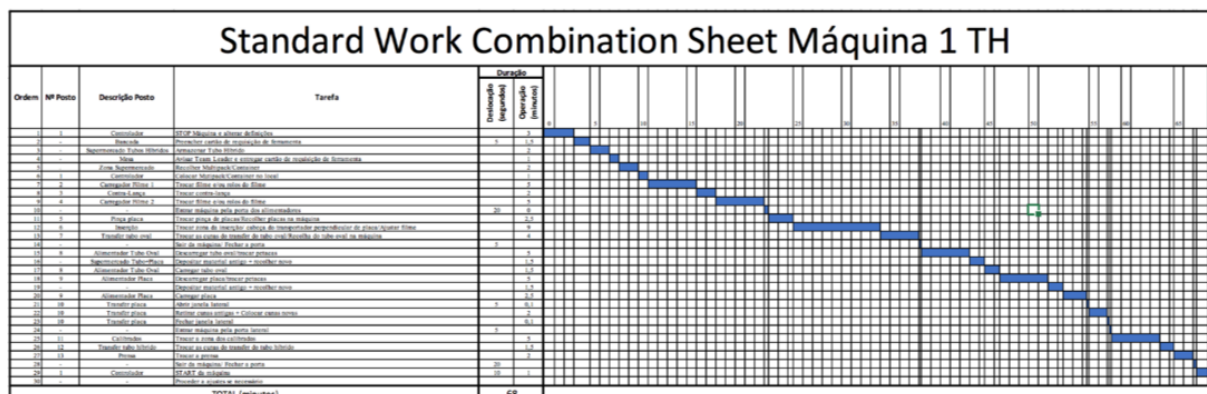


Figura 46 - Standard Work Combinatin Sheet da máquina 1

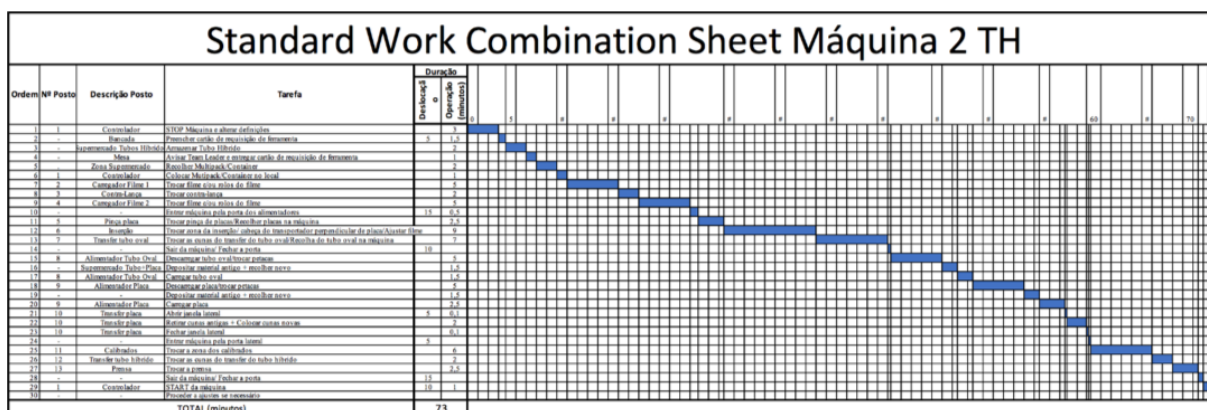


Figura 47 - Standard Work Combination Sheet da máquina 2

ANEXO G: Proposta de layout da área de “supermercado”

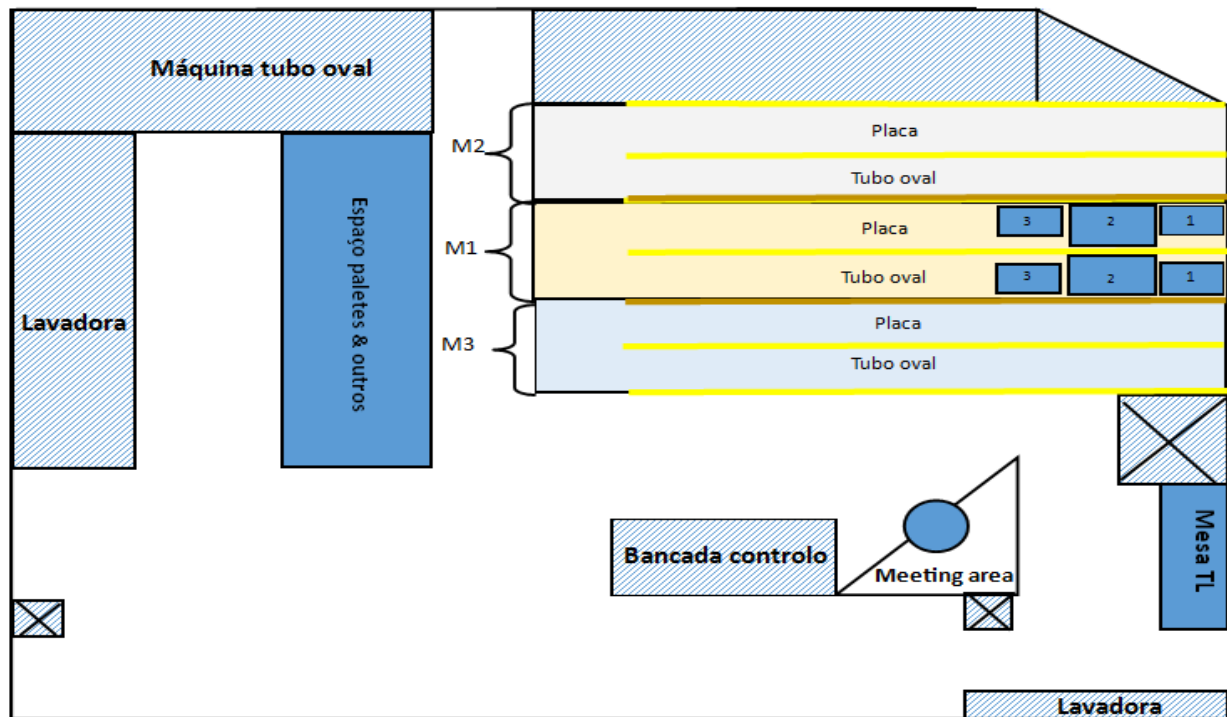


Figura 48 - Proposta de layout discutida com o *Product Leader*