



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Filipe José Coelho Morgado

**REDUÇÃO DO TEMPO DE TROCA DE
REFERÊNCIA NUM SISTEMA FLEXÍVEL DE
PRODUÇÃO**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial
orientada pelo Professor Cristóvão Silva e apresentada no
Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciência e
Tecnologia da Universidade de Coimbra.**

Julho de 2019



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Redução do tempo de troca de referência num sistema flexível de produção

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

Reduction of changeover time in a flexible production system

Autor

Filipe José Coelho Morgado

Orientador

Professor Doutor Cristóvão Silva

Júri

Presidente	Professora Doutora Cristina Maria Gonçalves dos Santos Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Luis Miguel Domingues Fernandes Ferreira Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



BorgWarner Emissions Systems Portugal,
Unipessoal, LDA.

Coimbra, julho, 2019

Do the thing you fear, and the death of fear is certain.

Ralph Waldo Emerson.

Agradecimentos

Agradeço à minha família e em especial aos meus pais, que acreditaram sempre em mim. Deram-me todas as condições para prosseguir a instrução. Foram a base na qual pude construir, inventar, errar, cair, crescer. Sem a constância do seu apoio, nunca teria sido possível realizar este trabalho. A eles um obrigado para a vida.

À minha namorada por ser a minha motivação, apoio, inspiração em inúmeros momentos no meu percurso académico. Com ela as decisões tornaram-se mais fáceis, o caminho menos árduo.

A todos os meus amigos e colegas que me ajudaram de uma forma ou de outra, o seu suporte e partilha foram sem dúvida importantes.

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva, pela orientação, disponibilidade e transmissão de conhecimento que me permitiram aprimorar este projeto.

Ao Engenheiro André Seara pela orientação dada na empresa que foi preciosa para a realização do meu trabalho. Pelo tempo abdicado, experiência partilhada, e constante motivação que permitiu ter forças para enfrentar os obstáculos que surgiram.

A toda a equipa da BorgWarner que partilhou do seu tempo para me ajudar na realização deste trabalho.

A todos um sincero muito obrigado!

Resumo

A capacidade de realizar trocas de referência de forma rápida e eficaz é frequentemente reconhecida como um pré-requisito dos sistemas de produção flexíveis, onde são fabricados pequenos lotes de forma intermitente com o objetivo de responder às flutuações da procura. A tendência crescente para a customização em massa dos produtos e serviços, leva a que a utilização destes sistemas seja cada vez mais frequente.

O presente trabalho foi desenvolvido numa linha de produção de válvulas de Recirculação de Gases de Escape (EGR), na BorgWarner Emissions Systems Portugal. Este teve como objetivo a redução do tempo de troca de referência na linha de produção. Utilizando como guia de resolução de problemas a metodologia DMAIC, foi possível abordar o problema de uma forma lógica e faseada, permitindo por fim formular propostas de melhoria adequadas ao problema.

O problema foi dividido em três pontos de menor dimensão: (i) Restruturação do sistema de rastreabilidade na linha; (ii) Redução do tempo de *changeover* numa máquina; (iii) Organização das ferramentas utilizadas no *changeover*. Foi possível melhorar o desempenho no *changeover* em toda a linha, através da mudança do sistema de rastreabilidade, implementação da metodologia *SMED* associada a metodologia FMEA, e melhoria na organização das ferramentas.

Os principais resultados deste trabalho foram o aumento da disponibilidade do estrangulamento em 25 minutos por *changeover*, que criou um valor económico estimado de 7.507 € para um período de 2 anos. Para além disso foi possível reduzir os tempos de *changeover* numa máquina que condicionava as trocas de referência em toda a linha. Destaca-se também a elaboração de um procedimento de *changeover* que permitiu compactar 42 combinações de referência, assim como a criação de um protótipo de armazenamento de ferramentas utilizado para as operações de *changeover*.

Palavras-chave: Rastreabilidade, Sistema Flexível de Produção, *SMED*, Troca De Referência.

Abstract

The ability to perform changeover quickly and efficiently is often recognized as a prerequisite for flexible production systems where small batches are produced intermittently in order to respond to demand fluctuations. The growing trend towards mass customization of products and services means that the use of these systems is becoming more frequent.

The present work was developed in a production line of Exhaust Gas Recirculation (EGR) valves at BorgWarner Emissions Systems Portugal. The goal was the reduction of the reference exchange time on the line. Using the DMAIC methodology as a guide to problem solving, it was possible to approach the problem in a logical and phased manner, allowing the formulation of improvement measures for the problem.

The problem was divided into three parts: (i) Restructuring of the traceability system in the line; (ii) Reduction of changeover time on a machine; (iii) Organization of the tools used in the changeover. It was possible to improve the changeover performance by changing the traceability system, implementing the SMED methodology associated with the FMEA methodology, and improving the organization of the tools.

The main results of this work were the increase in the availability of the bottleneck in 25 minutes per changeover, which created an estimated economic value of 7,507 € for a period of 2 years. Furthermore, it was possible to reduce the changeover times in a machine that conditioned the changeover in the assembly line. It also stands out the development of a changeover procedure that allowed the compression of 42 reference combinations, as well as the creation of a prototype of the tool storage used for the changeover operations.

Keywords: Changeover, Flexible Production System, SMED, Traceability.

Índice

Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Siglas	xvii
1. Introdução	1
2. Revisão da literatura	3
2.1. Importância da melhoria contínua	3
2.2. Resolução de um problema em melhoria contínua	4
2.2.1. Ciclo PDCA	4
2.2.2. TBP Toyota Business Practice na resolução de problemas	4
2.2.3. Metodologia 8D	5
2.2.4. Metodologia DMAIC	5
2.3. <i>SMED</i>	6
2.3.1. Origem	6
2.3.2. O método	7
2.3.3. FMEA na metodologia <i>SMED</i>	10
2.1. 5S	10
3. Caso de estudo	13
3.1. A empresa	13
3.2. A linha de produção	14
3.2.1. O produto	14
3.2.2. As máquinas	17
3.2.1. As ferramentas	20
3.2.2. Layout e descrição do processo	20
3.2.3. Rastreabilidade	22
4. Metodologia	23
5. O projeto de redução de tempo de troca de referência	25
5.1. Imersão na realidade produtiva	25
5.2. Âmbito do projeto	25
5.2.1. Medição dos tempos de <i>changeover</i>	26
5.2.2. Escolha do âmbito: Rastreabilidade, <i>SMED</i> e Arrumação	27
5.3. Rastreabilidade	29
5.3.1. Avaliação da situação inicial	29
5.3.2. Proposta de melhoria do sistema de rastreabilidade	32
5.4. <i>SMED</i>	35
5.4.1. Fase 0 – Operações internas e externas não estão distinguidas	35
5.4.2. Fase 1 – Separação dos processos internos dos externos	41
5.4.3. Fase 2 – Conversão das operações internas em externas	41
5.4.1. Fase 3 - Simplificação, otimização e racionalização de todas as atividades	42
5.4.2. Análise de Risco	50
5.4.3. Monitorização e controlo	51
5.5. Organização de ferramentas	52

5.5.1.	Situação inicial	52
5.5.2.	Identificação e caracterização do problema	54
5.5.3.	Resolver armazenamento dos úteis do fornecedor 2	55
5.5.4.	Proposta de arrumação: tabuleiros, estantes e carrinhos	56
5.6.	Apresentação e discussão de resultados	57
5.6.1.	Rastreabilidade	57
5.6.2.	<i>SMED</i> e organização de ferramentas	58
6.	Conclusões	61
	Bibliografia.....	63
	ANEXO A.....	65
	ANEXO B	69
	ANEXO C	71
	ANEXO D.....	73
	ANEXO E	75
	ANEXO F.....	77
	ANEXO G.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Os 8 passos do TBP na resolução de problemas integrados no ciclo PDCA (Adaptação de (Imai, 2012)).	4
Figura 2. Típica operação de <i>changeover</i> , fonte: (McIntosh <i>et al.</i> , 2001).	9
Figura 3. Dados gerais da empresa (Fonte: https://www.borgwarner.com/company , acessado em 18/02/2019).	13
Figura 4. Sistema EGR (Fonte: https://www.borgwarner.com/technologies/exhaust-gas-management), acessado em 30/06/2019).	14
Figura 5. Válvulas <i>linear</i> (Fonte: https://www.borgwarner.com/technologies/exhaust-gas-management acessado em 30/06/2019).	15
Figura 6. Exemplo válvula rotativa (Fonte: https://www.invetr.com/powertrain/egr-throttle-valve acessado em 06/06/2019).	15
Figura 7. <i>Forecast</i> anual em fevereiro 2019.	16
Figura 8. Úteis fornecedor 2	20
Figura 9. Úteis fornecedor 1	20
Figura 10. Fluxo da referência R6.	21
Figura 11. Registo de mudança de úteis.	26
Figura 12. Duração da troca de referências nas diferentes máquinas da linha	27
Figura 13. Linha do tempo troca de referência de R3 para R6, situação inicial.	32
Figura 14. Linha do tempo troca de referência de R3 para R6, situação final.	33
Figura 15. Classificação do tipo de operações.	37
Figura 16. Duração dos diferentes tipos de trocas de referência M16.	40
Figura 17. Excerto da listagem, classificação e quantificação das tarefas realizadas de R2 para R6.	41
Figura 18. Fotografia do carrinho concebido para R2.	46
Figura 19. Identificação do posto 6 na M16.	47
Figura 20. Roldanas para inserção de útil no posto 4.	48
Figura 21. Criação de suporte para ter ferramenta junto de 1B.	49
Figura 22. Zona "Racks 1".	53
Figura 23. Caixa com úteis.	53
Figura 24. Zona "Paletes".	53
Figura 25. Gráfico de tempos de troca de referência (Antes e Depois).	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Diferentes válvulas e tipologia.	16
Tabela 2. Características das máquinas.	17
Tabela 3. Fornecedores e máquinas.....	18
Tabela 4. Descrição das localizações e operações de M16.	19
Tabela 5. Metodologia utilizada.	23
Tabela 6. Combinações de trocas de referência.	26
Tabela 7. Descrição de variáveis.	30
Tabela 8. Tempos das máquinas, para análise de TMP_i	31
Tabela 9. Matriz combinação, localização e operação.	38
Tabela 10. Grupos de trocas de referência.	40
Tabela 11. Tabela de análise FMEA	50
Tabela 12. Resumo armazenamento de úteis do fornecedor 2.	54
Tabela 13. Conjuntos de máquinas.....	56
Tabela 14. Tabela resumo das melhorias com a mudança de rastreabilidade.	57

SIGLAS

DMAIC- Define, Measure, Analyse, Improve, Control

EGR - Exhaust Gas Recirculation

E.V. – Economic Value

FMEA- Failure mode and effects analysis.

IPR- Índice Potencial de Risco

PDCA- Plan, Do, Check, Act

SMED - Single Minute Exchange of Die (Troca de Ferramenta em menos de 10 minutos)

TPM-Total Productive Maintenance

1. INTRODUÇÃO

O trabalho apresentado neste documento foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, e teve como objetivo a redução do tempo de troca de referência num sistema flexível de produção.

O estudo foi realizado em ambiente industrial através de um estágio que teve a duração de aproximadamente 5 meses. Este foi desenvolvido em parceria com a “BorgWarner Emissions Systems Portugal”, uma empresa do ramo da indústria automóvel, que produz soluções de Recirculação de Gases de Escape e que está localizada em Viana do Castelo.

Este estudo foi desenvolvido através da análise de uma linha de produção de válvulas, com 16 máquinas, onde são produzidas 7 referências diferentes. Trata-se de um sistema de rotas do tipo *job shop* direcionado, em que a sequência de produção varia com o tipo de referência produzida. O desafio proposto pela empresa foi de reduzir o tempo de troca de referência (*changeover*) na linha. A redução dos tempos de *changeover* têm uma relevância justificada pela tendência do mercado a requerer produtos customizados e em quantidades baixas (Sousa *et al.*, 2009). Segundo Shingo (1983) a redução do tempo de *changeover* através da metodologia “Single Minute Exchange of Die”, *SMED*, tem benefícios tais como a redução da necessidade de criar stock, aumento da capacidade produtiva, redução do nível de competências necessárias para realizar *changeover* e aumento da flexibilidade da produção.

Na definição do âmbito do problema selecionaram-se as melhorias que teriam o maior impacto para reduzir o tempo de *changeover* da linha. Esta dissertação aborda o problema em três frentes, reestruturação do *software* de rastreabilidade, aplicação da metodologia *SMED* na máquina cujo o *changeover* se considerou mais influente e realização de um plano de organização das ferramentas utilizadas no *changeover*. A metodologia utilizada na resolução do problema foi baseada na metodologia DMAIC.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Importância da melhoria contínua

Quando se refere a melhoria contínua no contexto industrial a expressão *kaizen* é frequentemente enunciada, sendo muitas vezes associada à implementação de metodologias *lean manufacturing*, ou *six sigma*. O termo *kaizen* começou a ser aceito como um dos conceitos chave usados desde da publicação “*Kaizen: The Key to Japan`s Competitive Success*” em 1986 (Imai, 2012). Segundo o KAIZEN Institute Portugal (2019) *kaizen* é a prática da melhoria contínua, sendo uma das suas grandes características a obtenção de grandes resultados com a implementação de pequenas mudanças ao longo do tempo. A filosofia *kaizen* é uma abordagem que incorre em baixo risco para obter grandes melhorias, contrastando com projetos de abordagem disruptiva que pretendem obter grandes resultados, mas simultaneamente correndo grandes riscos.

Atualmente, existem empresas por todo o mundo que adotaram a filosofia *kaizen*, sendo aplicada não só na indústria, mas também nos serviços, com é o caso dos hospitais, bancos e administração pública (Imai, 2012). Também no desenvolvimento de produtos a melhoria continua é fundamental para as empresas poderem manter a competitividade. Esta pode ajudar a melhorar os processos internos, aumentar a eficiência e reduzir custos, permitindo aumentar a qualidade dos produtos e serviços. Não obstante, apesar da melhoria contínua ser descrita na literatura com uma filosofia importante para o desenvolvimento das empresas, inculir uma cultura de melhoria não é uma tarefa fácil. Isto deve-se maioritariamente ao desafio de criar melhorias que sejam duradouras, o que só é possível concretizar se houver um esforço da gestão em as manter. Empresas que não se esforcem continuamente em manter melhorias, irão falhar no aumento de criação de tarefas que criem valor, perdendo lentamente competitividade relativamente às que conseguem melhorar continuamente (Hoem e Lodgaard, 2016).

2.2. Resolução de um problema em melhoria contínua

Existem vários tipos de metodologias de resolução de problemas comumente associadas à melhoria contínua. Estas podem ser, por exemplo, a metodologia PDCA, os princípios da Toyota Production System (TPS), ou a metodologia DMAIC (Shankar, 2009).

2.2.1. Ciclo PDCA

O ciclo PDCA tem origem com Dr. Edwards Deming em 1950, este consiste num ciclo de 4 passos para resolver problemas, estando dividido nas seguintes fases, “Planear”, onde se define o problema e se criam hipóteses sobre possíveis causas e soluções, ”Implementar”, onde se realizam as mudanças/testes planeados, “Controlar”, onde se avaliam os resultados e causas, “Atuar”, onde se generalizam as melhorias standardizando-as (Moen e Norman, 2006).

2.2.2. TBP Toyota Business Practice na resolução de problemas

Os 8 passos da abordagem TBP estão resumidos na Figura 1, esta abordagem pode parecer bastante simples, mas à semelhança de outras metodologias de resolução de

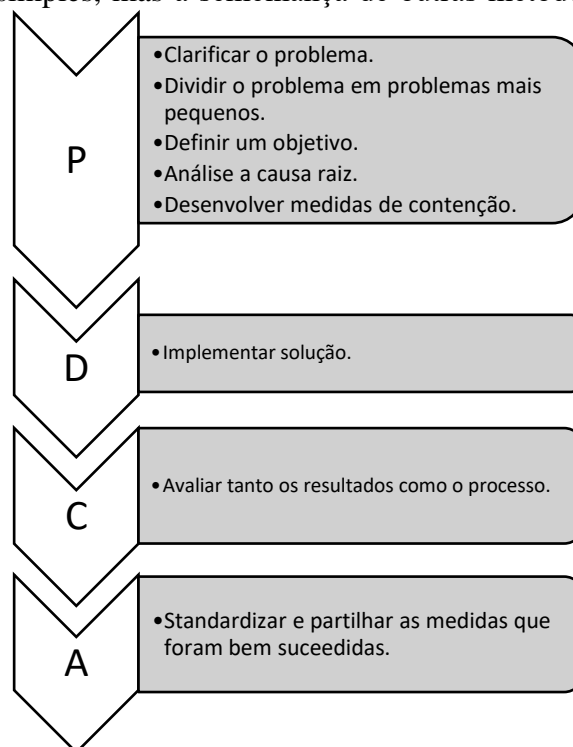


Figura 1. Os 8 passos do TBP na resolução de problemas integrados no ciclo PDCA (Adaptação de (Imai, 2012)).

problemas, é a prática diligente dos vários passos que faz toda a diferença nos benefícios conseguidos, e não a complexidade metodológica (Imai, 2012).

2.2.3. Metodologia 8D

A metodologia 8 D é um método para resolver problemas de alguma dimensão que muitas vezes têm uma complexidade elevada, levando ao envolvimento de vários indivíduos na sua resolução (Chlpeková *et all.*, 2014). Os passos desta metodologia podem ser resumidos nos seguintes passos (Kaplík *et all.*, 2013):

1 Criação de uma equipa: Criação de um grupo de pessoas com conhecimento relevante para o problema em causa;

2- Descrição do problema: Identificação do problema a ser resolvido.

3-Implementação e verificação de ações intermédias de contenção: Tem o objetivo de definir, estabelecer, verificar e implementar medidas de contenção do problema, até que ações de correção permanentes sejam tomadas.

4-Definir e verificar a causa raiz: Identificam-se as causas dos problemas, isolando e verificando a causa raiz.

5-Escolher e verificar as ações corretivas permanentes: Selecionar as medidas corretivas permanentes que melhor resolvem o problema, e que não tenham efeitos secundários.

6-Implementar as ações corretivas permanentes: Planear, implementar e validar as medidas corretivas permanentes.

7-Prevenir a recorrência: Modificar os sistemas, procedimentos e condições operacionais de forma e repetir a recorrência do problema.

8-Felicitar a equipa: Reconhecer e felicitar a equipa pelo seu trabalho.

2.2.4. Metodologia DMAIC

A metodologia *Six Sigma* foi desenvolvida pelo engenheiro Bill Smith da Motorola nos anos 80. Esta metodologia procura encontrar e eliminar causas de erros ou defeitos num processo focando-se nos outputs que são críticos para o cliente (Snee, 2000). O nome sugere o objetivo de redução de defeitos para 3.4 por milhão de oportunidade (Linderman *et all.*, 2003).

A abordagem DMAIC frequentemente utilizada em projetos *Six Sigma*, promove um método com várias fases, estas devem ser seguidas para obter os resultados pretendidos. Na fase “Definir” realiza-se a definição do problema e compreende-se o âmbito do problema; A fase “Medir” tem como objetivo recolher informação sobre o estado inicial do processo que necessita de melhoria. Esta informação permite conhecer melhor o que acontece no processo; Na fase “Analisar” analisam-se os dados recolhidos na fase medir, determinando as principais causas de ineficiências no processo e possíveis soluções; Na fase “Melhorar” pretende-se melhorar o processo, implementar propostas analisadas na fase anterior; “Controlar” implica controlar o processo melhorado e monitorizar os resultados de forma continuada (Shankar, 2009).

A metodologia DMAIC considera um problema que foi identificado pela organização e utiliza um conjunto de ferramentas e técnicas numa ordem específica para alcançar uma solução específica. A solução alcançada vai minimizar ou eliminar o problema, sendo que são utilizadas diferentes ferramentas nas diferentes fases (Dziak, 2017). Esta metodologia de resolução de problemas, apesar de ser essencialmente aplicada em projetos *Six Sigma*, também já foi utilizada em projetos de troca de referência (Corrêa *et al.*, 2014; Karam *et al.*, 2018).

2.3. SMED

2.3.1. Origem

Em 1950 Shingo conduzia um inquérito com o objetivo de melhorar a eficiência na fábrica Toyo Kogyo’s Mazda, em Hiroshima, que na altura fabricava carros de três rodas. A empresa queria eliminar os estrangulamentos no processo de prensagem. Shingo observou uma mudança de referência em que faltava um parafuso para finalizar a mudança numa prensa, tendo que esperar mais de uma hora para que uma solução fosse encontrada. Shingo percebeu que a preparação de todos os parafusos para a realização da troca de referência poderia ser feita previamente à paragem da máquina. Ocorreu-lhe então, fazer a distinção entre operações internas, realizadas com a máquina parada, e operações externas, realizadas com a máquina a funcionar.

Em 1969, na fábrica Toyota Motor Company’s, Shingo analisou o *setup* de uma prensa, e, após 3 meses de esforços diligentes, conseguiu reduzir uma operação de *setup* que

demorava 4 horas para 90 minutos. No entanto, este valor não era suficiente para a gestão, que lhe lançou o desafio de reduzir o tempo para apenas 3 minutos. Foi então que surgiu a ideia de converter as operações internas em externas, conseguindo passar de uma mudança de *setup* que demorava 4 horas para uma que demorava 3 minutos. Isto inspirou a criação da metodologia “single-minute exchange of die”, *SMED*, na esperança que qualquer mudança de *setup* pudesse ser realizada em menos de 10 minutos (Shingo, 1983).

2.3.2. O método

Segundo Shingo (1983) o sistema de *SMED* consiste em 4 fases (de 0 a 3):

Fase 0 (preliminar): Operações internas e externas não estão distinguidas:

Genericamente no início da análise de mudanças de *setup* a distinção de operações internas e externas não existe. Consequentemente, as tarefas que poderiam ser realizadas como externas são realizadas como se fossem internas, aumentando o período que a máquina está parada. Para realizar a identificação das tarefas o autor propõem três métodos: (1) análise continuada da produção cronometrando-a, onde se acompanha a produção e a realização de *changeover* de forma constante; (2) realizar amostras de trabalho, onde se realiza uma observação intermitente da produção e processos de *changeover*; (3) realização de filmagem de todo o processo de troca de referência.

Fase 1: Separação dos processos internos dos externos:

Neste passo deve-se realizar a seguinte pergunta “É necessário parar a máquina para realizar esta atividade?”. A resposta a esta pergunta ajuda-nos a distinguir quais das tarefas são internas ou externas (Cakmakci, 2009). Se a resposta for afirmativa estamos perante uma atividade “interna”, caso contrário a atividade é externa.

Fase 2: Converter operações internas em externas:

O tempo total que a máquina deve estar parada deve ser minimizado. Para isso deve-se converter operações internas em externas. Esta conversão pode ser conseguida através, por exemplo, da preparação das condições operacionais, uniformização das operações e uso de *jigs* intermediários (Cakmakci, 2009). É razoável afirmar que o tipo de ações realizadas para passar de operações internas para externas são influenciadas pelo tipo de equipamento onde se deseja realizar o *setup*. Não obstante, existem ações que são transversais ao tipo de equipamento, ou pelo menos são aplicáveis a vários equipamentos.

São exemplo, pré-aquecimentos ou arrefecimentos, duplicação de partes do equipamento e transporte de peças.

Fase 3: Simplificar, otimizar e racionalizar todas as atividades.

Na fase 3 devem-se realizar um esforço concertado para agilizar cada tarefa, seja ela interna ou externa. Apesar de ocasionalmente se conseguir alcançar as mudanças de *setup* em menos de 10 minutos através da conversão de tarefas internas para externas, normalmente a realização deste passo não é suficiente, sendo necessário agilizar as operações de *setup*. A fase 2 e 3 não necessitam de ser realizadas sequencialmente, podendo ser executadas simultaneamente.

Agilizar operações internas: As peças e partes a serem substituídas durante o *setup* devem ser uniformizadas. Isto permite uma maior facilidade operacional, tanto na remoção como na montagem. A interação entre a ferramenta e a peça pode também ser simplificada, por exemplo, através da utilização de ferramentas de aperto que reduzam o número de revoluções necessárias.

A utilização de trabalho em paralelo nas atividades internas reduz o tempo necessário para realizar o *setup*. Além disso, podem ser aplicadas medidas para diminuir ou até mesmo eliminar o ajuste das configurações, isto pode ser alcançado através do uso de guias, batentes, escalas, entre outros.

Muitas vezes pode também ser utilizada uma *check table*, que consiste numa mesa onde estão desenhadas todas as formas das peças a serem usadas na operação. Esta ferramenta de controlo visual, permite aos operadores perceber rapidamente se falta alguma peça necessária.

Agilizar operações externas: Melhorias no armazenamento e transporte das peças e ferramentas necessárias para a realização de tarefas: procurar guardar os equipamentos junto das áreas onde são realizadas as intervenções; procurar eliminar as configurações, calibrações, ajustamentos e automatizar as operações.

Para além destes, um último passo que se revela importante é o de documentar os procedimentos de *setup*, isto é, todo o processo de identificação, planeamento, execução, controlo deve ser sintetizado num documento. Este procedimento leva a que as ações efetuadas numa melhoria de *setup* para um determinado equipamento, possam ser consultadas para posterior consideração aquando da análise de outro projeto semelhante.

Uma operação de troca de referência pode e deve ser mitigada em vários componentes constitutivos. Na Figura 2 está representada uma típica operação de *changeover*.

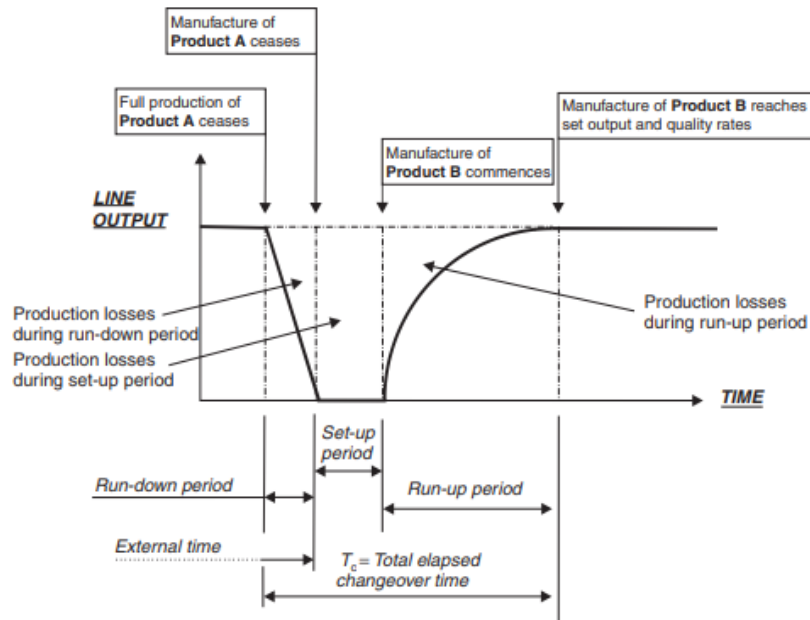


Figura 2. Típica operação de *changeover*, fonte: (McIntosh et al., 2001).

O período de *Run-down*:

Este período começa quando se pretende parar de produzir A e o output da linha começa a decrescer, e termina quando a máquina para de produzir. Este tempo pode existir ou não, dependendo da operação de *changeover*, pois a passagem de uma produção consistente para o momento em que a máquina para, pode ser instantâneo (McIntosh et al., 2001).

Período de *setup*: Intervalo no *changover* no qual não há manufatura de peças. É importante realizar a distinção entre as atividades que ocorrem no período de *setup* e as atividades de ajuste para produção (McIntosh et al., 2001).

O período de *Run-up*: Período que se inicia quando se pretende começar a produzir o produto B e continua até se obter uma produção constante na capacidade desejada e com a qualidade requerida (McIntosh et al., 2001).

2.3.3. FMEA na metodologia SMED

Durante o processo de *changeover* podem existir fenómenos que levam a que o tempo definido para realizar a troca de referência não seja cumprido. Um *changeover* mais longo do que o planeado pode causar vários problemas na produção. Para avaliar estes problemas pode-se realizar uma análise de risco. A metodologia FMEA é um técnica que permite definir, identificar e eliminar modos de falha conhecidos ou potenciais para sistemas, *designs*, processos e/ou serviços antes destes alcançarem o cliente (Schneider e Stamatis, 1996).

O primeiro passo do FMEA é o de identificar possíveis modos de falha, o que pode ser realizado através de *brainstorming*. Após determinar os modos de falha deve-se classificar de acordo com a frequência (F), gravidade (G) e probabilidade de deteção (D). Estando esta classificação realizada, obtém-se um índice de risco, através da equação (1) (Liu *et al.*, 2013):

$$IPR = F \times G \times D \quad (1)$$

2.1. 5S

A metodologia 5S é uma ferramenta *Lean* que permite melhorar a produtividade, reduzir o desperdício e otimizar os recursos disponíveis. Tipicamente é das ferramentas *Lean* que as empresas escolhem implementar primeiro, isto porque quando aplicada estabelece os pilares sobre os quais se torna mais fácil aplicar outras ferramentas *Lean* tais como *SMED*, *TPM*, *Poka Yoke* e *Kaizen*. Imai (2012) afirma que a falta de 5S no chão de fábrica deve ser considerada um indicador visual de ineficiência.

A metodologia 5S é resumida em 5 passos (Imai, 2012):

1. **Seiri:** Distinguir entre objetos necessários e não necessários removendo documentos e materiais não necessários.
2. **Seiton:** Organizar os objetos que não foram removidos no passo anterior. Todos os itens devem ter definido um lugar específico, possibilitando um acesso rápido e fácil.
3. **Seiso:** Limpar o espaço de trabalho, assim como todos os elementos nele contido, remover detritos e eliminar fontes de sujidade.

4. **Seiketsu:** Estandarizar os 3 passos anteriores, estabelecendo uma rotina de realização dos mesmos.
5. **Shitsuke:** Neste passo deve-se garantir a manutenção dos quatro passos anteriores, isto é realizado através de controlo e disciplina, de forma a garantir que não se volta ao estado inicial.

Esta metodologia tem como principais benefícios, a melhoria da produtividade, através da permanência dos objetos necessários no ambiente de trabalho, redução de custos, aumento da eficiência no uso de material, melhoria na qualidade de produtos e serviços e redução no número de acidentes no trabalho (Gomes *et all.*, 2013). O 5S permite então uma melhor interação entre o trabalhador e o trabalho, levando a uma melhor eficiência e eficácia no trabalho, criando um espaço de trabalho limpo, organizado e agradável que aumenta a motivação do trabalhador (Imai, 2012).

3. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é apresentada a caracterização do contexto produtivo em que a dissertação foi desenvolvida. Nesta descrição dá-se a conhecer a empresa e a linha de produção na qual foi realizado o projeto. A informação exposta neste capítulo permitirá contextualizar o projeto realizado.

3.1. A empresa

A empresa “BorgWarner Inc.” é uma multinacional norte-americana que foi fundada em 1928 com o nome “BorgWarner Corporation”. Dedicase essencialmente à produção de peças para automóveis ligeiros e pesados. A empresa tem uma linha de produtos que é direcionada para veículos de combustão interna, híbridos e elétricos, tendo presente a visão de um mundo com energia limpa e eficiente.

A “BorgWarner Inc” tem um vasto portefólio de clientes em todo o mundo, estando presente em 69 localizações espalhadas por 19 países, empregando aproximadamente 30.000 pessoas, Figura 3 .

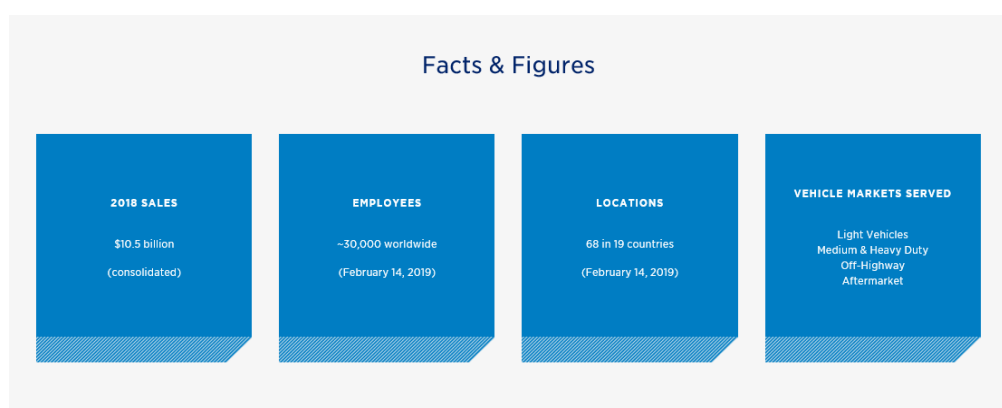


Figura 3. Dados gerais da empresa (Fonte: <https://www.borgwarner.com/company>, acessado em 18/02/2019).

A “BorgWarner Emissions Systems Portugal” está localizada no Parque Empresarial de Lanheses desde novembro de 2014. Foi um investimento numa localização

estratégica com o objetivo de reforçar a posição competitiva de produção de soluções de Recirculação de Gases de Escape, concebidas para reduzir emissões (Zambão, 2014).

3.2. A linha de produção

A linha de montagem onde se desenvolveu o projeto é uma linha cuja produção foi iniciada recentemente. Nesta são montadas válvulas para sistemas EGR, sendo a produção realizada em dois turnos de 8 horas havendo em cada turno por norma 9 operadores.

3.2.1. O produto

Na fábrica onde o projeto foi desenvolvido são produzidos vários artigos direcionados para sistemas EGR, no entanto este trabalho foca-se numa linha de produção de válvulas. No início do estágio eram produzidas 7 válvulas diferentes na linha, contudo foi iniciada a produção de uma oitava válvula durante o estágio. Neste trabalho são apenas consideradas as 7 válvulas que estavam em produção quando o estágio se iniciou, pois aquando da definição do problema foi este o número de válvulas existente. Estas válvulas são utilizadas frequentemente para sistemas EGR, onde são acopladas a um *cooler*, Figura 4. O objetivo do sistema EGR é reduzir as emissões de óxidos de azoto (NO_x). Neste sistema o *cooler* tem como função arrefecer os gases de escape provenientes da câmara de combustão. Após os gases de combustão serem arrefecidos no *cooler*, dirigem-se para a válvula. A

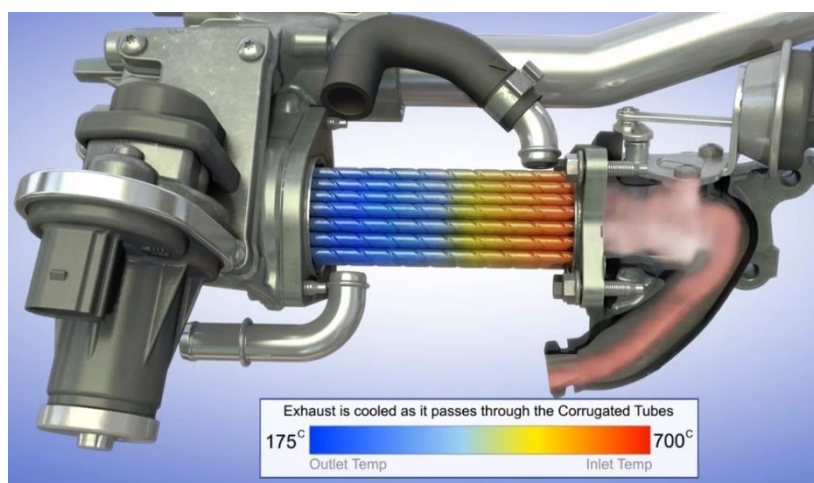


Figura 4. Sistema EGR (Fonte:

<https://www.borgwarner.com/technologies/exhaust-gas-management>,
acedido em 30/06/2019).

válvula tem a função de regular a passagem dos gases de escape que vêm do *cooler* de novo para a câmara de combustão.

As válvulas produzidas distinguem-se essencialmente pelo tipo de abertura, podendo considerar-se: válvulas lineares (Figura 5) e válvulas rotativas (Figura 6). A entrada ou saída de fluido na válvula linear varia com a movimentação do *stem*, quando este se encontra na posição fechada, a *poppet* impede a entrada de fluido, quando na posição aberta, o *stem* empurra a *poppet*, permitindo assim a entrada de fluido. Nas válvulas rotativas a regulação de passagem de fluido é realizada através de um sinal elétrico que leva à rotação da *plate*, permitindo ou não a passagem de fluido. Na Tabela 1 estão representadas as diferentes referências produzidas e a respetiva tipologia, na Figura 7 está representado o *forecast* para o ano 2019.

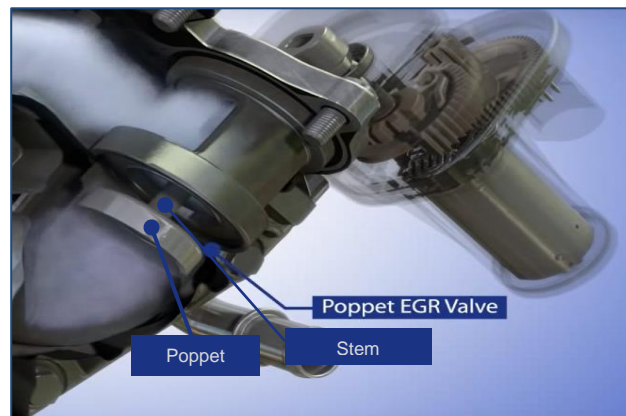


Figura 5. Válvulas *linear* (Fonte: <https://www.borgwarner.com/technologies/exhaust-gas-management> acedido em 30/06/2019).

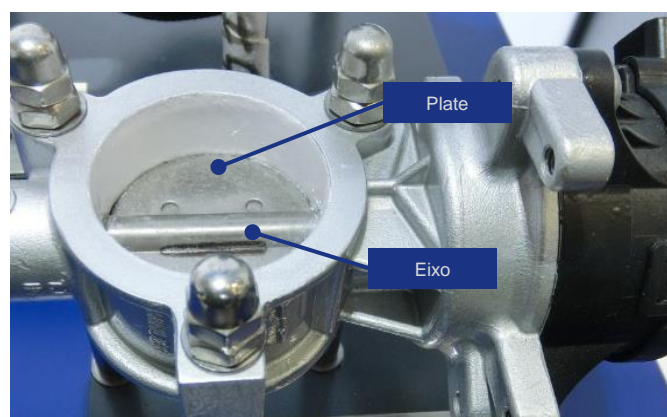


Figura 6. Exemplo válvula rotativa (Fonte: <https://www.invetr.com/powertrain/egr-throttle-valve> acedido em 06/06/2019).

Tabela 1. Diferentes válvulas e tipologia.

Referência	Tipo
R1	Rotativa
R2	
R3	
R4	Linear
R5	
R6	
R7	

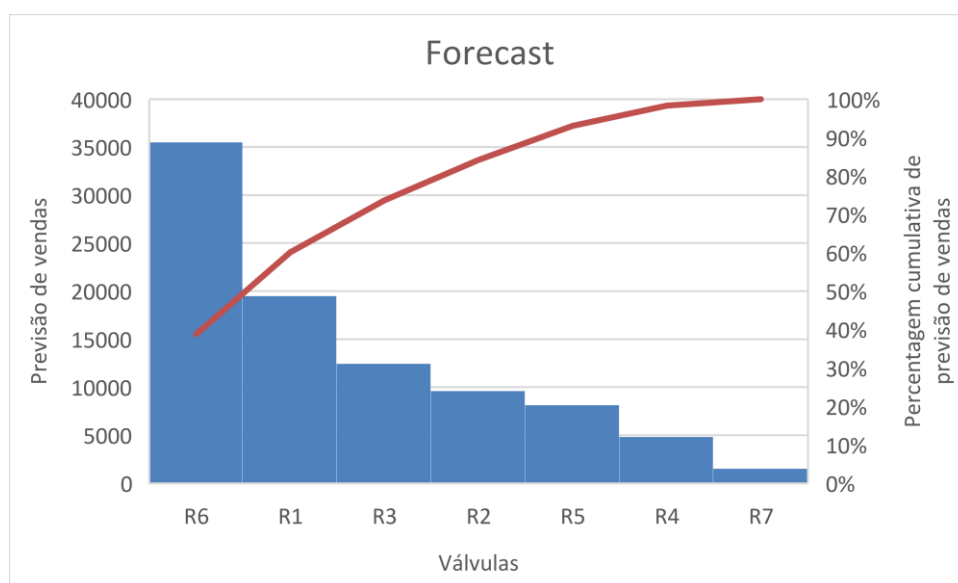


Figura 7. Forecast anual em fevereiro 2019.

3.2.2. As máquinas

Todos os produtos referidos na secção anterior são montados na mesma linha, constituída por 16 máquinas. Na Tabela 2 é possível identificar as diferentes operações que cada máquina realiza, e as referências que são processadas. A “Quantidade de ferramentas variáveis”, apresentada na tabela, refere-se à soma de todas as ferramentas que são montadas ou desmontadas em cada máquina. Por exemplo, para máquina M6, é necessário montar uma ferramenta para produzir R2, e outra para produzir R3, havendo, portanto, duas ferramentas variáveis. Por outro lado, M5 processa apenas R1, estando a ferramenta sempre na máquina (não sendo montada ou desmontada), logo a quantidade de ferramentas variáveis é 0. Para além disso, existem 2 tipos de fornecedores de máquinas (Tabela 3) esta distinção é relevante, pois tanto as ferramentas como o armazenamento da mesma variam com o fornecedor.

Tabela 2. Características das máquinas.

Máquina	Tipo de operação	Referências (R:)	Quantidade de ferramentas variáveis
M1	Marcação a laser	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	35
M2	Inserção de sensor	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	12
M3	Inserção de motor e rebitagem da <i>plate</i>	4,5,6,7	0
M4	Prensa de rolamento	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	25
M5	Aparafusamento da <i>plate</i>	1	0
M6	Soldadura da <i>plate</i>	2,3	2
M7	Prensa de pino e motor	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	8
M8	Prensagem de rolamento e rebitagem	4,5,6,7	3
M9	Inserção de íman	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	5
M10	Rebitagem de atuador	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	14
M11	Prensagem de casquilho e conformação	4,5,6,7	8
M12	Aparafusamento do atuador à válvula	4,5,6,7	4
M13	Soldadura a laser das válvulas lineares	4,5,6,7	8
M14	Prensagem de cavilha e rela	4,5,6,7	4
M15	Aparafusamento de tampa	6, 7	2
M16	Teste elétrico e de fuga	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	108
Total			238

Tabela 3. Fornecedores e máquinas.

Tipo de fornecedor	Máquinas
Fornecedor 1	1,2,4,5,6,7,9,10,16
Fornecedor 2	3,8,11,12,13,14,15

3.2.2.1. A máquina M16

A máquina M16 tem especial relevância no projeto apresentado, como se irá explicar adiante, por isso em seguida é realizada uma caracterização breve da máquina. Esta caracterização é apenas realizada para elementos da máquina que são considerados relevantes para o trabalho subsequente.

Para clarificar a nomenclatura utilizada posteriormente, definiram-se os seguintes termos:

Postos: Os postos dizem respeito a locais na máquina onde são realizadas operações.

Posições: As posições especificam em cada posto, onde se encontra o útil (ferramentas variáveis que são inseridas ou removida da máquina). As posições são omitidas quando se refere aos “pratos”, (úteis que suportam a válvula), e podem tomar a letra “C”, relativo a posição de cima do posto, ou a letra “B” relativa a posição de baixo num posto.

Localizações: Local inequivocamente caracterizado na máquina, onde é possível montar um útil para produzir uma determinada referência.

Na Tabela 4 estão todos os postos, posições e localizações da máquina M16, como também uma descrição da função de cada posto. A máquina M16 que tem o objetivo de realizar várias operações, que são essencialmente a realização de testes. No centro da máquina existe uma base giratória nela existem 8 localizações diferentes (1,4,7,10,13,16,18,20), em cada localização existe um “prato”. Uma das 8 localizações que existe na base giratória está sempre acessível pela zona da frente da máquina, onde são inseridas as válvulas pelo operador. A base giratória faz então rodar as posições por 7 postos de trabalho diferentes. Em todos os postos, exceto o P7 e no P6 existem 2 localizações. Considerando o conjunto de localizações da máquina M16, isto é, incluindo as localizações dos “pratos”, e as relativas aos postos, existem 20 onde é possível encaixar ferramentas.

Tabela 4. Descrição das localizações e operações de M16.

Postos	Posições	Localizações	Descrição
-	-	1,4,7,10,13,16,18,20	“Pratos”
P1	Baixo	2	Executam-se controlos sobre a válvula, sendo realizados testes elétricos que permite testar o comportamento da válvula na abertura e no fecho.
	Cima	3	
P2	Baixo	5	Posto de reserva, onde não são realizados controlos, mas que o podem ser no futuro.
	Cima	6	
P3	Baixo	8	Realização do teste de caudal, onde se usa um caudalímetro para medir o caudal e verificar se este vai de encontro aos parâmetros definidos.
	Cima	9	
P4	Baixo	11	Executa-se o teste de estanqueidade para as válvulas lineares, onde se testa e monitoriza, através de um fugómetro, se existem fugas de ar.
	Cima	12	
P5	Baixo	14	Executa-se o teste de estanqueidade para as válvulas rotativas, onde se testa e monitoriza, através de um fugómetro, se existem fugas de ar.
	Cima	15	
P6	Cima	17	Gravação final por micropercussão, onde uma ponta de metal duro toca com elevada frequência na válvula, marcando-a com um código.
P7	Cima	19	Garra que faz a descarga da válvula para uma cinta que leva a peça para a fora da máquina.

3.2.1. As ferramentas

As ferramentas utilizadas podem ser divididas em dois grupos:

Úteis: Ferramentas variáveis que são inseridas ou removidas das máquinas. A inserção e remoção dos úteis numa máquina varia conforme a referência que está a ser produzida na mesma. Existem dois tipos de úteis, uns relativos às máquinas do fornecedor 1 e outros relativos às máquinas do fornecedor 2. Estes úteis diferem essencialmente no formato e encaixe. Os úteis do fornecedor 1, têm formatos e encaixes bastante irregulares, sendo que estes variam com a máquina, referência e posição na máquina (representado na Figura 9). Os úteis do fornecedor 2, tem em comum a base retangular lisa na face de baixo e o encaixe nas máquinas é idêntico para todas as máquinas (representado na Figura 8).



Figura 9. Úteis fornecedor 1



Figura 8. Úteis fornecedor 2

Ferramentas de aperto: Ferramentas que são utilizadas para auxiliar a inserção ou remoção dos úteis nas máquinas, como chaves fixas ou chaves sextavadas.

3.2.2. Layout e descrição do processo

A disposição de todos os elementos pertencentes à linha na nave industrial é definida com um propósito, permitir executar a montagem dos diferentes tipos de válvulas de forma a que os fluxos de montagem sejam direcionados. Trata-se de um sistema de rotas do tipo *job shop* direcionado, em que as válvulas começam a ser montadas na máquina M1 e terminam a montagem na máquina M16.

Na Figura 10 está representado o fluxo da referência R6, tudo começa em M1 onde três componentes principais são marcados a laser em simultâneo, seguindo, posteriormente, caminhos de montagem diferentes. O primeiro segue para a máquina M11 (representado pelas setas vermelhas), onde é processado. Após vários componentes terem passado por esta máquina são levados por um operador para junto de M12, onde ficam a

aguardar processamento. Os outros dois componentes seguem trajetotos diferentes (à exceção

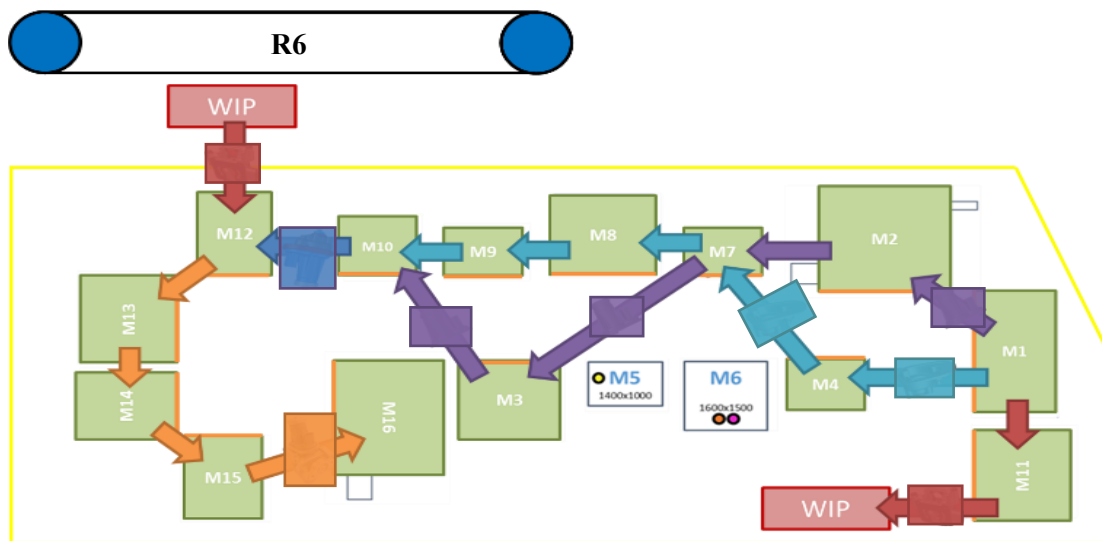


Figura 10. Fluxo da referência R6.

da passagem em M7, onde são processados em simultâneo), um (representado pelas setas azuis) segue pelas máquinas M4, M7, M8, M9, e o outro (representado pelas setas roxas) pelas máquinas M2, M7, M3. Quando ambos tiverem chegado a M10 são acoplados num só conjunto. Já acoplados, seguem para M12 onde são aparafusados a um dos componentes que saiu de M11 (representado pelas setas vermelhas). Após saírem de M12 atravessam as máquinas M13, M4, M15. Por fim a passa por M16, onde o produto fica completo.

Pode afirmar-se que o percurso das válvulas na linha de montagem é genericamente no sentido ascendente do número de máquina, salvo alguma exceção, como é exemplo, o caso da passagem de componentes da máquina M7 para a máquina M3. Além disso, cada referência percorre uma rota específica (Ilustrados no ANEXO A) ao longo da linha de montagem, podendo os tempos de processamentos em cada máquina serem diferentes.

O facto de as máquinas utilizadas e o tempo de processamento das mesmas variarem com a referência que se produz leva a que exista uma elevada complexidade de gestão de pessoas, abastecimento de componentes, planeamento de produção, e trocas de referência nas máquinas.

3.2.3. Rastreabilidade

A linha de produção tem um sistema de rastreabilidade que permite caracterizar o estado de cada peça, no que diz respeito à fase de percurso na linha. O processo funciona da seguinte forma, na primeira máquina do sistema, por onde, todas as referências passam, existe um processo de inserção de um código “*Quick Response*” (*QR Code*) nos componentes. A partir daí, à entrada de cada máquina existe uma câmara que lê o código e o envia para um computador existente na linha. A este código está associado, no computador central, um registo das operações que já foram realizadas na peça. Desta forma, lendo o código da peça é possível perceber que operações foram realizadas e as que faltam realizar.

Cada referência tem um percurso específico na linha produtiva, isto é, a passagem numa sequência de máquinas varia com o tipo de peça que se está a produzir. Como existem peças produzidas muito parecidas e alguns dos fluxos são idênticos, a implementação de um sistema de rastreabilidade permite assegurar que todas as operações devidas são realizadas.

4. METODOLOGIA

Para desenvolver este trabalho decidiu-se realizar uma sequência de passos de forma a abordar o projeto de redução de tempo de troca de referência. A metodologia é baseada na metodologia DMAIC.

Tabela 5. Metodologia utilizada.

Fase	Tarefa	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24	Semana 25	Semana 26	Semana 27
Definir	1- Observação do procedimento.	■	■	■	■	■																	
	2- Definição dos métodos de medição.		■																				
	3- Medição inicial para definir âmbito.			■	■	■	■																
	4- Definir o âmbito do projeto.				■	■	■	■	■	■	■												
Medir	5- Recolher dados para definir a situação inicial do âmbito escolhido.							■	■	■	■												
Analisar	6- Tratamento dos dados recolhidos.									■	■	■	■	■									
	7- Identificação de potenciais melhorias.									■	■	■	■	■									
Implementar	8- Implementar melhorias definidas.														■	■	■						
Controlar	9- Medir impacto das melhorias implementadas.															■	■	■					
	10- Aperfeiçoar melhorias.															■	■	■	■	■	■		
	11- Monitorizar.																		■	■	■	■	■

5. O PROJETO DE REDUÇÃO DE TEMPO DE TROCA DE REFERÊNCIA

5.1. Imersão na realidade produtiva

Os primeiros passos para a realização deste projeto foram dados na direção de conhecer as pessoas que trabalham na empresa. Foram definidas pela empresa um conjunto de reuniões onde foi dado a conhecer o contexto, cultura e realidade produtiva da empresa. Nos primeiros tempos, o foco foi no sentido de conhecer as pessoas que direta, ou indiretamente poderiam estar relacionados com o problema proposto, entre elas o responsável pela orientação do projeto, engenheiros de qualidade e processo, técnicos e operadores. Esta interação permitiu melhor caracterizar o problema proposto, sendo definido por fim o âmbito do projeto.

5.2. Âmbito do projeto

O âmbito geral do projeto foi definido pela empresa, sendo o objetivo reduzir o tempo de mudança de referência na linha de produção, isto porque, segundo a gestão, a linha de montagem estaria demasiado tempo parada devido ao *changeover*.

Após definir que o âmbito geral do projeto seria direcionado para as trocas de referência, rapidamente se percebeu que o campo de ação teria de ser restringido, isto porque, estavam a ser consideradas 16 máquinas, sendo que o *changeover* era realizado em 14 delas. Para além disso, no início do projeto estavam a ser produzidas 7 referências diferentes na linha, sendo que em cada máquina pode-se ter 42 combinações de trocas de referência, (Tabela 6). Isto significa que para 14 máquinas seria necessário analisar 588 potenciais trocas de referência diferentes. Apesar de não se poder afirmar que todas estas trocas seriam significativamente diferentes, e havendo até possibilidade de se poder agrupar as trocas com procedimentos parecidos, entendeu-se que pelo facto do projeto ter apenas 5 meses, ter-se-ia que restringir o âmbito do projeto, identificando e priorizando as tarefas.

Tabela 6. Combinações de trocas de referência.

De/Para	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1							
R2							
R3							
R4							
R5							
R6							
R7							

5.2.1. Medição dos tempos de *changeover*

Depois de definido o âmbito geral do problema, foi necessário perceber quais os problemas que após serem resolvidos criariam o maior impacto na melhoria do procedimento de *changeover*. Observou-se que a realização de *changeover* era mais demorada numa máquina do que noutras, no entanto, o registo do tempo de paragem das máquinas não era realizado. Para obter esta informação, foram elaboradas, para cada máquina, folhas para registo de tempos de *changeover*, que foram preenchidas pelos operadores aquando de cada *changeover*. Estas medições foram realizadas entre os dias 18 de fevereiro e 18 de março.

Como ilustrado na Figura 11, o operador teria que registar o instante de início e de fim da operação de *changeover*.

Registo de mudança de úteis				Data:		V1		Nº da Linha:				
				Hora:				Máquina:				
				Versão:				Elaborado por: Filipe Morgado				
Exemplo	Nº da mudança											
	Mudança 1				Mudança 2				Mudança 3			
	Hora	Min	Referência	Responsável	Hora	Min	Referência	Responsável	Hora	Min	Referência	Responsável
Início de mudança*	11	50	R2	Ána Costa								
Fim de mudança*	12	30	R5	Ána Costa								

Figura 11. Registo de mudança de úteis.

Os dados recolhidos através desse processo encontram-se resumidos na Figura 12, onde se destaca o facto de a mediana de tempos ser maior na máquina 16. Além disso, também a dispersão de dados é relativamente alta nesta máquina, podendo ir de 18 a 50 minutos.

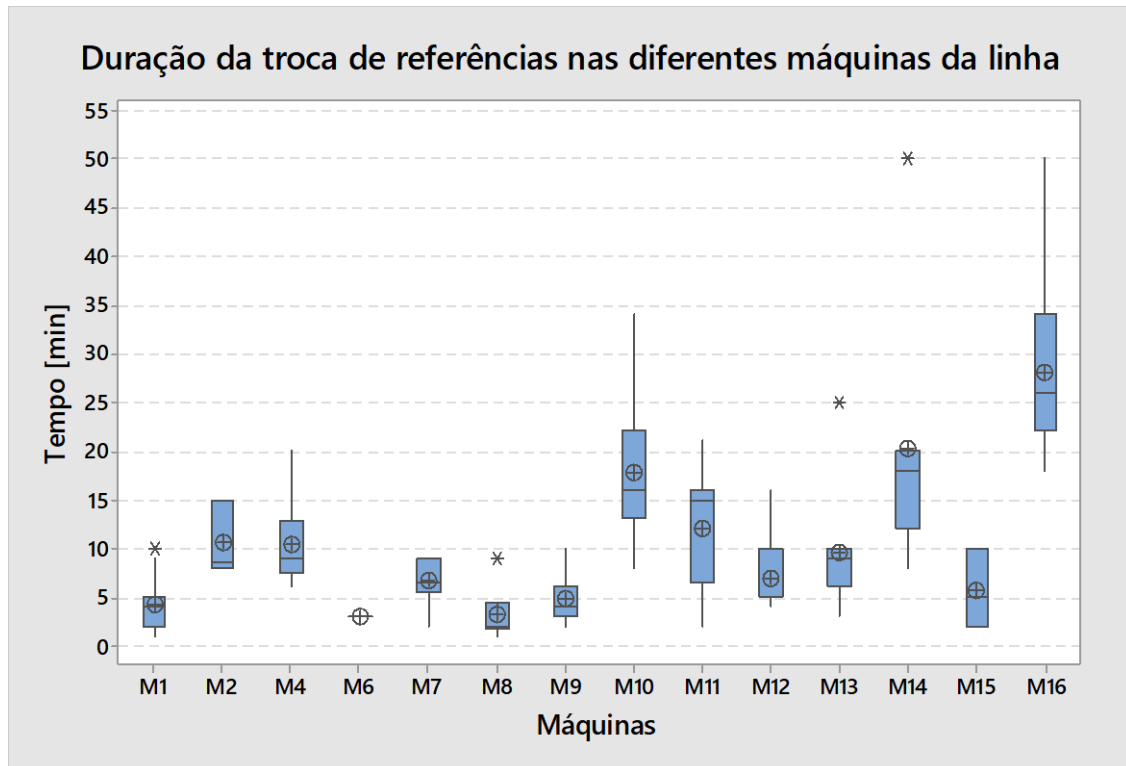


Figura 12. Duração da troca de referências nas diferentes máquinas da linha

5.2.2. Escolha do âmbito: Rastreabilidade, SMED e Arrumação

Na fase inicial do projeto procurou-se entender quais os principais problemas que se resolvidos, trariam grandes benefícios na redução do tempo de troca de referência.

Após algum tempo passado na linha, e já no período de medição de tempos de *changeover* das máquinas, percebeu-se a seguinte limitação: O próximo lote a ser produzido na linha não poderia ser produzido, sem que o último lote atravessasse a linha produtiva por completo, e todas as ferramentas das máquinas da linha fossem mudadas da referência anterior para a pretendida. Esta limitação devia-se ao sistema informático de rastreabilidade referido em “3.2.3 Rastreabilidade”, este sistema só permitia que fosse produzida uma referência de cada vez na linha de produção. Deste modo, verificou-se um grande potencial de melhoria. Decidiu-se estudar em “5.3. Rastreabilidade” a possibilidade de implementar um sistema de rastreabilidade que seccionasse a produção de cada referência por máquina e não por linha.

O segundo problema foi identificado ainda não haviam sido recolhidos os tempos de *changeover* de todas as máquinas. Percebeu-se de forma empírica, isto é, através da

observação das trocas de referência, que o início de produção de uma nova referência estava sempre dependente da finalização da troca de úteis na máquina M16. Por limitações de tempo do projeto de investigação, e sendo visivelmente notável a influência do *changeover* da máquina M16 na paragem de toda a linha, decidiu-se que teria que se agilizar o processo de troca de referência em M16, pois quanto mais rápido se trocasse os úteis da M16, mais rápido se poderia voltar a produzir. Utilizou-se a metodologia *SMED* para conseguir este objetivo.

O terceiro problema que claramente afetava a troca de referência de toda a linha era a organização das ferramentas, tanto a nível de localização como de arrumação. Os úteis encontravam-se distantes dos operadores, e não estavam organizados, o que levava a que o operador tivesse que percorrer grandes distâncias para obter os úteis que necessitava. Frequentemente, o operador não encontrava os úteis à primeira tentativa, tendo que procurar por várias localizações até os encontrar. Tudo isto acontecia durante as operações de *changeover*, com as máquinas paradas, o que conseqüentemente, aumentava o tempo que se demorava para trocar de referência. Em “5.5. Organização de ferramentas” está exposto o estudo deste problema e apresentadas propostas de melhoria.

5.3. Rastreabilidade

Como referido no subcapítulo “5.2.2” decidiu-se estudar o impacto que o sistema atual de rastreabilidade tinha na disponibilidade da linha. Para realizar esta análise tomou-se como exemplo a mudança de referência de R3 para R6. Este estudo foi despoletado pela percepção de que o *software* de rastreabilidade tinha uma limitação, neste exemplo esta pode ser descrita como: só se pode mudar o *software* de rastreabilidade de R3 para R6 (permitindo começar fabricar R6 em M1), quando o *changeover* é realizado em todas as máquinas da linha necessárias para produzir a referência R6, isto porque o *software* de rastreabilidade não permite compartimentar a produção à máquina.

5.3.1. Avaliação da situação inicial

Para caracterizar e avaliar o impacto que o sistema de rastreabilidade tinha nas operações de *changeover*, definiram-se um conjunto de variáveis. Estas variáveis estão compiladas na Tabela 7. Após estarem definidas as variáveis, utilizou-se o indicador TMP_1 para avaliar o impacto que o atual sistema de rastreabilidade tem na disponibilidade da linha. Como a linha não está balanceada, todas as máquinas exceto o estrangulamento têm folga, encontrando-se paradas, ou porque já processaram todas as peças do lote (máquinas a montante do estrangulamento), ou porque estão à espera de *input* por parte do estrangulamento (máquinas a jusante). Considere-se os tempos de ciclo médio de R3, Tabela 8, onde M4 é a máquina com o tempo de ciclo maior, sendo, portanto, o estrangulamento. A máquina M1, pelo contrário, é uma máquina que se encontra a montante do estrangulamento. Na produção de um lote, haverá um momento em que as peças já passaram todas por M1 e que, apesar de algumas já terem sido processadas por M4, muitas se encontram em fila de espera para serem processadas em M4. M1 encontra-se parada porque o sistema de rastreabilidade impede que trabalhe, no entanto, mesmo que não houvesse esse impedimento, a máquina não seria colocada a produzir a próxima referência porque o estrangulamento não está disponível para processar estas peças. Por outro lado, considerando M4, assim que a máquina para de trabalhar e é realizado o *changeover*, esta encontra-se parada por causa do sistema de rastreabilidade, sendo que este tempo de paragem tem efeitos na produção, não só da própria máquina, mas da linha como um todo. Faria então sentido avaliar o efeito do sistema de rastreabilidade na linha, avaliando o efeito do sistema no estrangulamento.

Tabela 7. Descrição de variáveis.

Variável	Descrição
ISU_i	Instante de saída da última peça, do lote que está a ser produzido, da máquina “i”.
ISP_i	Instante de saída da primeira peça, do lote que irá ser produzido, da máquina “i”.
TMP_i	Tempo médio que uma máquina “i” está parada devido a uma mudança de referência. Este tempo decorre entre ISP_i e ISU_i .
IIM_i	Instante de início de montagem, dá-se quando acontece a primeira instrução de trabalho na máquina “i”
IFM_i	Instante de fim de montagem, dá-se quando termina a última instrução de trabalho que é necessária realizar na máquina “i”.
TMA_{ij} ,	Tempo médio de atravessamento, isto é, o tempo que um determinado tipo de válvula “j”, em montagem, demora a atravessar uma máquina de índice “i”. Este tempo decorre entre IIM_i e IFM_i .
TMC_i	Tempo médio de <i>changeover</i> da máquina “i”.
TCM_i	Tempo de ciclo médio da máquina “i”.

Na Tabela 8 estão representados, para cada máquina, os tempos médios de *changeover*. Para além disso, estão também os tempos médios de atravessamento e os tempos de ciclo que foram recolhidos junto do responsável por essa informação na empresa. É importante perceber que os tempos de ciclo podem ser ou não iguais ao tempo de atravessamento. No caso em que o tempo de ciclo é igual ao tempo de atravessamento, a máquina tem apenas um posto, onde a válvula em montagem é processada, este é o caso das máquinas M6, M7, M8, M9, M12, M14, M15. No caso em que o tempo de ciclo é diferente do tempo de atravessamento, relativo às máquinas M1, M2, M3, M4, M5, M10, M11, M13, M16, a diferença é justificada pelo facto destas máquinas terem vários postos, havendo, portanto, capacidade de na mesma máquina estarem a ser processadas várias válvulas. Por exemplo, na máquina M16 existem 7 postos dos quais 6 tem um tempo de ciclo de 48 [s], o sétimo posto tem um tempo de ciclo de 10 [s], então o tempo de ciclo da máquina corresponde a 48 [s] – correspondendo ao maior tempo de ciclo do conjunto de postos. O tempo de atravessamento corresponde à soma dos tempos de ciclo dos vários postos, ou seja,

298 [s]. Na tabela é possível perceber que os estrangulamentos das referências R3 e R6, são respetivamente as máquinas M4 (tempo de ciclo de 95 [s]) e M14 (tempo de ciclo de 141 [s]).

Tabela 8. Tempos das máquinas, para análise de TMP_i.

Máquina	Tempo médio de <i>changeover</i> [s]	R3		R6	
		Tempo médio de atravessamento [s]	Tempo de ciclo médio[s]	Tempo médio de atravessamento[s]	Tempo ciclo médio[s]
M1	253	98	27	101	19
M2	630	169	32	225	47
M3	-	-	-	76	38
M4	626	158	95	66	35
M5	-	-	-	-	-
M6	180	64	64	-	-
M7	396	69	69	41	41
M8	190	-	-	38	38
M9	286	38	38	42	42
M10	1 072	49	49	56	56
M11	727	-	-	46	25
M12	415	-	-	88	88
M13	578	-	-	38	24
M14	1 217	-	-	141	141
M15	340	-	-	81	81
M16	1 680	298	48	292	47

Na Figura 13 está representada a típica linha do tempo relativo ao tempo médio de paragem da máquina M4 na troca de referência R3 para R6. O TMP₄ vai desde da última peça produzida da referência R3 na máquina M4, até ser produzida a primeira peça na mesma máquina da referência R6. A última peça da referência R3 sai da máquina M4 (onde se inicia a linha do tempo), a partir desse momento é realizado o *changeover* em M4. A decorrer em paralelo, a peça que saiu de M4 vai seguir para a próxima máquina do fluxo de montagem (M6), assim que a peça sai dessa máquina é iniciado o *changeover*. Este procedimento é realizado até que o *changeover* seja realizado na última máquina da rota de montagem de R3, a máquina M16. Em seguida é realizada a mudança de rastreabilidade da linha, momento ilustrado na figura no instante 2198 [s] e assinalado como “Mudança de rastreabilidade no *software*”. É esta mudança que permite passar a produzir a referência R6. A partir daí, a

primeira peça da referência R6 começa a realizar a rota de montagem, ANEXO A, passando por M1 e M4 até que saia a primeira peça em M4.

O tempo médio de paragem TMP_4 , relativo à situação inicial, SI, é representado pela equação (1).

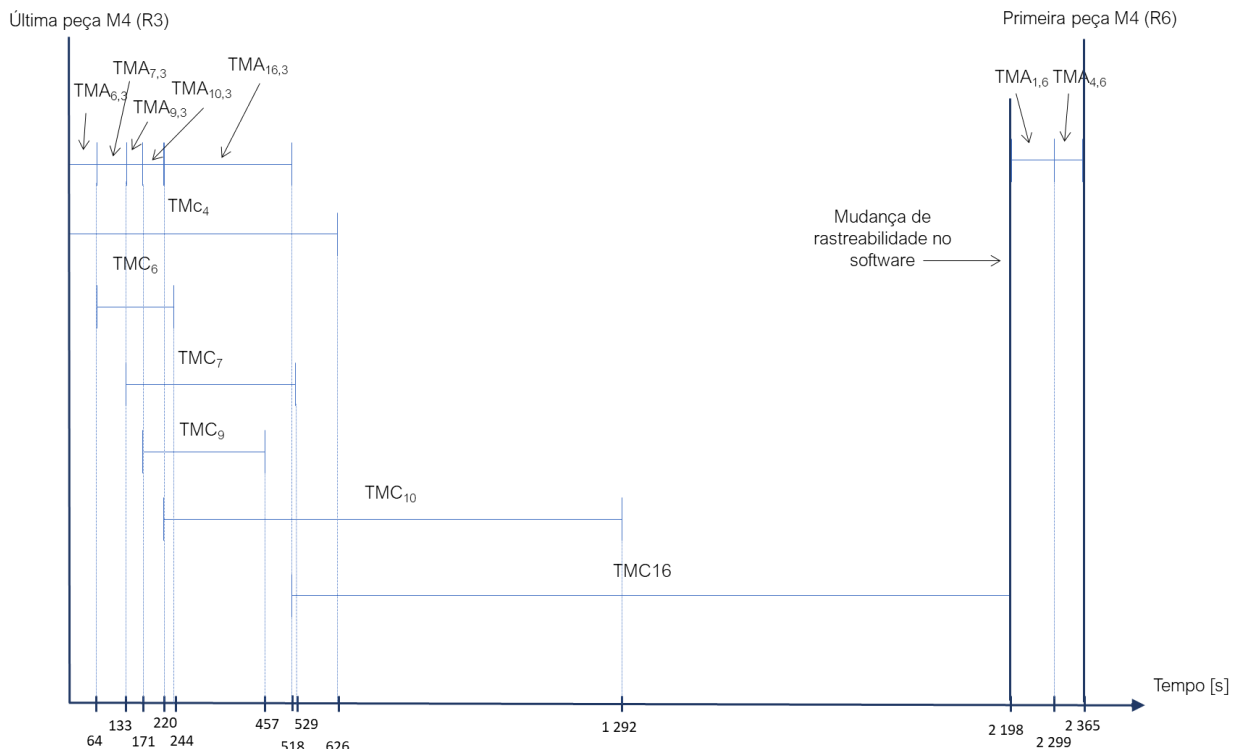


Figura 13. Linha do tempo troca de referência de R3 para R6, situação inicial.

$$TMP_4(SI) = TMA_{6,3} + TMA_{7,3} + TMA_{9,3} + TMA_{10,3} + TMA_{16,3} + TMC_{16,3} + TMA_{1,6} + TMA_{4,6} \quad (1)$$

5.3.2. Proposta de melhoria do sistema de rastreabilidade

Após definir a situação inicial no subcapítulo “5.3.1”, percebeu-se que existia um potencial de melhoria bastante grande. Colocou-se a questão: “Porque é que o TMP_4 depende de TMC_{16} ?”, se não fosse o caso poder-se-ia reduzir bastante o tempo médio de paragem. Para que a dependência referida não existisse teria que haver a possibilidade de operar R6 no estrangulamento, assim que o *changeover* terminasse.

A proposta de melhoria expõe-se da seguinte forma: “Mudar o sistema de rastreabilidade de forma a ser possível, numa máquina, após realizar o *changeover*, produzir de imediato a referência do lote seguinte”. Esta melhoria só seria possível se em vez do

sistema de rastreabilidade ser direcionado para a linha como um todo, fosse segmentado por cada máquina constituinte. Esta situação de sistema de rastreabilidade será referida como situação final, SF.

A linha do tempo do TMP_4 da SF está representada na Figura 14. Como é ilustrado, assim que a última peça da referência R3 é produzida em M4, o estrangulamento, a operação de *changeover* inicia-se até ao instante 626 [s], em seguida é produzida a primeira peça da referência R6 que atravessa a máquina M4, sendo que a primeira peça fica concluída no instante 692 [s]. Estes valores podem ser consultados na Tabela 8.

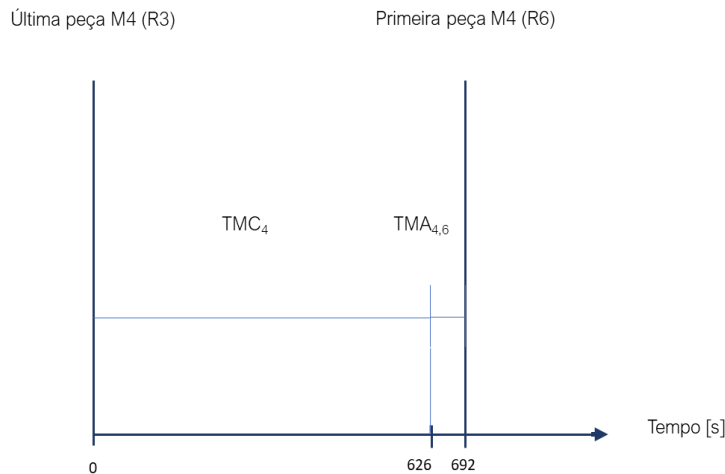


Figura 14. Linha do tempo troca de referência de R3 para R6, situação final.

O facto de se produzir em M4 imediatamente após o seu *changeover*, prende-se com o facto de o sistema de rastreabilidade o permitir, e também porque M1 tem uma cadência muito superior a M4, levando que o operador de M4 não tenha que esperar pelo *output* de M1. Através da equação (2) é possível quantificar o TMP_4 para a situação final de rastreamento.

$$TMP_4(SF) = TMC_{1,6} + TMA_{4,6} \quad (2)$$

Realizando a comparação da situação inicial com a situação proposta, tornou-se possível avaliar o potencial da medida proposta. Este potencial pode ser calculado em termos de tempo médio ganho (TMG) no estrangulamento, através da subtração dos tempos de TMP_4 da situação final aos da situação inicial, equação (3).

$$TMG = TMP_4(SI) - TMP_4(SF) \quad (3)$$

Utilizando o tempo de ciclo do estrangulamento, foi possível quantificar quantas válvulas a mais se iriam produzir caso no tempo de paragem se estivesse a produzir R3, equação (4). Os resultados desta melhoria são apresentados em “5.6 Apresentação e discussão de resultados”.

$$N^{\circ} \text{ válvulas} = \frac{TMG}{TCM_4} \quad (4)$$

5.4. SMED

Em “5.2.2. Escolha do âmbito: Rastreabilidade, *SMED* e Arrumação” foi decidido que máquina M16 seria o foco da aplicação da metodologia *SMED*, com o objetivo de reduzir o tempo de *changeover*. O objetivo traçado pela gestão foi o de reduzir o *changeover* para um valor inferior a 10 minutos.

5.4.1. Fase 0 – Operações internas e externas não estão distinguidas

5.4.1.1. Método de identificação das tarefas

É importante identificar todas as tarefas realizadas no *changeover*. Mas como realizar essa identificação? É possível realiza-la utilizando várias estratégias. Uma delas passa pela observação direta das tarefas, registando cada tarefa executada. No entanto, este tipo de abordagem tem algumas limitações, tais como, o facto de ser difícil apontar e visualizar as tarefas à medida que se vão desenrolando. Isto poderia levar a que algumas operações não ficassem registadas. Outra dificuldade seria registar as tarefas e sua duração em simultâneo. Para ultrapassar esta limitação, ter-se-ia que realizar muitas observações de trocas de referência até se recolher todos os dados necessários. Como existem muitas tarefas realizadas por cada *changeover*, esta abordagem não se revelou adequada.

A outra opção considerada foi filmar as trocas de referência. Apesar de haver a possibilidade de existirem tarefas que não fossem registadas numa só filmagem, como é o caso de tarefas que ocorrem em simultâneo, a filmagem das operações de troca de referência, permite registar a maioria das tarefas realizadas e, ao mesmo tempo, a sua duração. Além do mais, a grande vantagem deste método é o facto de permitir rever em offline (computador/câmara) as operações, possibilitando posteriormente identificar as tarefas realizadas, o tempo que cada tarefa demora, e ainda classificar cada tarefa. Assim, pelo referido, decidiu-se que a identificação das tarefas seria realizada com o auxílio da filmagem da troca de referência.

5.4.1.2. Classificação dos úteis e das localizações utilizadas

Após a definição do método de identificação, existia ainda uma dificuldade acrescida que tornou a identificação das tarefas mais complexa. Esta dificuldade prende-se

com o facto das tarefas realizadas no *changeover* serem diferentes conforme a combinação de troca de referência. Esta diferença resulta das seguintes características:

Característica 1 (CR1): Existem localizações na máquina em que a utilização de um útil é requerida, ou não, para o processo produtivo. Esta utilização é dependente do tipo de referência produzida.

Característica 2 (CR 2): Existem referências que partilham o mesmo útil para uma, ou mais, localizações na máquina.

Característica 3 (CR3): Numa dada combinação de troca de referência, para cada localização pode acontecer que o útil, da referência que se vai deixar de produzir, seja ou não seja removido; e que, em seguida seja ou não inserido, o útil da referência para qual se pretende mudar.

A importância de identificar, tanto as localizações, como o tipo de operações realizadas para cada combinação de trocas de referência, reside no facto de serem estas características que distinguem as diferentes combinações de trocas de referência. Ao longo da identificação das diferentes combinações, percebeu-se que todas as restantes tarefas eram muito semelhantes para diferentes combinações. Por exemplo, comparando a troca de R1 para R2, e de R3 para R4, tanto as tarefas de transporte de úteis, como as de abertura/fecho das portas da máquina, como a remoção/inserção de úteis de uma determinada posição são semelhantes nas duas trocas. O que realmente distingue as tarefas destas trocas de referência são as localizações que devem ser trocadas e o tipo de operação que deve ser realizada (ex. remover o útil existente e inserir outro). Todas as outras tarefas mantêm-se, independentemente da combinação de troca de referência.

Para descobrir quantas combinações diferentes existem, foi necessário inventariar cada útil pertencente a M16, sendo que esta informação ainda não tinha sido recolhida. Neste levantamento foi necessário recolher: a referência a que o útil pertence, a quantidade de úteis iguais, o posto, a posição e a identificação do útil (com uma fotografia associada). Este levantamento foi realizado para um total de 108 úteis, tendo sido criado um ficheiro “Excel”, que foi a base para a compreensão das ferramentas utilizadas em cada combinação de troca de referência.

Na Figura 15 é possível visualizar as opções que foram definidas para cada localização e evidenciadas em CR3. A opção 1 (Op.1) verifica-se quando um útil tem que ser removido da localização, e tem que ser inserido outro útil da referência que se irá produzir; a opção 2 (Op.2) quando um útil tem que ser retirado da localização, mas não é necessário inserir outro – verifica-se quando a localização em causa não será utilizada para a referência que se pretende produzir; a opção 3 (Op.3) verifica-se quando um útil não tem que ser removido mas deverá ser inserido um útil, esta opção, à primeira vista, pode-se revelar absurda, sendo que levanta a questão “Se em cada localização só há lugar para que um útil seja utilizado de cada vez, como é possível inserir um útil sem remover o que lá existe?”, no entanto pode acontecer que o útil não é removido, porque a localização se encontra sem útil; a opção 4 (Op.4) sucede quando não se tem que alterar nada naquela localização, isto é, se houver nela um útil não é necessário remove-lo, nem inseri-lo, se não houver, também não é necessário inserir um útil.

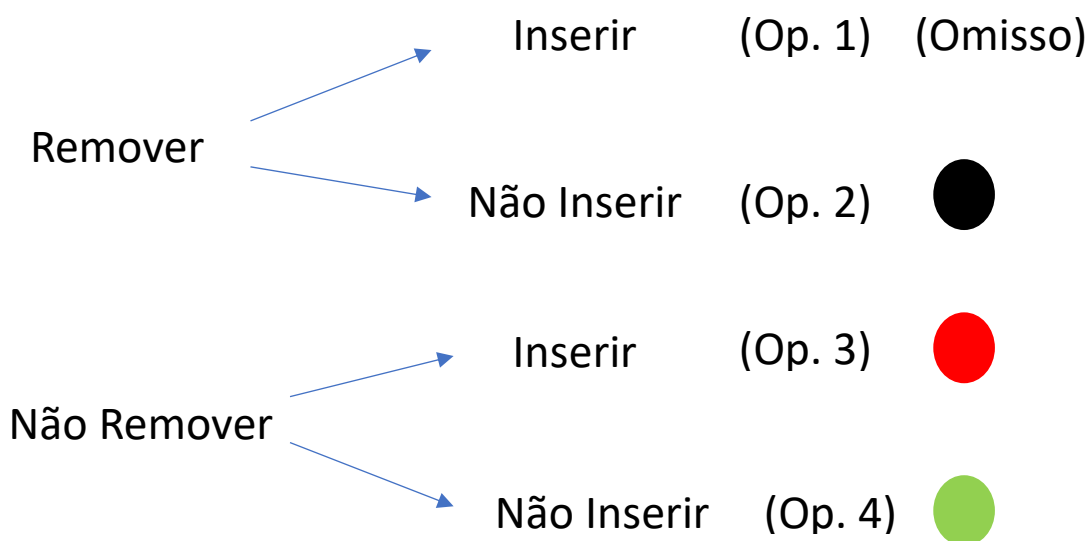


Figura 15. Classificação do tipo de operações.

Decidiu-se representar as combinações de trocas de referência na Tabela 9. No alinhamento de “De” estão as possibilidades de referências que estão montadas na máquina e das quais se pretende realizar a troca. No alinhamento de “Para” estão as possibilidades de referências para as quais se pretende realizar a troca. Após se selecionar a referência da qual se pretende deixar de produzir, e a referência para a qual se quer mudar, encontra-se um “código” que retrata a localização (através do número) e o tipo de operação (através da cor). Os postos omissos correspondem aos do tipo Op.1, isto porque após classificar cada

combinação de trocas de referência percebeu-se que na maioria das posições, o processo que ocorria era o de remover o útil existente e inserir outro.

Por exemplo, se se pretender realizar a troca de R7 para R4 sabe-se, analisando o elemento da matriz que corresponde ao cruzamento da linha (R7) e da coluna (R4), o seguinte: (i) todas as localizações que não estão representados no elemento da matriz são localizações nas quais as operações são as do tipo Op.1 (Localizações:1,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19); (ii) Na localização 2 não se deve remover ou inserir um útil, (Op.4); (iii) O útil da localização 11 deve ser removido, mas não deve ser inserido nenhum útil.

Assim a matriz da Tabela 9 representa, para cada combinação de trocas, as tarefas que tornam a combinações distintas ou parecidas umas com as outras.

Tabela 9. Matriz combinação, localização e operação.

Para: De:	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1		8,11,12	8,11,12,14	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15
R2	8,11,12		8,11,12	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15
R3	8,11,12,14	8,11,12		8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15
R4	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15		11,14,15	2,11,14,15	2, 11
R5	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	11,14,15		11,14,15	11,14,15
R6	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	2,11,14,15	11,14,15		2,11,14,15
R7	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	8,11,12, 14,15	2, 11	11,14,15	2,11,14,15	

Por limitação de tempo do projeto seria inconcebível analisar todas a combinações de trocas de referência. Estando definido que os úteis entram e saem da máquina em cada troca de referência, percebeu-se que existiam combinações de trocas de

referência que eram bastante distintas umas das outras. Ter-se-ia então que aumentar o foco da análise, escolhendo um número de combinações de trocas de referência que fosse possível analisar em tempo útil. Com a análise da matriz identificaram-se as seguintes características:

Característica 4 (CR4): Existem combinações de trocas de referência semelhantes e distintas entre elas.

Característica 5 (CR5): A matriz é espelhada na diagonal, no que diz respeito as localizações. Por exemplo, as localizações de trocar de R1 para R2 são as mesmas de trocar de R2 para R1.

Analisando (CR4) se existem combinações de trocas de referência diferentes, para a mesma máquina, então os tempos que as tarefas demoram são também diferentes. Esta diferença deve-se não ao facto de existir variabilidade na execução das tarefas pelos operadores, mas sim porque as tarefas a realizar são fundamentalmente diferentes. Para não se correr o risco de estar a tratar de forma igual trocas bastantes diferentes, decidiu-se agrupar as combinações de trocas de referência que se revelassem semelhantes. Esta criação de grupos vai atingir dois objetivos: reduzir o âmbito da análise e ao mesmo tempo permitir a comparação de *changeovers* que são fundamentalmente iguais, no que as tarefas diz respeito.

Para a criação dos grupos considerou-se que as tarefas de inserção e remoção relativas à mesma localização demoram aproximadamente o mesmo tempo. Isto foi verificado através da observação das tarefas. Como existe esta similaridade nos tempos, a troca de uma referência para outra, ou o inverso, é, para efeitos da constituição dos grupos, igual. Constituíram-se 4 grupos (Tabela 10) de acordo com a parecença nas operações, isto é, em cada grupo as tarefas realizadas são fundamentalmente semelhantes.

Tabela 10. Grupos de trocas de referência.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
R5&R4	R5&R3	R4&R7	R3&R2
R5&R6	R5&R2		R2&R1
R5&R7	R5&R1		R3&R1
R4&R6	R4&R3		
R7&R6	R4&R2		
	R4&R1		
	R3&R7		
	R3&R6		
	R7&R2		
	R7&R1		
	R2&R3		
	R6&R1		

Na Figura 16 é possível observar, para cada grupo, *boxplots* que representam a duração das trocas de referência realizadas em M16. Decidiu-se analisar o “Grupo 2” pois é aquele que envolve um grande número de combinações trocas, sendo, portanto, um grupo de trocas que acontece frequentemente, permitindo que eventuais melhorias contemplem a maioria das trocas de referência que acontecem na linha. Além disso, o grupo escolhido envolve vários tipos de operações na maioria das localizações, isto é, tem complexidade operacional alta relativamente a outros grupos. Isto leva a que melhorias de eficiência nas tarefas no “Grupo 2” sejam transversais a grande parte das combinações de trocas de referência.

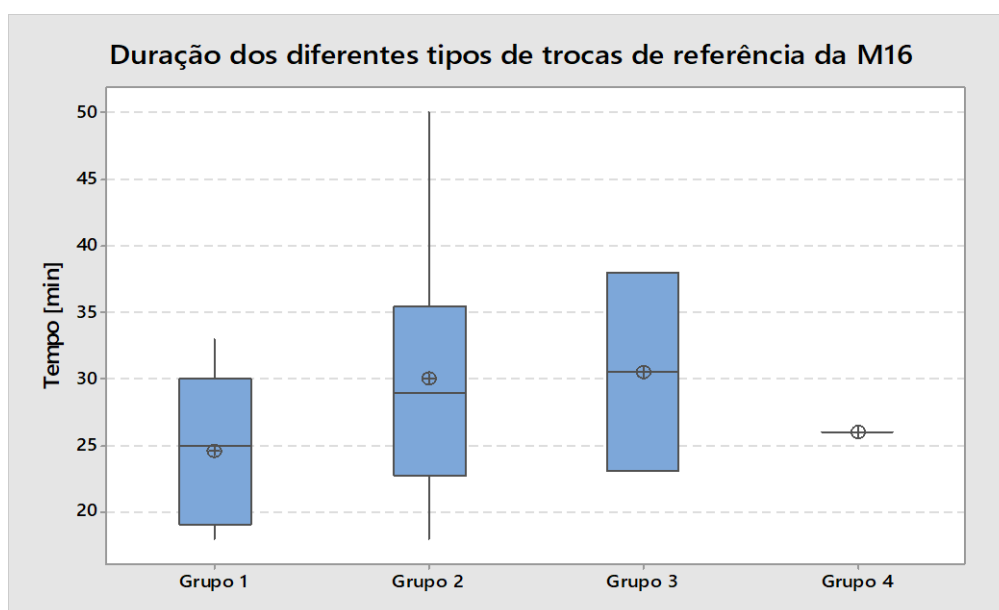


Figura 16. Duração dos diferentes tipos de trocas de referência M16.

5.4.2. Fase 1 – Separação dos processos internos dos externos

Resolveu-se analisar as tarefas relativas à troca de referência de R2 para R6 (Grupo 2, Figura 16). Foi realizado um conjunto de filmagens que permitiram identificar as tarefas, efetuar a distinção entre as tarefas internas e externas e quantificar a sua duração (Figura 17). É importante referir que todas as tarefas realizadas no *changeover* da máquina M16 eram executadas com a máquina parada. Mesmo as operações de transporte dos úteis para a máquina no início da troca, como fim eram realizados depois da máquina parar.

Nº	Descrição da tarefa	Interna	Externa	Distância (m)	Duração	
					min	seg
1	Stop máquina		x		0	4
2	Deslocação para as estantes	x		27	0	40
3	Picking das ferramentas e caixas vazias	x			1	37
4	Transporte para a M16	x		27	0	40
5	Abrir portas (Software)	x			0	7
6	Deslocação para abrir portas (Manual)	x		4	0	11
7	Procurar caixa de ferramentas	x		10,3	0	32
8	Retirar chave Allen da caixa	x			0	23
9	Dirigir-se a máquina	x		10,3	0	8
10	Retirar ficha de baixo Posto 1	x			0	5
11	Apertar porca com Allen nº, P1, por baixo do	x			0	21
12	Retirar útil da máquina	x			0	9
13	Pousar útil na parte superior do carro	x			0	8
14	Caixas de baixo do carro e coloca-las em cima	x			0	14
15	Colocar util na caixa vazia	x			0	5
16	Colocar esponja nos pinos	x			0	10
17	Deslocação para a máquina	x			0	7
18	Retirar ficha harting de cima P1	x			0	5
19	Retirar útil da parte da frente P1	x			0	13
20	Colocar útil no carro	x			0	8
21	Procurar esponja	x			0	5

Figura 17. Excerto da listagem, classificação e quantificação das tarefas realizadas de R2 para R6.

5.4.3. Fase 2 – Conversão das operações internas em externas

Após identificar e diferenciar as tarefas internas das externas, o próximo passo foi converter as tarefas internas em externas. Sendo a maioria das tarefas internas, tentou-se ao máximo analisar cada tarefa para perceber se haveria possibilidade de a tornar em externa.

5.4.3.1. Transporte das ferramentas para junto da máquina

Recomendou-se que as tarefas de transporte das ferramentas para junto da máquina e o seu retorno às estantes, fossem realizadas antes de a máquina parar. Isto com o objetivo de os úteis estarem junto da máquina no momento em que fossem necessários, nem antes, (para não ocupar espaço desnecessário na linha) nem depois (para não se correr o risco

de ser uma operação interna). O responsável por esta operação seria o próprio operador da M16, pois devido ao facto de a linha não estar balanceada, o operador tem disponibilidade para realizar esta operação de transporte. Esta opção foi aceite pela empresa.

5.4.3.2. Colocação de “pratos”

Outra possibilidade identificada de converter operações internas em externas foi passar tanto a colocação como a remoção de “pratos” (tipo de úteis que serve de suporte às válvulas) para as operações de *Run-down* e *Run-up*.

Na máquina M16 as operações de *Run-down* e *Run-up* devem-se ao facto de na máquina (em produção contínua) estarem presentes 8 válvulas (correspondentes ao número de pratos). Quando a produção de uma determinada referência está para terminar, e as válvulas deixam ser inseridas nos “pratos” da máquina, as válvulas que ainda se encontram dentro máquina, ainda têm que ser processadas, esta fase é denominada de *Run-down*. A fase de *Run-up* sucede quando se inicia a produção de uma referência, e começam a ser inseridas válvulas na máquina, até que as 8 localizações para os pratos contenham válvulas.

Resolveu-se realizar as operações de inserção e remoção dos “pratos” respetivamente na fase de *Run-up*, e *Run-down*. Isto é na inserção/remoção de uma válvula também é inserido/removido o “prato”. Isto permite retirar os “pratos” da máquina enquanto a máquina está a produzir as últimas peças do lote, e inserir os “pratos” quando se começam a produzir as primeiras peças. Desta forma todo o tempo de inserção e remoção dos pratos é realizado com a máquina em funcionamento. Esta proposta foi aceite pela empresa.

5.4.1. Fase 3 - Simplificação, otimização e racionalização de todas as atividades

Apesar de se ter conseguido apresentar algumas propostas de conversão de tarefas internas para externas, ter-se-ia que otimizar a execução tarefas que são realizadas nas trocas de referência de forma a atingir o objetivo definido. Começou-se por analisar as tarefas internas pois são estas que levam a que a máquina esteja parada. Em seguida estudaram-se as operações externas, pois apesar de estas não levarem a que a máquina esteja parada, implicam que o operador esteja ocupado a realiza-las.

5.4.1.1. Atividades internas

Mesmo após a conversão das tarefas internas em externas, a maioria das atividades realizadas na operação de *changeover* são internas. Pode dizer-se, portanto que é nestas tarefas que reside o maior potencial de melhoria. Foram apresentadas as seguintes propostas de melhoria.

5.4.1.1.1. Criação de um procedimento

Na situação em que a linha se encontrava não existia qualquer tipo de procedimento para as trocas de referência, cada operador tinha “a sua forma” de realizar as trocas de referência. A este facto adiciona-se a condicionante de grande parte dos operadores serem recentes, ou seja, não possuem grande experiência na linha de produção. Esta conjuntura levou a que as trocas de referência fossem realizadas de formas bastante diferentes. Esta situação é indicada pela elevada variabilidade dos tempos de troca de referência (como pode ser revisto na Figura 16).

Decidiu-se então propor a realização de um procedimento de troca de referência para a máquina M16. Este procedimento tinha como objetivo não só reduzir a variabilidade dos tempos, mas também encontrar uma sequência de tarefas que minimiza o tempo gasto no *changeover*.

Mas como realizar um procedimento para uma máquina que têm um número elevado de combinações de trocas de referência diferentes? Realizar um procedimento para cada combinação não é uma solução viável ou prática do ponto de vista da utilização. Além disso, seria uma tarefa muito complicada formar os operadores a realizar um elevado número de procedimentos diferentes.

A proposta de estrutura do procedimento passou pela realização de uma folha, onde fosse possível compactar todas as combinações de trocas de referência. Isto tornou-se possível porque estas combinações diferem essencialmente nas localizações utilizadas na máquina M16 e no tipo de operações realizadas em cada posto. Mas já foi definido no subcapítulo “5.4.1”, Tabela 9, uma matriz que resume precisamente o que difere entre combinações de trocas de referência. Criou-se então um procedimento onde, na página frontal, estão todos passos a executar para realizar a troca de referência. Alguns destes passos são pontos de decisão que são relativos às localizações em que o tipo de operação varia com o tipo de combinação. Nestes pontos de decisão realiza-se uma pergunta do tipo “Remover útil de 4B?”, para responder a esta questão basta consultar a matriz que se encontra do verso

da folha, na qual, para cada combinação de trocas de referência, é possível saber, para cada localização, o tipo de operação realizada (através de um código de cores). A interpretação da matriz é igual à explanada no capítulo “5.4.1” relativamente a Tabela 9, diferindo na medida em que a matriz do procedimento foi adaptada à nomenclatura utilizada pelos operadores, especificamente, em vez de se utilizar os números de localização definidos em Tabela 4, utilizou-se o posto e a posição para caracterizar a localização, por exemplo, a localização 11 é definida pela nomenclatura “4B”. Este procedimento pode ser consultado no ANEXO B.

Para perceber qual seria a sequência que minimiza o tempo de *changeover* analisaram-se as tarefas realizadas, com o objetivo de eliminar desperdícios de movimentação e transporte, e quando isso não fosse possível, pelo menos minimiza-los. Analisaram-se também as melhores práticas dos operadores na realização das operações, e utilizou-se a sua experiência para elaborar este procedimento. O procedimento foi adotado pela empresa.

5.4.1.1.2. Criação de carrinhos de trocas de referência

Os úteis do fornecedor 1 estavam armazenados em caixas, onde ficavam sobrepostos, não permitindo uma fácil identificação visual dos mesmos. Na montagem, já com a máquina parada o operador tinha dificuldade em identificar o útil que necessitava para inserir numa determinada localização, tendo que remexer os úteis na caixa para identificar aquele que pretendia, e eventualmente, remover úteis da caixa que não precisava no momento, para conseguir adquirir aquele que necessitava. Na remoção dos úteis da máquina o operador tinha dificuldade em dispor os úteis na caixa de modo a que eles coubessem todos na mesma. Todas estas dificuldades levam a que a máquina esteja parada para *changeover* mais tempo do que era necessário. Outra desvantagem deste método de arrumação é que caso falte um útil na caixa (por eventual erro do operador), a falta desse útil só vai ser notada no processo de *changeover*, levando a que o operador perca tempo à procura do útil, enquanto a máquina está parada.

Para melhorar a situação, consideraram-se duas opções. A primeira seria a de criar tabuleiros para cada conjunto de úteis de uma referência de válvulas. Nesses tabuleiros estariam recortadas as formas de cada útil de uma determinada referência. Estes recortes estariam devidamente identificados de forma a que se soubesse que útil era o que deveria estar no recorte. A utilização de recortes permitia que apenas o útil pertencente à posição

coubesse na posição, levando a que fosse possível notar se os úteis de uma referência estavam no tabuleiro antes de realizar a operação de *changeover*, impedindo assim o esquecimento de algum útil durante a troca de referência.

Os tabuleiros estariam armazenados numa estante com duas prateleiras (não podendo ser mais por questões de ergonomia impostas pela empresa). Previamente à operação de *changeover*, seria realizada a recolha dos tabuleiros correspondente à referência que se iria remover e inserir na máquina. Esta operação seria realizada através de um carrinho elevatório ajustável às várias alturas das estantes. Após recolher os tabuleiros estes seriam transportados no carro até à máquina. Esta opção, apesar de resolver o problema da sobreposição dos úteis na caixa, e de dificultar o esquecimento de úteis para a realização de *changeover*, levaria à necessidade de remover os tabuleiros da estante. Deste modo, esta operação apesar de ser possivelmente realizada como operação externa, ocuparia sempre tempo extra ao operador.

No sentido de tentar contornar o tempo gasto pelo operador na remoção dos tabuleiros da estante elaborou-se outra opção. A segunda opção consiste numa *check tabel* móvel (com um formato de armazenamento idêntico ao do tabuleiro) que se denominou de carrinho. Com este carrinho o tempo de recolher os tabuleiros deixaria de existir, sendo que o operador teria que apenas levar o carrinho para a máquina. Esta solução apesar de ser mais económica no que diz respeito ao tempo perdido, ocuparia mais espaço no chão de fábrica, porque os tabuleiros em vez de estarem armazenados em 2 níveis (estante) estariam em apenas 1 nível (entenda-se a superfície do carrinho). Para contornar esta dificuldade concebeu-se um tipo de carros que se poderiam encaixar dois a dois, ocupando o mesmo espaço da estante. Este modelo está no ANEXO C, assim como o conjunto de requisitos que foram criados para garantir que a produção do carrinho ia de encontro aos *standards* da fábrica.

Foi aceite pela empresa criar dois protótipos de carros para M16, e caso se mostrasse funcional nas trocas de referência, os restantes carros seriam contruídos.



Figura 18. Fotografia do carrinho concebido para R2.

5.4.1.1.3. Remoção da utilização de esponjas de proteção de ficha harting

Na máquina M16 grande parte dos úteis são como os representados na Figura 9. Estes úteis têm uma ficha *harting* que tem uns “pinos” sensíveis e que se deformados levam a problemas no encaixe. Para proteger estes “pinos” eram utilizadas umas esponjas improvisadas que eram colocadas nos “pinos” na remoção dos úteis da máquina, e removidas antes de inserir nos úteis na máquina. Esta colocação/remoção de esponjas era realizada como operação interna, e era uma operação algo improvisada pois as esponjas teriam que ser recortadas ou reaproveitadas e inseridas nos “pinos”. Esta operação tinha uma variabilidade de execução elevada, e apesar de não demorar muito tempo, era realizada para a maioria dos úteis utilizada na máquina, tendo um impacto significativo. Decidiu-se então comprar uns encaixes que seriam incorporados nos carrinhos de troca de referência e que permitiam encaixar as fichas dos úteis no local pretendido, uniformizando a operação de proteção das fichas e reduzido variabilidade.

5.4.1.1.4. Identificação dos úteis e das localizações na máquina

Na máquina M16 foram identificados todos os postos assim como todas as localizações, a exemplificação da identificação pode ser observada na Figura 19. A maioria dos úteis já estavam identificados com etiquetas, no entanto nem todos estavam. Foi



Figura 19. Identificação do posto 6 na M16.

realizada a identificação dos restantes úteis com a referência para que são utilizados (por escrito, e por cor), e a localização onde devem ser encaixados. Estas medidas permitem ao operador identificar que útil necessita e qual a posição que lhe corresponde.

5.4.1.1.5. Criação de um degrau e apoio para inserção de útil na máquina

Na máquina existe um posto de difícil acesso (localização 11 e 12), onde a forma como o útil era nele inserido não ia de acordo as normas de segurança da fábrica. Para facilitar o acesso do operador ao posto de forma a encaixar o útil mais facilmente, determinou-se investir num degrau com guarda copo e implementar um apoio dentro da máquina que permitisse ao operador se apoiar aquando da inserção. Esta medida, além de tornar a operação mais rápida, permite também que esta seja realizada em segurança. Apesar de se ter decidido realizar esta melhoria, a sua implementação não foi realizada durante o projeto.

5.4.1.1.6. Roldanas de inserção de um útil

Os úteis que são inseridos na posição 12 (posição de difícil acesso) são úteis que pelo seu peso se tornam difíceis de inserir na localização onde são encaixados. Foi requerido

pelo departamento de segurança que a inserção desse útil fosse realizada com o apoio de algum sistema. Foi então concebido um sistema de roldanas que permite mover o útil para a localização. Apesar de não ser uma melhoria que beneficie significativamente o tempo de inserção do útil, a sua implementação era necessária.

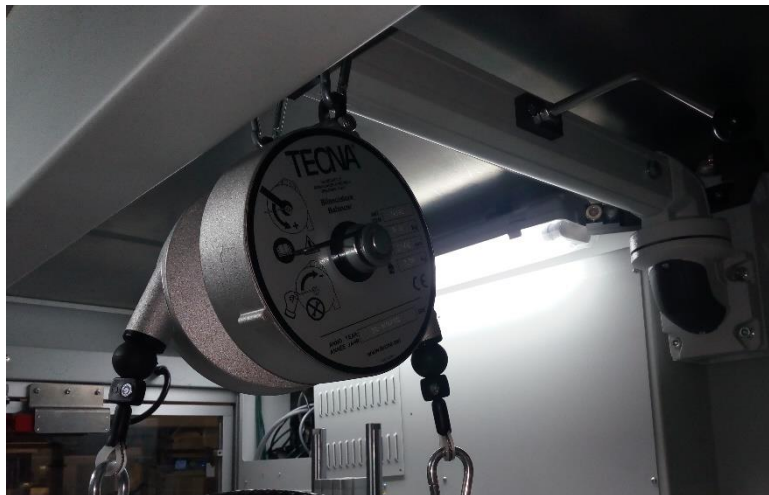


Figura 20. Roldanas para inserção de útil no posto 4.

5.4.1.1.7. Colocação de ferramenta de aperto junto do local de utilização

Na operação de *changeover* existia uma operação que era frequente, e que implicava afrouxar um parafuso que permitia inserir/remover um útil para/da a sua localização. Primeiramente tentou-se substituir este parafuso por um aperto rápido que pudesse ser apertado/desapertado rapidamente. Após falar com o fornecedor da máquina esta opção não se revelou viável por questões técnicas, isto é, este aperto/desaperto teria que ser realizado desta forma e para não ser, teriam que se realizar mudanças complexas na máquina. Mudanças estas que a empresa não estava disposta a realizar.

Como não se pode mudar o tipo de operação optou-se por melhorá-la. Na realização da tarefa acontecia que o operador teria que sair de perto da localização onde o útil estava a ser inserido/removido e deslocar-se a uma caixa de ferramentas. Por vezes, a chave sextavada necessária não se encontrava na caixa de ferramentas, pois outro operador a tinha levado para outra máquina e não a tinha repostado na localização original. Assim, o operador perdia tempo à procura da chave. Para evitar esta situação propôs-se utilizar uma chave dedicada apenas a esta operação, criando-se um suporte para ela junto do posto onde era utilizada (Figura 21). Além disso, percebeu-se que o operador desapertava o parafuso na totalidade aquando da remoção do útil. Estudou-se esta situação e tentou-se reduzir ao

máximo os graus de rotação usados, verificou-se que com duas rotações de 360° afrouxava-se sempre o parafuso de forma a ser possível remover o útil. Esta melhoria levou a que fosse mais rápido remover e inserir o útil, tendo sido incluída no procedimento.



Figura 21. Criação de suporte para ter ferramenta junto de 1B.

5.4.1.2. Atividades externas

As melhorias das atividades externas apesar de não terem influência no tempo que a máquina está parada, ajudam a que as tarefas sejam realizadas de uma forma mais eficiente, libertando tempo ao operador para realizar outras tarefas.

5.4.1.2.1. Melhorias nas deslocações

Inicialmente os úteis encontravam-se bastante distantes do local onde eram necessários, no caso da troca de referência para a M16, o diagrama de Spaghetti está representado no ANEXO D. Para diminuir as distâncias percorridas pelos operadores para transportarem os úteis realizou-se uma proposta de realocização das estantes onde os úteis estavam armazenados (ANEXO E). Esta realocização foi realizada não tendo em conta apenas M16, mas todas as máquinas da linha de produção. Nesta proposta colocaram-se os úteis em zonas estratégicas, de fácil acesso, isto com o objetivo de os armazenar mais perto de onde estes são necessários.

Foi também proposta (em “5.5.4. Proposta de arrumação: tabuleiros, estantes e carrinhos”) a colocação de gavetas embutidas na M16, onde seriam colocados os “pratos” de 4 referências (não podendo ser de todas devido a limitação de espaço).

5.4.2. Análise de Risco

Após serem propostas várias ações que têm como objetivo reduzir o tempo de troca de referência, decidiu-se avaliar diferentes situações que podem acontecer durante o *SMED* e que põem em causa o objetivo.

Realizou-se um *Failure mode and effects analysis* (FMEA), Tabela 11, para encontrar modos de falha e potenciais efeitos no tempo de *changeover*. Os efeitos considerados são apenas relativos ao *changeover*, as consequências no processo ou no produto não são incluídas nesta análise. Na concretização desta análise, realizada em equipa, foram identificadas potenciais falhas, causas de falha, e possíveis consequências. Por fim foram propostas ações preventivas de modo a evitar atrasos no processo de *changeover*. Classificaram-se as atividades de acordo com a frequência (F) com que acontecem, gravidade (G) e probabilidade de deteção (D) (ANEXO F). Em seguida foi calculado o Índice Potencial de Risco (IPR) que resulta do produto da frequência, gravidade e probabilidade de deteção. Com este índice foi possível priorizar a implementação de ações preventivas aos modos de falha. A maioria das ações de prevenção foram aceites pela empresa, exceto a “No. 4” que envolvia um elevado investimento. Para algumas falhas não foi identificada uma solução de prevenção, pelo que se deve continuar a tentar perceber as ações de prevenção que seriam adequadas. No entanto, é importante referir que estas falhas são de IPR baixo.

Tabela 11. Tabela de análise FMEA

No.	Descrição da atividade	Modo de falha	Causa da falha	Consequências da falha	Ações preventivas	F	G	D	IPR
1	Recolha dos úteis	Operador esquece-se de transportar úteis não exclusivos para junto da máquina.	Úteis não exclusivos não estão junto dos úteis exclusivos.	O operador ter que se ir à procura do útil no decorrer do <i>changeover</i> .	Criação de carrinho para transportar úteis, onde é visualmente perceptível a falta de um útil.	6	8	8	384
2	Remoção dos pratos no <i>Run-down</i> .	Operador esquecer-se de remover os pratos enquanto a máquina está em fase de <i>Run-down</i> , removendo-os	Descuido do operador.	Operação externa realizada como interna.	Sensibilização do operador para seguir procedimento.	6	10	6	360

		quando a máquina está parada.							
3	Inserção dos pratos no <i>Run-up</i> .	Operador esquecer-se de inserir os pratos enquanto a máquina está em fase de <i>Run-up</i> , inserindo-os quando a máquina está parada.	Descuido do operador.	Operação externa realizada como interna.	Sensibilização do operador para seguir procedimento.	6	10	6	360
4	Colocação dos pratos na máquina.	Operador coloca prato na posição errada.	Os pratos podem ser colocados de duas formas.	Tem que se rodar a base giratória e remover útil como operação interna.	Criação de mais um centrador (jig) que permita que o útil seja inserido apenas numa posição.	5	6	9	270
5	Inserção e remoção dos úteis nas máquinas	Úteis mal encaixados.	Operador não verificar a correta posição do útil no posto.	O operador ter que reinserir o útil.	Sensibilização do operador para seguir procedimento.	3	8	9	216
6	Remoção dos pratos.	Os pratos não serem removidos à primeira tentativa, da localização.	Centradores e roscas com pouca folga.	Operador tem que tentar várias vezes até remover o prato.	Sem ação.	10	2	9	180
7	Levantamento de cavilha do posto 4 em cima.	A cavilha não levantar.	Falta de folga no furo onde encaixa a cavilha.	Operador tem que tentar levantar a cavilha exaustivamente até esta levantar.	Sem ação.	3	4	9	108
8	Inserção dos úteis no carrinho de trocas de referência.	Os úteis não são colocados na posição onde pertencem no carrinho.	Descuido do operador.	O operador que vai realizar <i>changeover</i> perder tempo à procura do útil que necessita.	Sensibilização do operador para seguir procedimento.	5	3	4	60

5.4.3. Monotorização e controlo

Para que as melhorias propostas e implementadas não perdessem efeito seria necessário monitorizar e controlar o processo de trocas de referência. Para isso seria necessário haver recolha dos dados de trocas de ferramentas. Propôs-se implementar no *software* das máquinas da linha, um relógio que se iniciasse assim que o operador parasse a máquina para realizar *changeover*, e parasse assim que o operador colocasse a máquina em funcionamento. Estes dados seriam enviados ao computador central da linha e compilados. Com a disponibilização destes dados seria possível monitorizar os tempos de troca, percebendo se estes iam de encontro ao objetivo, e caso houvessem desvios, perceber as causas para desenvolver ações de melhoria contínua. Esta ação ficou de ser considerada pela empresa, não tendo sido implementada durante o estágio.

5.5. Organização de ferramentas

A organização dos úteis na linha afetava tanto a mudança de referência em cada máquina, como a mudança de referência na linha como um todo. A localização das zonas onde as ferramentas estão arrumadas, a acessibilidade dessas zonas, a facilidade de identificação das ferramentas quando arrumadas, e a rapidez de remoção e inserção de úteis nessas zonas, são fatores que afetam o tempo da realização do *changeover*. Decidiu-se analisar a organização das ferramentas para identificar oportunidades de melhorias.

5.5.1. Situação inicial

Os úteis necessários para a realização de troca de referência são geralmente armazenados numa zona para o efeito, que será referida como zona “Racks 1” (Figura 22). Nessa zona existem 4 estantes, nelas encontram-se caixas (Figura 23) onde estão a maioria dos úteis do fornecedor 1. A estante tem 3 prateleiras, e 4 zonas onde se podem colocar caixas, ocupando uma área de 1,6 m². As zonas estão identificadas (com a referência e a máquina) para arrumar as caixas com úteis. Existe outra zona de estantes “Racks 2” onde estão armazenados 3 úteis (com um peso elevado) de M10. Para além destas estantes, existe uma zona denominada de “Paletes” (Figura 24) que tem na base duas paletes plásticas onde estão colocadas as caixas com os úteis, no total esta zona ocupa 1,92 m².

Para além das zonas de armazenamento apresentadas, existem em algumas máquinas, um compartimento próprio para armazenamento. Este espaço está reservado a úteis que são utilizados na própria máquina, mas por vezes estão também armazenados nestes espaços úteis referentes a outras máquinas.



Figura 22. Zona "Racks 1".



Figura 23. Caixa com úteis.



Figura 24. Zona "Paletes"

5.5.2. Identificação e caracterização do problema

Foram identificadas oportunidades de melhoria na forma como os úteis estavam organizados. No ANEXO D, para além de estarem representadas as deslocações realizadas pelos operadores na troca de referência para M16, está também representado o layout original da linha de montagem. Nele pode ver-se que a zona “Racks 1” está distante do local onde as ferramentas nelas existentes são necessárias.

Foi também identificada uma dificuldade em armazenar os úteis do fornecedor 2, isto porque existiam mais úteis (31) do que lugares vagos (24) nas zonas de armazenamento próprio da máquina. Isto significa que se se pretendesse arrumar todos os úteis, sobrariam 7. Este problema era, no entanto, mitigado devido ao facto de 10 quaisquer úteis, dos 31 úteis, estarem na sua posição de trabalho nas máquinas, o que significava que durante a produção, haviam 10 úteis a operar nas máquinas, 21 armazenados nas zonas de armazenamento próprio, e 3 lugares livres no total das zonas de armazenamento próprio. Na Tabela 12, encontram-se descritos os lugares vagos, os úteis existentes, os úteis em utilização (que operam na máquina), e os úteis armazenados (subtração dos úteis existentes e de em utilização) em cada máquina. Pode-se verificar a existência de casos em que há mais úteis existentes para uma máquina, do que lugares vagos na mesma. Isto levava a que se tivesse de armazenar os úteis de umas máquinas em outras, conforme os lugares vagos. É também importante referir que os úteis dificilmente estavam armazenados no mesmo sítio, porque a cada troca de referência, os úteis que saem das máquinas vão ter que ocupar tanto os lugares vagos como alguns dos lugares onde estavam os úteis que vão ser inseridos nas máquinas. Tudo isto levava a que os operadores não soubessem onde os úteis se encontravam armazenados, aquando da troca de referência.

Tabela 12. Resumo armazenamento de úteis do fornecedor 2.

<i>Máquina</i>	<i>Lugares vagos</i>	<i>Úteis existentes</i>	<i>Úteis em utilização</i>	<i>Úteis armazenados</i>
<i>M8</i>	4	3	1	2
<i>M11</i>	4	8	2	6
<i>M12</i>	4	4	1	3
<i>M13</i>	4	8	2	6
<i>M15</i>	6	2	1	1
<i>M3</i>	2	2	2	0
<i>M14</i>	0	4	1	3
<i>Total</i>	24	31	10	21

5.5.3. Resolver armazenamento dos úteis do fornecedor 2

Para os operadores não terem que procurar constantemente os úteis do fornecedor 2, aquando das trocas de referência, teria que se reencontrar uma solução que levasse a que simultaneamente, os úteis ficassem junto das máquinas onde são necessários, e que os operadores soubessem da posição deles.

A primeira solução considerada foi a de implementar um programa informático que em tempo real informa-se os operadores, das localizações dos úteis. Para isso era preciso que cada vez que se mudasse o útil de posição fosse fornecido ao sistema informático a posição atual do útil. Para ser fornecida essa informação, ou teria que ser o operador a inseri-la no sistema (o que levaria a perda de tempo), ou teria que ser a máquina (onde o útil estava localizado) a detetar a posição dos úteis (o que levaria a mudanças complexas nas máquinas). Esta opção tinha como vantagem um melhor aproveitamento do espaço, isto porque os úteis em utilização poderiam ocupar o espaço de uteis em armazenamento, não tendo de se criar um espaço extra de armazenamento. Esta opção não foi tomada, porque a gestão pretendia uma solução que cuja implementação fosse mais simples e imediata.

Optou-se por apresentar uma proposta de solução em que, a cada útil, pertencesse uma e apenas uma posição na máquina. Para isso criaram-se 3 conjuntos de máquinas (Tabela 13). Estes conjuntos foram criados com o objetivo de agrupar neles máquinas que se encontram perto umas das outras. Definiram-se posições nas máquinas que pertenceriam sempre ao mesmo útil. Para definir as posições onde ficariam os úteis, utilizou-se o critério de que os úteis de uma máquina só poderiam ficar armazenados ou nela própria, ou numa máquina do mesmo conjunto. Por exemplo, os úteis de M11 só poderiam ficar, ou em M11, ou em M3. Esta opção, no entanto, tinha uma limitação, havendo mais úteis que lugares, haveriam úteis que não teriam um espaço. Para mitigar este problema sugeriu-se que 7 úteis das referências menos produzidas fossem armazenados numa estante à parte. Ficariam de fora 2 úteis (pertencentes ao conjunto 1, M11) ficariam na estante de “A4” perto da máquina onde são utilizados. Para os restantes teria que se contruir uma estante “Ap_{2&3}”.

Tabela 13. Conjuntos de máquinas.

Conjuntos	Máquinas
Conjunto 1	M11, M3
Conjunto 2	M15, M14, M13
Conjunto 3	M12, M8

5.5.4. Proposta de arrumação: tabuleiros, estantes e carrinhos

Neste cenário foi proposta uma organização do armazenamento dos úteis (ANEXO G) que utiliza as zonas definidas em (ANEXO E) para armazenar as ferramentas do fornecedor 1. Como referido em “5.4.1.1.2” a utilização de carrinhos permite realizar as trocas de referência em M16, isto porque apesar de na altura se produzirem 7 referências uma oitava irá começar a ser produzida em breve (mais informação sobre estes carros no ANEXO C) e no subcapítulo “Criação de carrinhos de trocas de referência.”). Sendo que só os carrinhos que têm sistema elevatório permitem armazenar os “pratos” da referência que transportam, propôs-se construir 4 gavetas que permitiam armazenar os “pratos” das restantes referências na zona inferior da máquina M16.

Para realizar as trocas de referência nas máquinas M4, M7, M9, M10 propôs-se a utilização de tabuleiros, estes estariam armazenados em estantes. Para estas máquinas a utilização de carrinhos, semelhantes aos da solução proposta para os úteis de M16, não foi proposta porque neste caso o número de úteis por máquina era bastante inferior ao número de úteis usados em M16. Assim, teriam que se construir carros muito pequenos e que não se poderiam compactar uns nos outros (à semelhança de M16).

Para os úteis das máquinas M1 e M2 que têm um formato parecido aos “pratos”, e sendo que, para cada referência, os pratos eram todos iguais entre si, propôs-se a utilização de estantes móveis, cujas prateleiras seriam ligeiramente inclinadas e constituídas por cilindros rotativos, que permitiam que quando um operador retirasse um “prato” outro lhe seria fornecido devido a rotação dos cilindros. O operador levaria a estante para junto da respetiva máquina para realizar o *changeover*.

5.6. Apresentação e discussão de resultados

Nos subcapítulos “5.3”, “5.4”, “5.5”, apresentaram-se várias sugestões de melhorias. Neste subcapítulo são apresentados e discutidos os resultados das medidas que foram implementadas com o objetivo de reduzir o tempo de troca de referência na linha de montagem. Segue-se a apresentação dos resultados das medidas que foram implementadas pela empresa.

5.6.1. Rastreabilidade

A melhoria realizada no sistema de rastreabilidade permitiu aumentar a disponibilidade dos estrangulamentos da linha. Na Tabela 14 encontra-se o resumo dos resultados estimados com a mudança do sistema de rastreabilidade.

Tabela 14. Tabela resumo das melhorias com a mudança de rastreabilidade.

Situação inicial	Situação final
TMP _i [min]	
36	11
Poupança de tempo no estrangulamento por troca referência:	
25 minutos	
Número de trocas de referência por dia	
2	
E.V.	
7.507€	

Na situação final foi possível observar uma economia de tempo de 25 minutos (equação (3)) no estrangulamento por cada troca de referência. Foi possível ao departamento financeiro da empresa estimar o valor económico (E.V) criado para um período de 2 anos, extrapolando os ganhos nesta referência para as restantes. O número de válvulas produzidas por troca de referência é de aproximadamente 16 válvulas (equação (4)). É importante referir que este valor aumentaria caso o tempo de ciclo do estrangulamento fosse reduzido.

É ainda relevante mencionar que com a mudança no sistema de rastreabilidade, qualquer que seja o estrangulamento, a paragem da máquina devido às trocas de referências depende agora essencialmente do seu próprio tempo de *changeover*, e não de *changeovers* doutras máquinas. A proposta do sistema de rastreabilidade foi implementada pela empresa, sendo que se mostrou rentável realizar o investimento.

5.6.2. **SMED e organização de ferramentas**

As melhorias realizadas através da implementação da metodologia *SMED* e organização de ferramentas tiveram como principal foco a melhoria do tempo de *changeover* na máquina M16, apesar das melhorias na organização de ferramentas afetarem também o *changeover* noutras máquinas. Considerou-se, portanto, como maior indicador de melhoria a redução dos tempos de troca de referência na M16. Para obter este indicador, foi realizada a medição dos tempos, que as trocas de referência demoravam depois das melhorias implementadas. Esta medição foi realizada durante aproximadamente 3 semanas, e devido à exigência do planeamento produtivo, o número de trocas de referência foi significativamente mais baixo.

Os dados recolhidos estão apresentados na Figura 25, onde, para cada grupo de trocas de referência (Tabela 10) de M16, é apresentada a comparação entre os tempos de *changeover* antes e depois das propostas de melhorias implementadas. Apesar de não se ter conseguido registar tempos de *changeover* da situação final dos Grupos 3 e 4, justificado pela não produção de algumas referências naquele mês, e pelo facto de os operadores, por vezes se esquecerem de registar os tempos de *changeover*, foi possível obter valores dos Grupos 1 e 2. Pode observar-se uma redução significativa tanto nas medidas de centralidade (média e mediana) com na dispersão dos valores do tempo de *changeover*.

No Grupo 2, grupo de combinações de trocas de referência sobre o qual foi realizado o *SMED*, pode-se verificar que os valores obtidos vão de encontro ao objetivo sendo a média de 9,73 minutos. Além disso, a dispersão de valores na situação final é bastante mais reduzida do que na situação inicial. Este resultado vem reforçar que apesar das melhorias terem enfoque no Grupo 2 (cujas combinações de trocas de referência têm tarefas distintas de outros grupos), estas são transversais a outros grupos, como é exemplo o Grupo 1.

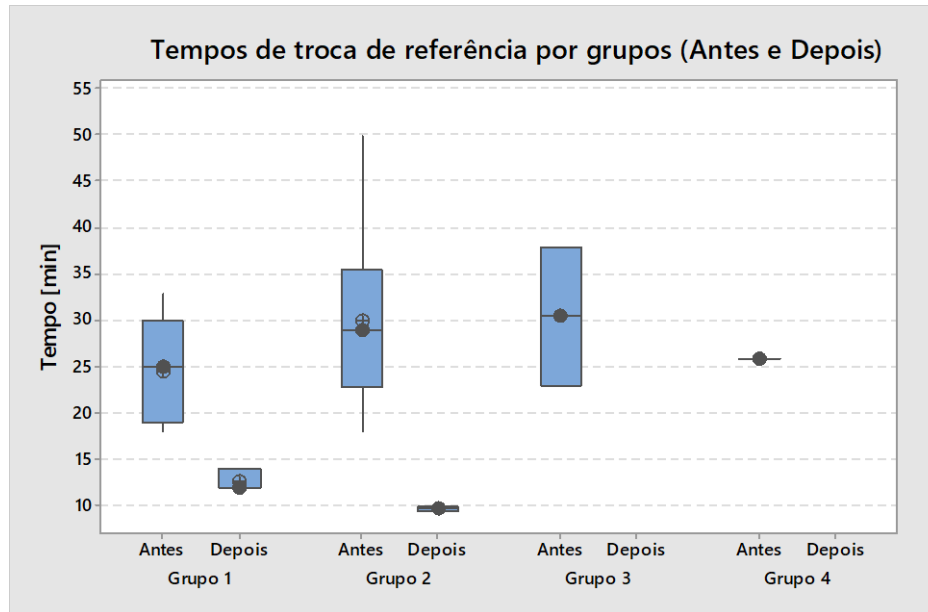


Figura 25. Gráfico de tempos de troca de referência (Antes e Depois).

Assim, como o início da troca de referência na linha estava sempre dependente da realização de *changeover* na M16, a redução do tempo do *changeover* nesta iria aumentar a disponibilidade do estrangulamento e conseqüentemente da linha. No entanto, como a proposta de mudança do *software* de rastreabilidade foi aceite pela empresa, o aumento da disponibilidade no estrangulamento, no que diz respeito às trocas de referência, passou a depender essencialmente de melhorias *changeover* no estrangulamento. Não obstante, a redução do tempo de troca de referência em M16 permitiu reduzir a necessidade de mão-de-obra para a realização de *changeover*, aumentar a flexibilidade nas trocas de referência e reduzir o nível de competências necessárias do operador para realizar o *changeover* (devido a existência de um procedimento).

De forma geral, os resultados obtidos foram satisfatórios permitindo aumentar a capacidade da linha e melhorar a eficiência das operações realizadas pelos operadores. Assim, seria importante extrapolar as melhorias implementadas para problemas idênticos tanto na linha como na empresa.

6. CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi apresentado um caso de estudo onde foi aplicada a metodologia DMAIC com objetivo de reduzir o tempo de troca de referência numa linha de produção flexível. O âmbito de estudo foi dividido em três problemas: (i) O *software* de rastreabilidade condiciona a realização de *changeover* nas máquinas da linha de produção; (ii) O tempo de *changeover* elevado na máquina M16, condiciona a troca de referência na linha de produção; (iii) Problema na organização das ferramentas cria ineficiência nas operações de *changeover*. Foram recolhidos dados necessários que após analisados permitiram propor soluções para cada um dos problemas.

No problema (i) a proposta foi no sentido de mudar o *software* de rastreabilidade para permitir que o *changeover* no estrangulamento não estivesse dependente da realização de *changeover* nas restantes máquinas utilizadas na produção de uma referência. Com esta proposta foi possível aumentar a disponibilidade do estrangulamento, ganhando-se 25 minutos de capacidade por cada *changeover* realizado. Estas mudanças tiveram um E.V. estimado de 7.507€ em dois anos.

A proposta para resolver o problema (ii) passou pela implementação da metodologia *SMED*, onde através da conversão de tarefas internas para externas, e através da otimização de todas as atividades foi possível reduzir, tanto os tempos de *changeover* como também a dispersão desses valores. Nesta proposta, de entre as melhorias realizadas destaca-se a realização de um procedimento que permitiu integrar 42 combinações de trocas de referência, em apenas uma folha A3. Este procedimento teve um grande impacto na redução do tempo de troca de referência. Esta evidência vem reforçar a proposição de que não se necessita de um grande investimento, para se conseguir obter bons resultados. Foi também aplicada a análise FMEA ao processo de *changeover*, esta permitiu desenvolver ações preventivas que tiveram como principal efeito a redução situações que atrasavam o *changeover*, o que levou a redução da dispersão dos tempos de *changeover*, revelando-se, portanto, a aplicação do FMEA uma mais valia.

Foram também realizadas ações com o objetivo de melhorar tanto a localização como organização das ferramentas utilizadas para realizar *changeover*. A proposta de definir o armazenamento para todos os úteis da linha em simultâneo revelou-se mais adequada do

que definir o armazenamento para cada máquina individualmente, isto porque se percebeu que muitas das decisões que tiveram de ser tomadas eram mutuamente exclusivas, sendo que a escolha de uma opção impedia a escolha de outra. Um exemplo é a escolha de uma área no chão de fábrica onde ou se armazenavam os úteis de uma máquina ou de outra, não havendo espaço para armazenar os úteis de ambas.

Concluindo, a abordagem tida para a redução do tempo de *changeover* foi realizada não apenas utilizando a tradicional metodologia *SMED* numa máquina específica, mas realizando uma análise sistémica à linha, que permitiu identificar os principais problemas que tinham impacto no tempo de *changeover*. Consequentemente, esta identificação permitiu apresentar propostas de melhoria relevantes. Destaca-se então, a importância da fase de definição do problema, em projetos deste género.

Houve ações que não foram possíveis implementar durante este projeto de dissertação, principalmente no que diz respeito à parte de controlo, e extrapolação das melhorias implementadas. Apresentam-se tópicos que deveriam ser desenvolvidos para dar continuidade ao trabalho realizado:

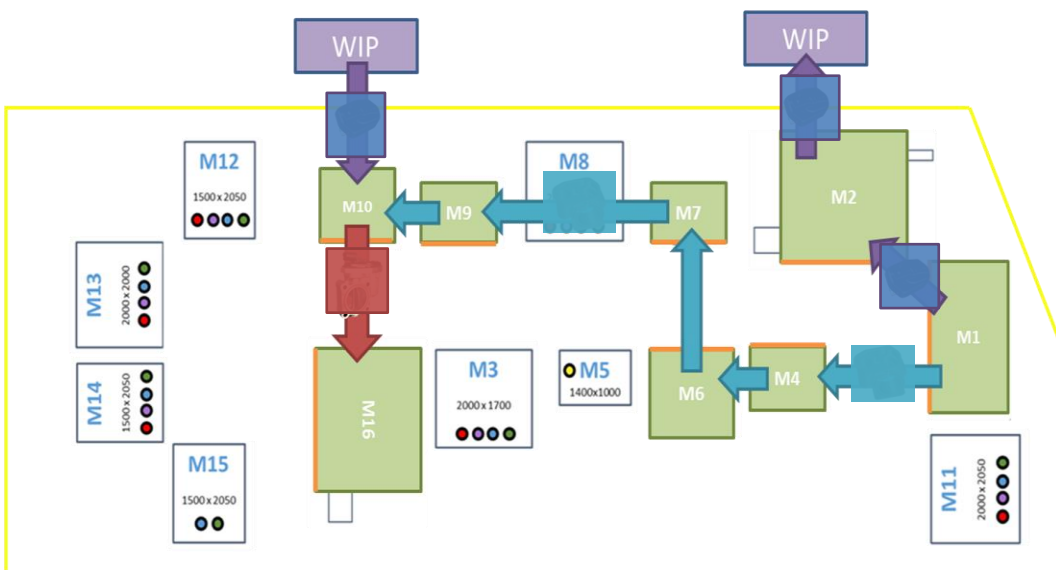
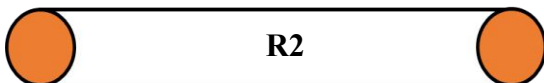
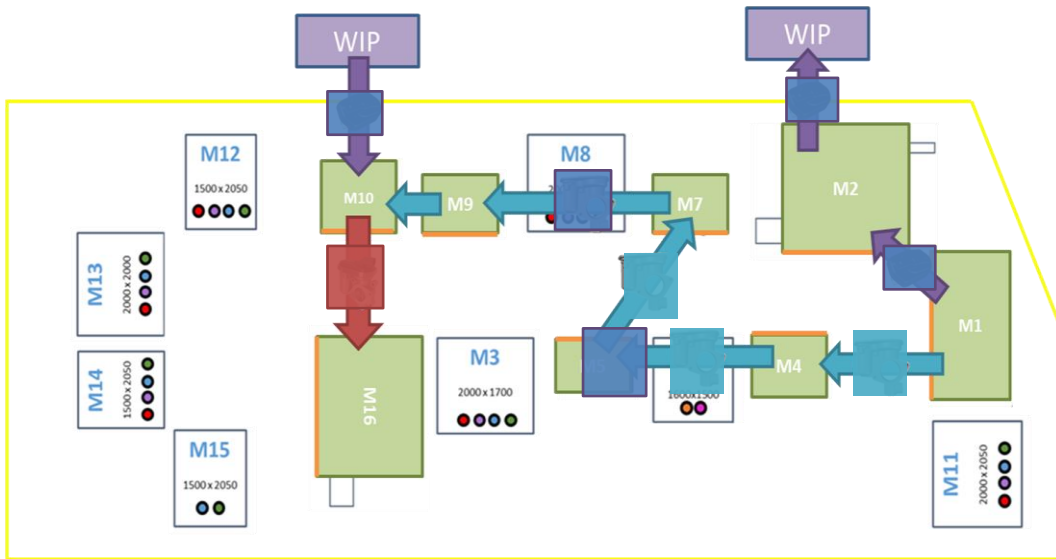
- Implementação dos elementos da proposta de arrumação que não foram implementados.
- Análise dos Grupo 1,3,4 de combinações de troca de referência.
- Aplicação da metodologia *SMED* às restantes máquinas da linha, permitindo reduzir o tempo que os operadores demoram a realizar *changeover*.
- Elaborar procedimentos para as restantes máquinas da linha. Realização de um vídeo onde se explica o procedimento, que seria utilizado na formação de operadores.
- Implementação de um relógio nas máquinas que permitiria registar automaticamente o tempo que cada máquina está parada para realização de *changeover*.

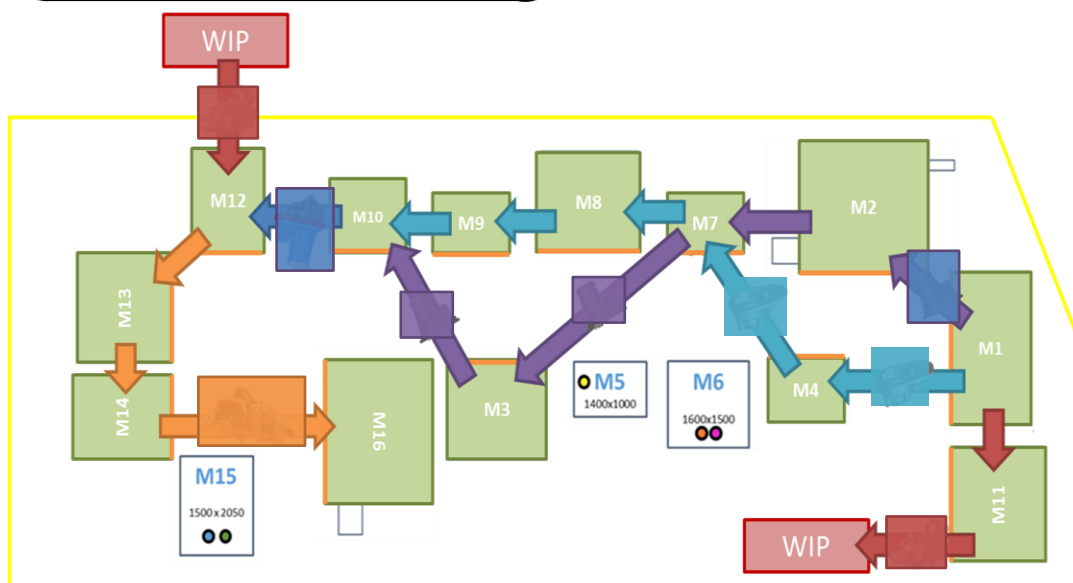
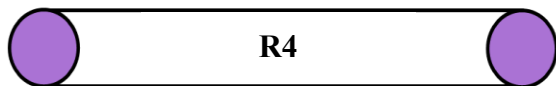
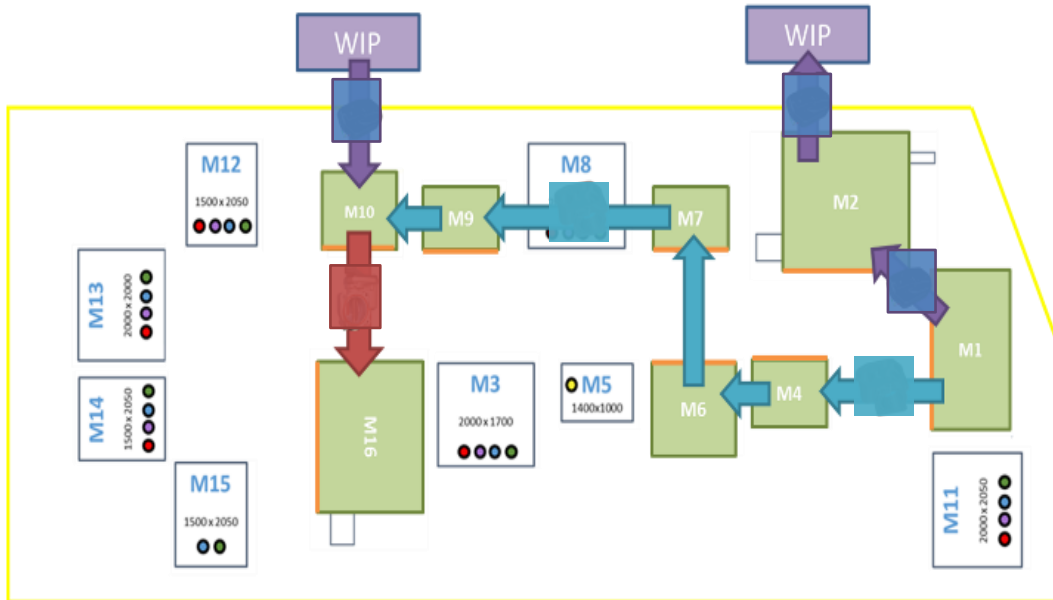
BIBLIOGRAFIA

- Cakmakci, M. (2009). Process improvement: Performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 41:168-179.
- Chlpeková, A., Vecera, P., e Šurinová, Y. (2014). Enhancing the effectiveness of problem-solving processes through employee motivation and involvement. *International Journal of Engineering Business Management* 6(1).
- Corrêa, O. D. G., Rossetti, N., Mergulhão, R. C., Meirelles, J. L. F., e Silva, B. B. (2014). Investigação do Seis Sigma na redução do tempo de setup: Uma pesquisa empírica em uma empresa do setor de polímeros. *Produto & Produção*. 15(3): 33–45.
- Dziak, M. (2017). DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). *Salem Press Encyclopedia*. Acedido a 06 de Julho de 2019, em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=125600207&site=eds-live>
- Gomes, D. F., Lopes, M. P., e De Carvalho, C. V. (2013). Serious games for lean manufacturing: The 5S game. *Revista Iberoamericana de Tecnologias Del Aprendizaje*. 8(4): 191–196.
- Hoem, O., e Lodgaard, E. (2016). Model for Supporting Lasting Managerial Efforts in Continuous Improvement: A Case Study in Product Engineering. *Procedia CIRP*. 50: 38–43.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*. (McGraw-Hill, Ed.), *Library Journal* (2nd ed.).p.1–79.
- KAIZEN Institute Portugal. (2019). O que é Kaizen? Acedido a 15 de Junho de 2019, em: <https://pt.kaizen.com/quem-somos/significado-de-kaizen.html>
- Kaplík, P., Pristavka, M., Bujna, M., e Viderňan, J. (2013). Use of 8D Method to Solve Problems. *Advanced Materials Research*. 801: 95–101.
- Karam, A. A., Liviu, M., Cristina, V., e Radu, H. (2018). The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project. *Procedia Manufacturing*. 22: 886–892.
- Linderman, K., Schroeder, R. G., Zaheer, S., e Choo, A. S. (2003). Six Sigma: A goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*. 21(2): 193–203.
- Liu, H. C., Liu, L., e Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*. 40(2): 828–838.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., e Owen, G. W. (2001). *Improving Changeover Performance*. *Improving Changeover Performance*. Elsevier.p.1–10.
- Moen, R., e Norman, C. (2006). Evolution of the PDCA Cycle. *Society*, 1–11.
- Schneider, H., e Stamatis, D. H. (1996). Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. *Technometrics*. 38(1): 80.

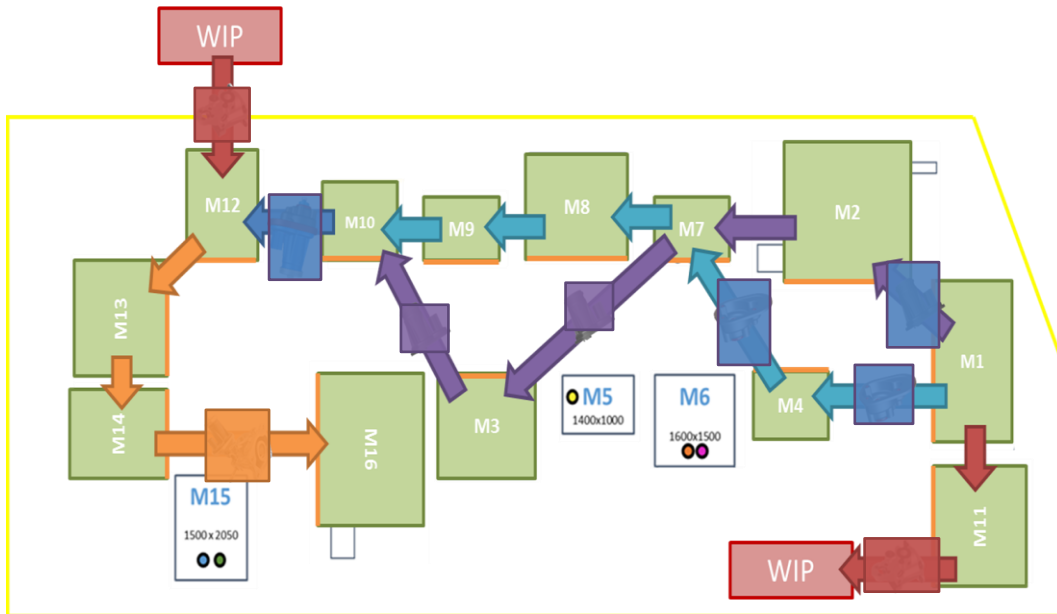
- Shankar, R. (2009). Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide. In A. Q. Press (Ed.), *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. p.95–104
- Shingo, S. (1983). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts and Norwalk, Connecticut. p. 21-129.
- Snee, R. D. (2000). Impact of six sigma on quality engineering. *Quality Engineering*. 12(3), IX–XIV.
- Sousa, R. M., Lima, R. M., Carvalho, J. D., e Alves, A. C. (2009). An industrial application of resource constrained scheduling for quick changeover. *IEEM 2009 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. 189–193.
- Zambão, T. B. (2014). A BorgWarner abre uma nova unidade de produção em Portugal. Acedido a 18 de Fevereiro de 2019, em: https://www.borgwarner.com/docs/default-source/press-release-downloads/pt-ba-bw-abre-uma-nova-unidade-de-producao-em-portugal.pdf?sfvrsn=ba7aca3c_4

ANEXO A

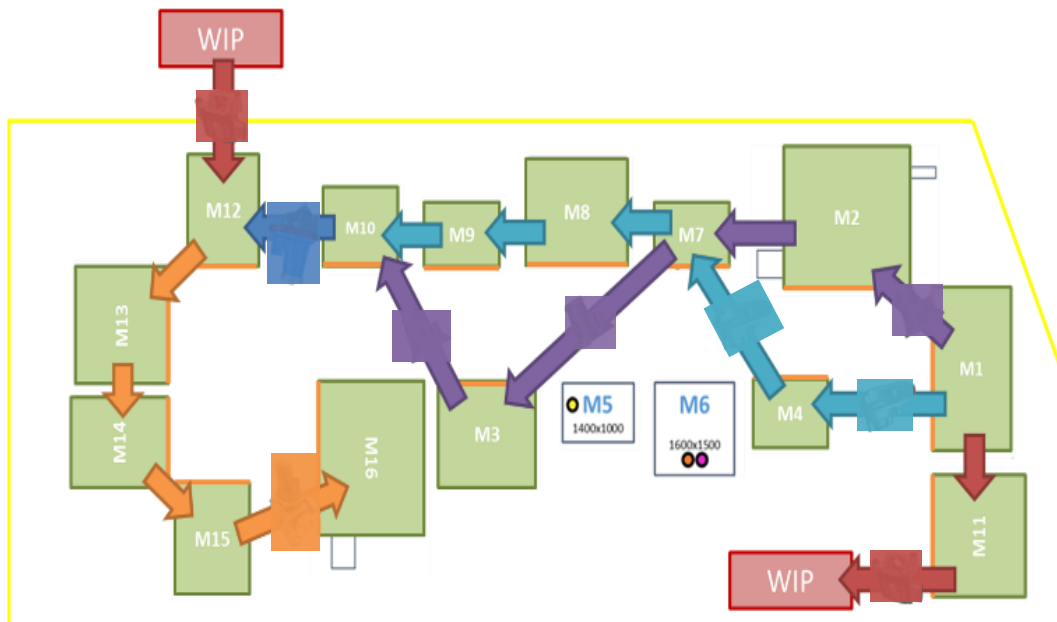


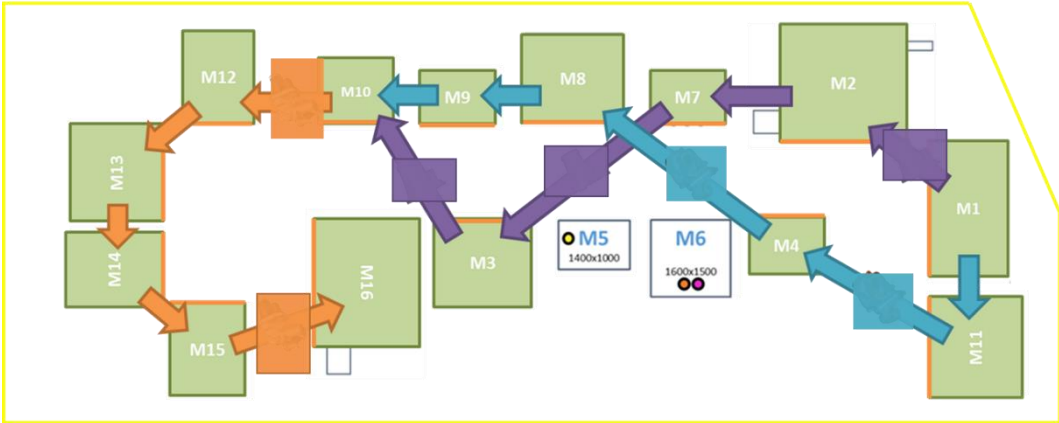


R5



R6





ANEXO B

Procedimento de troca de referência em M16

Nº	Operação	Tipo	T.E.
Fase de paragem (But-down).			
1	Ir buscar carro (8Out & 8In) para a frente da máquina.	E	
2	Foi inserida a última peça na máquina? (Se sim) (*1)	E	
2.1	Remover o "prato" da zona frontal da máquina.	E	
2.2	Colocar uma mão em cada porca rosçada e desenrosçar, pousar, em seguida, as roscas ao lado do "prato".	E	
2.3	Colocar uma mão em cada peça e levantar o "prato".	E	
2.4	Colocar cada "prato" no carro (8Out).	E	
2.5	Esperar até que máquina finalize a operação à peça.	E	
2.6	Rodar base giratória em modo esvaziado.	E	
3	Repetir Nº 2.1 a 2.6 até remover todos os "pratos".	E	
Setup.			
4	Rodar botão para "Man."	I	
5	Clicar em pedido de abertura.	I	
6	Levar carrinhos (8Out & 8In) para lado esquerdo da máquina.	I	
7	Abriu portas.	I	
8	3C - Remover.	I	
8.1	Desencaixar ficha (8Out).	I	
8.2	Remover tubo de 3C se este existir.	I	
8.3	Levantar cavilha com uma mão e remover útil com a outra.	I	
8.4	Colocar útil no carrinho (8Out).	I	
9	3C - Inserir.	I	
9.1	Retirar o útil do carro (8In). Levantar cavilha com uma mão e inserir o útil na calha com a outra.	I	
9.2	Encaixar ficha (8Out).	I	
9.3	Encaixar tubo de 3C se este existir.	I	
9.4	4C - Remover? (Se Sim)	I	
9.4.1	Remover tubo/ro branco/os. (Exceto CNH)	I	
9.5	4B - Remover/Inserir? (Se Sim)	I	
10	3B - Remover? (Se sim)	I	
10.1	Prender gancho da roldana ao útil. (Exceto 3B)	I	
11	3B - Remover? (Se sim)	I	
11.1	Soltar cabo branco, e retirar ficha (8Out).	I	
11.2	Soltar cavilha que se encontra por baixo do útil, deslizar o útil no sentido do centro da máquina.	I	
11.3	Retirar o útil pelo centro do posto, para fora da máquina.	I	
11.4	Colocar útil no carro (8Out).	I	
12	3B - Inserir? (Se sim)	I	
12.1	Retirar útil do carro (8In). Movimenta-lo pelo centro do posto, pela parte traseira, até à entrada da calha.	I	
12.2	Inserir o útil na calha, deslizando-o até à cavilha.	I	

12.3	Puxar cavilha que se encontra abaixo de 3B, deslizar o útil até ao fim da calha, e inserir cavilha.	I	
12.4	Encaixar ficha (8Out).	I	
12.5	Ligar tubo, clicando no botão do encaixe, largando após realizado.	I	
13	1B - Remover? (Se Sim)	I	
13.1	Desencaixar ficha (8Out).	I	
13.2	Pegar na chave (8Out) que se encontra em 1B.	I	
13.3	Com a chave (8Out) afrouxar parafuso que prende o útil com 2 voltas 360°.	I	
13.4	Levantar o útil e coloca-lo no carro (8Out).	I	
14	1B - Inserir? (Se Sim)	I	
14.1	Retirar o útil do carro (8In) e colocar o útil em 1B.	I	
14.2	Verificar se os 4 pins de encaixe estão nos respetivos encaixes.	I	
14.3	Apertar útil com chave (8Out).	I	
14.4	Encaixar ficha (8Out).	I	
15	3C - Remover.	I	
15.1	Desencaixar ficha (8Out).	I	
15.2	Levantar cavilha com uma mão, e deslizar útil para fora da calha com a outra.	I	
15.3	Colocar útil no carro (8Out).	I	
16	3C - Inserir.	I	
16.1	Retirar útil do carro (8In). Levantar cavilha com uma mão e inserir o útil com a outra.	I	
16.2	Encaixar ficha (8Out).	I	
16.3	Aviatar o colega que está na M9(ou outro disponível) que vai trocar o P4.	I	
16.4	Levar ambos os carros para o lado direito da máquina.	I	
16.5	Abriu portas do lado direito da máquina.	I	
17	4C - Remover (Exceto 4B)? (Se Sim)	I	
17.1	Desencaixar ficha (8Out).	I	
17.2	Prender gancho.	I	
17.3	(Os dois operadores) Levantar cavilha e deslizar útil até a extremidade da calha.	I	
17.4	(Os dois operadores) Puxar fio da roldana para baixo com movimento repentino até que a roldana faça tensão.	I	
17.5	Com os fios em tensão remover o útil pelo lado direito da máquina.	I	
17.6	Colocar útil no carro (8Out).	I	
18	4C - Remover? Referência 4B? (Se Sim)	I	
18.1	Levantar cavilha com uma mão e remover útil com a outra. Inserir o útil no carro (8Out).	I	
19	4C - Inserir? (Se Sim)	I	
19.1	Retirar útil do carro (8In) e prender os ganchos da roldana nele. (Exceto 4B)	I	

19.2	Puxar fio do gancho para baixo com movimento repentino até que a roldana faça tensão. (Exceto 4B)	I	
19.3	Colocar útil no centro da máquina. (Exceto 4B)	I	
19.4	(Os dois operadores) Levantar útil, sempre com os fios em tensão e deslizar útil até à cavilha. (Exceto 4B)	I	
19.5	(Os dois operadores) Levantar cavilha, inserir útil e baixar cavilha.	I	
19.6	(Os dois operadores) Remover ganchos, deixando roldana no sítio onde se encontra. (Exceto 4B)	I	
19.7	Encaixar ficha (8Out).	I	
20	4B - Remover/Inserir (Se Sim)	I	
20.1	Levantar cavilha com uma mão e inserir/remover o útil com a outra.	I	
21	3C - Remover/Inserir? (Se Sim)	I	
21.1	Levantar cavilha e remover/inserir útil de 3C.	I	
22	3B - Remover/Inserir? (Se Sim)	I	
22.1	Levantar cavilha e remover/inserir útil de 3B.	I	
23	5 - Remover.	I	
23.1	Rodar engate rápido com uma mão e remover o útil com a outra, deslizando-o.	I	
23.2	Colocar útil no carrinho (8Out).	I	
24	5 - Inserir.	I	
24.1	Retirar útil do carrinho (8In).	I	
24.2	Rodar engate rápido com uma mão e inseri o útil com a outra.	I	
25	7 - Remover.	I	
25.1	Levantar cavilha com uma mão e remover útil com a outra.	I	
25.2	Colocar útil no carrinho (8Out).	I	
26	7 - Inserir.	I	
26.1	Retirar o útil de (8In).	I	
26.2	Levantar cavilha com uma mão e inserir útil com a outra.	I	
26.3	Fechar porta.	I	
26.4	Dirigi-se a ecrã da máquina.	I	
26.5	Rodar botão para "Man.", no ecrã principal, selecionar referência selecionar referência pretendida e clicar "Carregar".	I	
Mudar "MES".			
27	Dirigi-se ao computador da linha.	I	
28	No menu "MES", selecionar "Linha", Referência Trabalho Máquina.	I	
29	Selecione "M16", e seleccionar a referência desejada. Clicar "Aplicar configuração".	I	
Fase de arranque (Run-up).			
30	Inserir "prato" da zona frontal da máquina.	E	
31	Inserir peça.	E	
32	Fazer rodar base giratória.	E	
33	Repetir últimos passos até inserir todos os "pratos".	E	
34	Levar os carrinhos (8In e 8Out) para origem.	E	

Legenda:

"Tipo" - Pode ser uma tarefa interna, "I" (realizada com a máquina parada), ou Externa, "E", (realizada com a máquina funcionando).
 "T.E." - Tempo Estimado para realizar uma tarefa.
 (*1) No caso de se ter que fazer trabalho a alguma das últimas 8 peças do lote que esteja na M16, remover os "pratos" das peças boas à medida que estas saem da máquina, mantendo os "pratos" das más, realizando rotação manual. Quando o trabalho estiver realizado colocar as válvulas nos "pratos" não removidos.

(8Out): Referência que se está a remover da máquina.
 (8In): Referência que se pretende inserir na máquina.

Notas: (1) Cada localização na máquina é representada por o número do posto e a posição, por exemplo, "3 B" refere-se ao posto 3 e a posição de baixo.
 (2) Nas decisões, se a resposta for "Não" deve-se passar ao próximo passo que esteja colorido.

Decisões		Fases do processo	
Conjuntos de operações em localização		Tempo de espera	

Para: / De:	R5	R4	R3	R7	R2	R6	R1
R5		4B 5C	3B 4B 4C 5C	4B 5C	3B 4B 4C 5C	4B 5C	3B 4B 4C 5C
R4	4B 5C		3B 4B 4C 5C	1B 4B	3B 4B 4C 5C	1B 4B 5C	3B 4B 4C 5C
R3	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C 5C		3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C
R7	4B 5C	1B 4B	3B 4B 4C 5C		3B 4B 4C 5C	1B 4B 5C	3B 4B 4C 5C
R2	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C	3B 4B 4C 5C		3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C
R6	4B 5C	1B 4B 5C	3B 4B 4C 5C	1B 4B 5C	3B 4B 4C 5C		3B 4B 4C 5C
R1	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C	3B 4B 4C 5C	3B 4B 4C	3B 4B 4C 5C	

Descrição:

Nesta matriz estão especificadas as combinações de trocas de referência realizadas em M16, em cada combinação estão todas as localizações nas quais é necessário tomar uma decisão.
 A primeira coluna da esquerda, "De", representa a referência que se vai deixar de produzir. A primeira linha, "Para", representa a referência para a qual se pretende mudar.

(*2) Tipo de operação realizada em cada localização da M16.

(*3) As localizações de M16 que não se encontram na matriz são localizações onde o útil não presente é necessário e é inserido o útil da referência que se pretende produzir.

Não remover útil e não inserir útil

Remover útil e não inserir útil

Não remover útil e inserir útil

Remover útil e inserir útil

(Omissão) na

Nota: Editado por questões de confidencialidade

ANEXO C

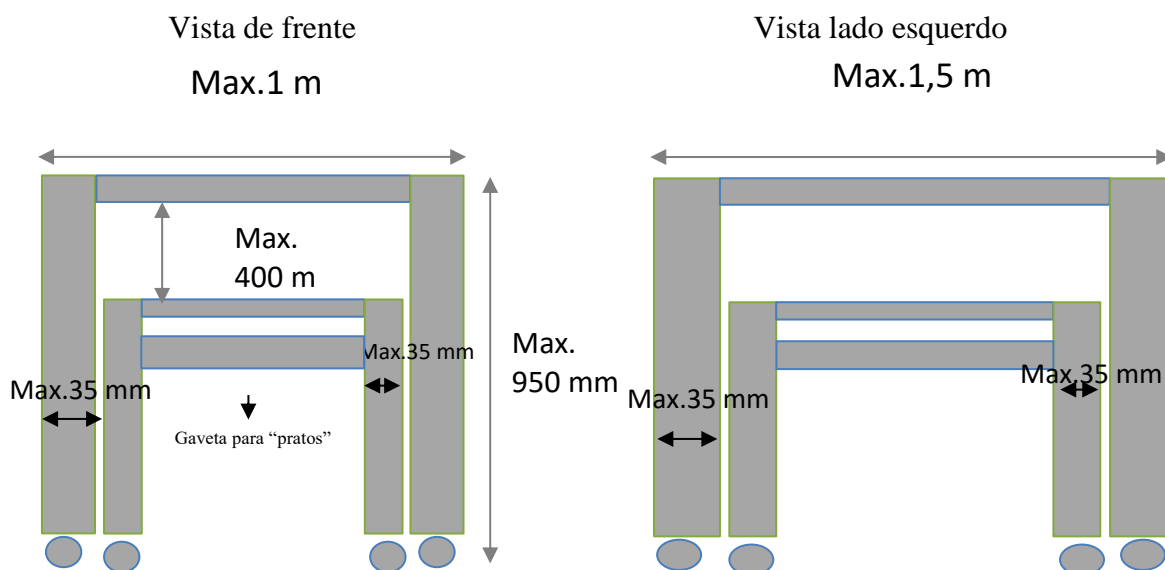
Requisitos dos carros

Data de entrega: -----

Descrição:

Dois carros para operações de troca de referência. Os carros são móveis, contendo rodas ESD, encaixando um no outro. No plano superior de cada carro existem tabuleiros, o tabuleiro tem um fundo vermelho, em cima do fundo vermelho existe um uma camada em branco onde estão recortados os formatos de encaixe das ferramentas.

Representação gráfica



Critérios gerais:

- As dimensões dos carros devem respeitar as normas ergonómicas da fábrica.
- O carro não deve por em risco a segurança do utilizador.
- Todas as ferramentas cujos desenhos serão fornecidos deverão caber em cada carro a que estão associadas.

-As dimensões não podem ultrapassar as representadas a cima, não obstante as dimensões do carro, devem permitir que todas as ferramentas associadas ao mesmo tenham um lugar no tabuleiro.

-As rodas dos carros devem ser ESD (todas giratórias).

- A cor deve ser cinza.

Tabuleiros:

-Encaixam no carro, podendo ser removidos ou inseridos.

-As ferramentas devem estar encaixadas nos tabuleiros.

-Os tabuleiros têm pegas que permitem a sua remoção/inserção do carro.

-Fundo vermelho.

-Camada superior em branco (camada que contém os recortes).

- Ao pé de cada útil deve estar a posição a que pertence (chapa dentro do nylon)

Carro maior:

Nome: R6

Carro menor (elevatório):

Nome: R2

-Deve ter um mecanismo elevatório, que deve ser acessível de forma ergonómica.

-Depois de elevado o carro deve atingir a altura de 950mm.

-Deve ter uma prateleira para os úteis (pratos).

-A prateleira depois de o carro atingir a posição com altura de 950mm de altura deve atingir 500mm do chão.

-Rodas embutidas para não bater nas rodas do carrinho grande.

ANEXO D

Sparguetti Diagram Situação Inicial.



Sparguetti Diagram Situação Final.



Nota: Setas a cor de laranja correspondem as operações internas, setas azuis a operações externas.

ANEXO E



ANEXO F

Frequência de ocorrência do erro	Frequência	F
Acidental	1 em cada 100 <i>changeover</i>	1
Muito baixa	1 em cada 50 <i>changeovers</i>	2
Baixa	1 em cada 20 <i>changeovers</i>	3
Moderada	1 em cada 10 <i>changeovers</i>	4 a 6
Elevada	1 em cada 2 <i>changeovers</i>	7 a 8
Muito elevada	Erro acontece sempre no <i>changeovers</i> .	9 a 10

Gravidade	G
Erro não tem influência no tempo de <i>changeover</i> .	1
Erro tem pouca influencia no <i>changeover</i> .	2-3
Erro tem uma influência notável no tempo de <i>changeover</i> .	4-6
Erro tem uma grande influencia no tempo de <i>changeover</i> .	7-8
Erro tem grande influência no tempo de <i>changeover</i> .	9-10

Detetabilidade	Probabilidade de descobrir um erro antes do <i>changeove</i> .	P
Muito alta	Problema pode ser facilmente detetado antes do <i>changeover</i> começar.	1-2
Alta	Problema pode ser detetado antes do <i>changeover</i> , mas vai criar um atraso ligeiro.	3-4
Moderada	Problema pode ser detetado antes do <i>changeover</i> , mas vai criar um atraso.	5-6
Baixa	Probabilidade de descobrir o problema antes de o <i>changeover</i> começar é quase impossível	7-8
Muito baixa	Problema só pode ser descoberto durante o <i>changeover</i> .	9-10

ANEXO G

