

Otimização do Fluxo de Produção em Linha de Montagem

Manuel Pedro Rodrigues Urbano Fernandes de Carvalho

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Mário Amorim Lopes

Orientador na Empresa: Eng. José Cavaleiro



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2019-01 -28

À Família

Resumo

O desenvolvimento do projeto apresentado consiste na análise do fluxo de produção em linha de montagem de um fabricante de componentes do setor automóvel (sistema de transmissão automática de velocidades), visando a respetiva melhoria.

Na primeira fase do trabalho desenvolvido procedeu-se à observação do processo de montagem da linha em estudo.

Com base nos princípios da filosofia *Lean* procedeu-se à identificação dos desperdícios na linha de produção e, posteriormente, à definição das ações necessárias à redução ou eliminação de tais desperdícios.

No âmbito do projeto desenvolvido implementaram-se variadas ações de melhoria, entre as quais se destaca a análise do desempenho das estações críticas identificadas e as alterações de procedimentos nas mesmas, as quais, combinadas com a imediata padronização, possibilitaram uma redução da variabilidade do processo e uma consequente melhoria do fluxo.

Em todas as ações implementadas foi adotada a metodologia PDCA (Plan - Do- Check- Act), visando-se sempre consolidar as melhorias alcançadas através da padronização dos processos associados.

Improvement of the production flow in an assembly line

Abstract

This project is about the analysis of the production of an assembly line of an enterprise of components of the automobile sector (automatic speed transmission system) and its improvement.

In the first part of the work, we observed the assembly line process.

Based on the principles of the Lean philosophy, we identified the waste in the production line and later the necessary actions to reduce or eliminate such waste.

Within the aim of the project, we implemented many improvement actions, such as the analysis of the performance of the identified critical stations and the changes in their procedures, which combined with the immediate standardization, enabled a reduction in the variability of the process and a consequent flow improvement.

In all the actions we implemented, the PDCA (Plan - Do - Check - Act) methodology was adopted, always with the aim to consolidate the improvements achieved through the standardization of the associated processes.

Agradecimentos

Com a finalização desta dissertação, não posso deixar de agradecer a algumas pessoas que, direta ou indiretamente, me ajudaram nesta caminhada tão importante da minha vida pessoal e profissional.

Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos a todos os elementos do Grupo “*Preh Portugal, Lda.*”, que me acolheram durante o período de estágio e que me transmitiram, a todos os níveis, muitos ensinamentos. Destaco os Engenheiros José Cavaleiro e César Castro pela orientação prestada, pelo incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstraram.

Queria também agradecer ao Professor Mário Amorim Lopes pela sua disponibilidade durante a elaboração da presente dissertação.

Ao Corpo Docente e Não Docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que fizeram parte do meu percurso académico e que, das mais variadas formas, contribuíram para a minha formação, quer a nível pessoal, quer a nível académico e profissional.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha família pelo apoio incondicional prestado e por terem acreditado sempre no meu esforço e no meu empenho.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Projeto BTM na “Preh Portugal, Lda.”	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto.....	3
2	Enquadramento Teórico	4
2.1	“Toyota Production System” – Lean.....	4
2.2	Princípios da filosofia Lean	5
2.3	Os três M's.....	6
2.4	Ferramentas Lean.....	8
2.4.1	Metodologia 5S	8
2.4.2	PDCA	9
2.4.3	Standard Work.....	10
2.4.4	Poka-Yoke.....	11
2.4.5	Balaceamento	12
2.4.6	Takt Time	12
2.4.7	OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	13
3	Descrição e análise do estado inicial do processo produtivo.....	14
3.1	Descrição do produto	14
3.2	Layout inicial	15
3.3	Postos de Trabalho e Bordos de Linha	17
3.4	Diagnóstico da linha de produção	17
3.4.1	Takt Time e Tempo de Ciclo necessário	17
3.4.2	Tempos de Ciclo iniciais	18
3.4.3	Eficiência do balanceamento inicial	19
3.4.4	Rejeição de peças	20
3.4.5	Paragens	21
3.4.6	OEE inicial	23
3.5	Edição SWI	23
4	Apresentação das ações desenvolvidas	25
4.1	Melhoria do desempenho.....	25
4.1.1	OP 265.....	25
4.1.2	Estação de lubrificação	26
4.1.3	OP 290.....	27
4.1.4	Processo de rastreabilidade.....	28
4.1.5	OP 240 / OP 110.....	28
4.1.6	Estações de aparafusamento	29
4.1.7	Máquina de colagem SWI	30
4.2	Melhoria da qualidade.....	31
4.2.1	Aparafusamento OP 290.....	31
4.2.2	Película protetora KB.....	31
4.2.3	Tabuleiro de aperto.....	32
4.3	Postos de trabalho e Bordos de linha	32
4.4	Padronização do trabalho	33
4.5	Reformulação do Layout.....	34
4.6	Análise das ações desenvolvidas	35
4.6.1	Parâmetros após ações de melhoria	35
4.6.2	OEE Atual	37

5	Conclusões	38
	Referências	40
	ANEXO A: Layout Inicial	41
	ANEXO B: Instrução de trabalho OP 140	42
	ANEXO C: Lista de confirmação OP 140	43
	ANEXO D: Proposta Final do Layout.....	44
	ANEXO E: Suporte do Bordo de Linha OP 70.....	45

Índice de Figuras

Figura 1- "Casa TPS"	5
Figura 2- Princípios Lean	6
Figura 3- Ciclo PDCA	10
Figura 4- Exemplo de sistema Poka-Yoke	11
Figura 5- Classificações OEE.....	13
Figura 6 - Peça final.....	14
Figura 7 - Subgrupo GS.....	15
Figura 8 - Subgrupo KB	15
Figura 9 - Subgrupo BM.....	16
Figura 10 - Tempos de ciclo	18
Figura 11 - Diagrama de precedências versão ativa	19
Figura 12 - Diagrama de precedências versão passiva	20
Figura 13 - Diagrama de Pareto Rejeição de peças	21
Figura 14 - Diagrama de Pareto Paragens da linha.....	22
Figura 15 - Diagrama de precedências Edição SWI.....	24
Figura 16 - Decomposição das tarefas OP 265.....	25
Figura 17 - OP 262	26
Figura 18 - OP 02 atual.....	27
Figura 19 - Decomposição das tarefas OP 290.....	27
Figura 20 - OP 290 antes e depois da ação de melhoria	28
Figura 21 - Dispensador automático de etiquetas.....	28
Figura 22 - Máscara de aparafusamento OP 110 e "gauge" da OP 240	29
Figura 23- Controlador de aparafusamento	30
Figura 24 - OP 140	30
Figura 25 - Película protetora KB.....	31
Figura 26 - Processo de calcagem antes e depois de ação de melhoria.....	32
Figura 27 - OP 240 atual.....	33
Figura 28 - Suporte com bolsa para objetos pessoais	33
Figura 29 - Tempos de ciclo atuais.....	35

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros para o cálculo do Takt Time	17
Tabela 2 - Parâmetros para o cálculo do índice de disponibilidade	22
Tabela 3 - Tempos de ciclo OP 02.....	26
Tabela 4 - Comparação entre a situação inicial e atual	37

1 Introdução

No âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – ramo Gestão da Produção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto foi realizada a presente tese, a qual versa sobre a melhoria do fluxo de produção em linha de montagem.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O projeto apresentado foi realizado em ambiente de trabalho nas instalações da “*Preh Portugal, Lda.*”, visando uma melhoria do processo produtivo de um sistema de transmissão automática de velocidades. Através da utilização da metodologia e das ferramentas *Lean*, foram analisados os processos inerentes à linha de montagem em estudo que se encontrava em início de produção em série. O trabalho desenvolvido teve como objetivo principal a redução ou eliminação dos desperdícios existentes e, conseqüentemente, o aumento do grau de satisfação do cliente.

1.2 O Projeto BTM na “*Preh Portugal, Lda.*”

O “*Grupo Preh*” tem sido sinónimo de inovação técnica e flexibilidade de médio porte desde 1919. Começou como especialista em rádio e, posteriormente, na televisão eletrónica. Ao longo dos anos, o Grupo empresarial tem vindo a desenvolver-se e a apostar no seu crescimento, sendo hoje reconhecido como um fornecedor global e procurado como uma OEM (Original Equipment Manufacturer) no mercado automóvel. A empresa inicial foi fundada no dia 11 de março de 1919 por Jakob Preh com o nome da empresa “*Jakob Preh jun*”, em Bad Neustadt ad Saale, na Alemanha. Em 1988, a “*Preh*” entrou na indústria automóvel, na qual, até 1993, lançou diversos produtos para este mercado, tais como, sistemas de aquecimento e ar condicionado, unidades de controlo para computadores de bordo e sensores potenciométricos para controlo de aceleração. Desde 2016 até hoje, o “*Grupo Preh*” tem investido na inovação, sendo realçadas novas soluções na e-mobilidade, rede e desenvolvimento. Em 2016, o “*Grupo Preh*” assumiu a “*Technisat Automotive*” (atualmente “*Preh Car Connect*”), expandindo seu portfólio de competências com sistemas de navegação e soluções de conectividade. Hoje, os produtos do “*Grupo Preh*” são fabricados em três continentes. O processo de desenvolvimento de produtos é organizado em todo o mundo de acordo com etapas padronizadas do processo. O “*Grupo Preh*” pode ser distinguido entre a “*Preh GmbH*” que se foca nas tecnologias *IHM* (Uma interface homem-máquina, painel que conecta uma pessoa a uma máquina) de veículos pessoais e comerciais, como também no conceito de e-mobility que tem estrutura física na Alemanha, em Portugal, nos Estados Unidos da América, no México, na Roménia, na Suécia e na China e ainda a “*Preh Car Connect*”, a qual engloba tecnologias de conectividade (sistemas de assistência em rede) e sintonizadores (software definido rádio telemática, navegação de serviços de dados e assistência ao condutor) que está presente na Alemanha e na Polónia.

A “*Preh Portugal, Lda.*” (PP) foi fundada na Trofa em 1969, sendo a primeira fábrica de eletromecânica criada fora da Alemanha e tendo iniciado a sua atividade na produção para a

“Grundig”, sediada em Braga. Em 1992, iniciou a produção de componentes electrónicos para a indústria automóvel, exportando mais de 99% da produção. Os seus grandes clientes são os maiores fabricantes mundiais de automóveis como a “BMW” (o mais significativo com cerca de um quarto do total das vendas), o Grupo “VW/Audi/Seat/Skoda”, a “GM/Opel/Vauxhall”, a “Daimler” e o Grupo “Sony/Ford”. O principal mercado da “Preh Portugal” é a União Europeia, na qual a Alemanha se destaca de outros países (Espanha, República Checa e Polónia). A “Preh Portugal” ocupa o primeiro lugar como unidade produtiva do grupo alemão na actividade, na produtividade e na competitividade, a nível global, dos produtos saídos da fábrica situada na Trofa. A “Preh Portugal” é uma empresa certificada em todas as operações da área do negócio automóvel pela norma ISSO TS 16949:2009 e em todas as operações da área do negócio de eletrónica pela norma ISSO 9001:2008. Foi das primeiras empresas a nível europeu a adquirir o certificado “Sony Greenpartner”. A filosofia *Lean* tem vindo a ser implementada na empresa, o que contribui, de facto, para a sistemática eliminação do desperdício e criação de valor, de que beneficiam todos os que, direta ou indiretamente, se servem dos seus produtos inovadores e serviços de excelência. A melhoria contínua do Sistema de Gestão da Qualidade é um dos grandes compromissos desta empresa, sendo que os objetivos principais são: clientes satisfeitos; produtos e serviços de grande qualidade; colaboradores empenhados e motivados; integração harmoniosa na sociedade e no ambiente e fornecedores integrados.

1.3 Objetivos do projeto

O estágio curricular na “Preh Portugal, Lda.” teve como objetivo primordial a consolidação da formação académica em contexto laboral no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e o aprofundamento de conhecimentos na área de produção e equipamentos mecânicos, com uma abordagem exploratória com o intuito de melhoria dos processos relacionados à mesma, de forma a haver uma melhoria no fluxo de produção em linha de montagem.

O estágio foi realizado no Departamento de Engenharia do Processo e Automatização, o qual é responsável pela criação, modificação e controlo de todos os processos associados às várias áreas produtivas da empresa.

De forma a alcançar uma melhoria do fluxo de produção na linha de montagem foram estabelecidas diversas metas.

Uma meta inicial analítica que passou pela realização de uma análise do estado inicial do processo produtivo, de forma a ser possível a elaboração de um diagnóstico da linha de produção, destacando-se a identificação do *Takt Time*, do tempo de ciclo necessário, da eficiência do balanceamento inicial, da rejeição de peças, das paragens e do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), bem como a identificação e o estudo dos postos críticos.

Após a análise desenvolvida, foram apresentadas ações de melhoria (meta intermédia), tendo em conta a metodologia *Lean* a qual é usada pela “Preh Portugal” de forma a assegurar a qualidade. Estas ações foram implementadas ao nível dos Postos de trabalho e Bordos de Linha, da Padronização do trabalho e da Reformulação do *Layout*.

A meta final foi a análise das ações desenvolvidas, visando a melhoria do fluxo de produção.

1.4 Método seguido no projeto

Este projeto teve início com a observação do processo de montagem da linha de produção em estudo, com o objetivo de compreender as várias etapas que o constituem e de identificar os desperdícios associados.

Tendo em consideração os princípios da filosofia *Lean* procedeu-se então à identificação dos desperdícios na linha de produção e, posteriormente, com o auxílio das ferramentas *Lean*, à definição das ações necessárias à redução ou eliminação de tais desperdícios.

Posteriormente, foi efetuada a análise dos aspetos que restringem o fluxo de produção.

No âmbito do projeto desenvolvido implementaram-se variadas ações de melhoria.

Em todas estas ações foi adotada a metodologia PDCA (Plan - Do- Check- Act), visando-se sempre consolidar as melhorias alcançadas através da padronização dos processos associados.

Assim, de modo a quantificar a melhoria do fluxo de produção, procedeu-se à comparação da eficiência do balanceamento e da capacidade produtiva das linhas de produção atuais e iniciais (versões ativas e versões passivas).

Por fim, procedeu-se à avaliação dos resultados alcançados através da implementação das ferramentas programadas.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, sendo o primeiro dos mesmos destinado ao enquadramento do projeto e motivação, à apresentação do projeto e da empresa, aos objetivos prosseguidos e à indicação do método adotado.

No segundo capítulo é efetuado o enquadramento teórico da dissertação, enunciando-se a “*Toyota Production System - Lean*” e os princípios da filosofia *Lean*, destacando-se as respetivas ferramentas no âmbito da análise do fluxo de produção.

No terceiro capítulo é realizada a descrição e a análise do estado inicial do processo produtivo, sendo destacado o diagnóstico da linha de produção.

O quarto capítulo aborda as ações de melhoria desenvolvidas, as quais visaram a melhoria do desempenho e a melhoria da qualidade, destacando-se, entre outros, os postos de trabalho e os bordos de linha, a padronização do trabalho e a reformulação do *Layout*.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões sobre o impacto das ações de melhoria implementadas ao longo do projeto desenvolvido, sendo efetuadas ainda propostas de trabalho futuro.

2 Enquadramento Teórico

Embora os primeiros automóveis tenham surgido no final do século XVIII, com a criação do motor a vapor, é considerado que o início da indústria automóvel teve lugar no final do século XIX com o desenvolvimento do motor a gasolina. Nesta fase inicial, os fabricantes traduziam-se em pequenas oficinas, produzindo, de um modo muito artesanal, automóveis personalizados. Este método de fabrico gerava elevados tempos de espera para o cliente e tinha grandes custos associados, levando a que a maioria dos fabricantes abandonasse este negócio pouco tempo depois do seu início.

No início do século XX, Henry Ford desenvolve a técnica de produção em massa, revolucionando totalmente a indústria. Com a implementação de uma linha de montagem com fluxo contínuo, Ford conseguiu reduzir drasticamente os custos de produção por unidade. Contudo, o cliente ficou extremamente limitado nas suas opções de escolha.

Após o final da Segunda Guerra Mundial, a indústria japonesa enfrentava grandes dificuldades pois tinha uma produtividade muito baixa e uma enorme carência de recursos, o que a impedia de adotar o modelo de produção em massa. De maneira a combater estas adversidades, a “*Toyota*” revolucionou a indústria mundial criando o “*Toyota Production System*” (TPS). Este sistema consistiu na combinação da produção em massa com a procura de satisfazer o cliente, oferecendo maior variedade de produtos e tendo como principal foco eliminar todo o desperdício.

2.1 “*Toyota Production System*” - *Lean*

Em 1996, no livro “*The machine that changed the world*”, James Womack utiliza pela primeira vez o termo produção “*Lean*”, quando descreve a revolução que se deu na indústria devido ao desenvolvimento do “*Toyota Production System*” (TPS). O TPS, criado por Taichii Ohno (1988), foca-se em fornecer a melhor qualidade, ao menor custo com o “*lead time*” (prazo de entrega) mais curto.

Para realizar estes objetivos, Taichii Ohno cria uma filosofia de produção com base na eliminação absoluta do desperdício. Este sistema de produção está assente sobre dois pilares, “*Just-in-Time*” e “*Jidoka*”.

“*Just-in-Time*” (JIT) define-se como um processo que tem como função reduzir o excesso de inventário, produzindo apenas o necessário. “*A quantidade certa na hora certa*” (Pinto, 2009).

O segundo pilar do TPS, “*Jidoka*” pode ser definido como a automatização inteligente das máquinas. Este sistema fornece ao processo a habilidade de detetar erros na produção instantaneamente, sem a necessidade de monitorização de um operador. Como consequência, é possível eliminar as causas raiz dos defeitos e evitar a necessidade de haver um operador a controlar a máquina, tarefa que não acrescenta valor ao processo. Este sistema de produção é conservado e melhorado através da correlação entre nivelamento de produção (*Heijunka*), trabalho padronizado e melhoria contínua (*Kaizen*). A interligação destes conceitos pode ser observada na Figura 1, denominada de “*Casa TPS*”.

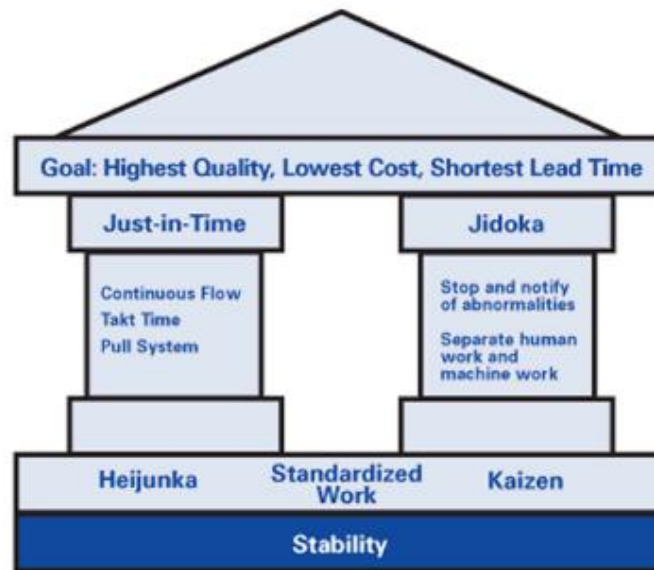


Figura 1- “Casa TPS”

Graças à implementação deste sistema, a “*Toyota Motors Corporation*” tornou-se numa referência mundial na indústria da produção. Em 2007, é comprovada a total eficácia da produção *lean* quando aquela consegue ultrapassar a “*General Motors*”, empresa classificada como a melhor do setor automóvel desde 1930. Este sistema, inicialmente aplicado apenas na área automóvel, é hoje utilizado em diversos outros tipos de indústria, sendo essencial para uma empresa se manter competitiva.

2.2 Princípios da filosofia *Lean*

James Womack e Dan Jones são os autores de o livro “*Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*”, considerado por alguns a bíblia da produção *Lean*.

“Truly remarkable... The most comprehensive, instrutive, mind-streching and provocative analysis of any major industry I have ever known.” – Philip Caldwell, CEO (Diretor Executivo) da “*Ford*” entre 1980 e 1985.

Na sua obra, os autores identificam cinco princípios básicos da filosofia *Lean*. Estes princípios formam um ciclo de melhoria contínua, demonstrado na figura 2, que visa não só a redução do desperdício envolvido no processo, como também o aumento do grau de satisfação do cliente. Estes princípios são os seguintes:

- 1) Especificar os valores - Valor consiste nas características perceptíveis ao cliente, que cada produto ou serviço proporciona. É com base nestas características, como preço, qualidade e prazo de entrega, que o cliente toma a decisão de adquirir um certo produto. Desta forma, a identificação do valor de um produto específico pode ser considerada o ponto de partida do pensamento *Lean*.

- 2) Identificar a cadeia de valor - Este princípio consiste em identificar todas as atividades que geram valor. Para tal, é fundamental mapear todo o percurso do produto, sendo então possível identificar e eliminar o desperdício no processo produtivo.
- 3) Fluxo - A criação de um fluxo contínuo de materiais, informação e serviços, é um princípio chave para um processo ser flexível e eficiente. Este fluxo tem como objetivo percorrer toda a cadeia de valor e sincronizar todos os meios envolvidos, de forma a minimizar interrupções no processo e a existência de lotes entre as diferentes atividades.
- 4) Sistema *Pull* - Estando implementado um fluxo contínuo, o tempo total que o produto leva a chegar ao cliente desce drasticamente. Com estas condições é possível adotar um sistema *Pull*, onde apenas se inicia a produção quando já está realizada a encomenda por parte do cliente. Deste modo, há uma grande diminuição no tamanho dos inventários e dos seus custos associados.
- 5) Perfeição - Após a implementação dos quatro princípios anteriores, especificar o valor do produto a partir do cliente, identificar a cadeia de valor como um todo, fazer com que o fluxo de valor flua e com que os clientes “puxem” o valor da empresa, a produtividade aumenta e os custos diminuem. Ao intensificar a aplicação dos quatro princípios de forma contínua, são encontrados novos desperdícios e novos obstáculos ao fluxo de valor, criando-se oportunidades de melhoria e permitindo a sua eliminação. Trata-se de um processo contínuo de aumento de eficiência e eficácia, em busca da perfeição. A interligação destes princípios é demonstrada na Figura 2.



Figura 2- Princípios Lean

2.3 Os três M's

Na filosofia *Lean* é crucial que haja uma correta identificação e quantificação do desperdício. O “*Toyota Production System*” desenvolveu o seu sistema de produção combatendo três grandes inimigos do *Lean*: *Muda* (Desperdício), *Muri* (Sobrecarga) e *Mura* (Variabilidade) (Liker, 2004).

1. *Muda* (Desperdício) – Refere-se a todas as atividades que não acrescentam valor ao produto, restringindo o fluxo da empresa e, conseqüentemente, levando a tempos de espera elevados e a muitos custos associados. Originalmente, Ohno (1988) definiu sete tipos de

desperdício: defeitos, sobreprodução, tempos de espera, transporte, inventário, movimento e processamento. Com o passar do tempo, foi reconhecido um oitavo tipo de desperdício (Liker, 2004).

- **Defeitos.** Refere-se a produtos ou serviços que avançam para a tarefa seguinte e que não estão de acordo com as especificações do cliente. Os problemas de qualidade ou da não conformidade dos produtos, para além de criarem incertezas no processo, influenciam a capacidade de produção, podendo mesmo limitá-la. Produzir produtos defeituosos geralmente implica desperdício de materiais, disponibilidade de mão-de-obra, disponibilidade de equipamentos, movimentações desnecessárias, armazenamento de materiais defeituosos, inspeção de produtos, assim como reclamações dos clientes. Algumas das soluções para combater este desperdício traduzem-se na criação de sistemas anti-erro, de sistemas de inspeção integrados no processo e de padronização da produção.
- **Sobreprodução.** Significa produzir em excesso, o que resulta num aumento de stock, entre o início e o fim do processo, acatando um aumento de custos desnecessários. As soluções para este desperdício passam por adotar um fluxo contínuo, identificando o *Takt Time* necessário (frequência de processamento total requerido de uma peça) e balancear os tempos de ciclo entre estações, assim como, a implementação de um sistema *Pull*.
- **Tempos de espera.** Refere-se a esperas de material, informação, pessoas ou equipamento. Estes tempos improdutivos não adicionam qualquer valor ao processo, pois restringem diretamente o fluxo de produção. Uma solução a adotar para eliminar este tipo de desperdício passa por balancear os tempos de ciclo entre estações, assegurando um fluxo contínuo. Outras medidas preventivas passam por uniformizar o processo e formar os trabalhadores em várias tarefas.
- **Transporte.** Corresponde à movimentação de materiais, pessoas e ferramentas para além do necessário. Embora seja indispensável, é um desperdício porque implica tempos que não acrescentam valor ao produto, tendo de ser reduzido ao máximo. Para diminuir a frequência e a distância entre cada deslocação, deve-se corrigir os *layouts*, rever o planeamento da produção e otimizar os meios de transporte.
- **Inventário.** O excesso de inventário aumenta o custo do produto, pois implica mais espaço assim como mais mão-de-obra. Corresponde aos produtos e materiais que estão imóveis entre o início e o fim do processo. Este desperdício está diretamente relacionado com os tempos de espera, pois o produto está a aguardar ser processado. As medidas para eliminar este desperdício são a implementação de um fluxo contínuo e a adoção de um sistema *Pull*.
- **Movimento.** Refere-se a movimentos de pessoas e equipamentos que não acrescentam valor ao produto. As causas geralmente estão associadas a *layouts* inapropriados e a falta de formação dos operadores. De forma a combater estas movimentações desnecessárias, deve-se organizar devidamente o local de trabalho, tornando-o mais ergonómico e padronizar o trabalho.

- **Processamento.** Remete para a existência de operações extra que não acrescentam valor ao produto. Tais operações traduzem-se na adição de funcionalidades que não são requeridas pelo cliente, em análises excessivas, em equipamentos com precisões desnecessárias, em soluções de fabrico demasiadas complicadas, entre outras. O primeiro passo para reduzir este desperdício passa por conhecer verdadeiramente o que acrescenta valor ao produto do ponto de vista do cliente.
 - **Talento.** Corresponde a não se utilizar devidamente o potencial humano. Este desperdício ocorre, geralmente, devido à existência de uma separação entre a gerência e os operadores. De forma a otimizar os processos é crucial levar em consideração as sugestões dos operadores, uma vez que são eles que estão mais próximos da linha. É também fundamental que haja uma boa formação dos operadores e um ambiente que impulse o uso do talento disponível.
2. *Muri* (Sobrecarga) – Ocorre quando os operadores e os equipamentos são usados para além dos seus limites naturais, provocando problemas no processo (Liker, 2004). A existência de sobrecarga pode levar a avarias graves nas máquinas e a absentismo por parte dos trabalhadores, diminuindo a capacidade da linha de produção assim como a qualidade do produto. De forma a controlar o bom desempenho das máquinas devem ser implementados sistemas de manutenção preventivos e autónomos. Quanto aos operadores, as soluções passam por padronizar as tarefas a realizar e criar um local de trabalho ergonómico e seguro. Algumas das causas da sobrecarga são as seguintes:
- Falta de formação dos operadores;
 - Locais de trabalho pouco ergonómicos;
 - Falta de ferramentas e equipamento;
 - Falta de manutenção dos equipamentos;
 - Variabilidade no processo.
3. *Mura* (Variabilidade) – Pode ser encontrada devido a flutuações na procura e variações dos tempos de ciclo, dependendo da referência ou do operador. A variabilidade vai gerar sempre degradação no processo produtivo (Hopp & Spearman, 2000). Os efeitos da variabilidade no volume de produção geram sobrecarga nos operadores e stocks entre operações. As principais ações a tomar são otimizar o balanceamento dos tempos de ciclo entre estações e padronizar o trabalho.

2.4 Ferramentas *Lean*

2.4.1 Metodologia 5S

Esta metodologia surgiu no Japão com o objetivo de proporcionar um ambiente de trabalho adequado, visando reduzir o desperdício e, conseqüentemente, aumentar os níveis de produtividade. Para atingir estes objetivos, os *5S* focam-se na organização do local de trabalho e na padronização dos processos implementados. A sigla *5S* corresponde às iniciais de cinco palavras japonesas, referentes a cada fase desta metodologia:

- *Seiri* (Seleção) – Consiste em identificar e separar aquilo que é apenas necessário. Removendo ferramentas que não são usadas para uma dada tarefa do local de trabalho, liberta-se espaço e o ambiente torna-se mais confortável e fácil de limpar.
- *Seiton* (Arrumação) – Todas as ferramentas devem ter um local devidamente designado para serem arrumadas. Após serem identificadas as ferramentas necessárias para a tarefa a realizar, estas devem estar num local de rápida identificação e de fácil acesso.
- *Seiso* (Limpeza) – Uma limpeza regular permite identificar e eliminar as fontes de sujidade, mantendo o local de trabalho limpo. Nestas condições, há uma grande diminuição do risco de acidentes, os equipamentos são preservados e torna-se muito mais fácil atingir boa qualidade no produto.
- *Seiketsu* (Padronizar) – Após as três fases anteriores estarem completadas, é necessário garantir que estas estão a funcionar corretamente. Para isso, são criados standards dos procedimentos, tornando o processo de deteção de desvios ou de funcionamento irregular muito mais rápido e acessível.
- *Shitsuke* (Disciplinar) – Consiste em converter em rotina as melhorias alcançadas nas fases anteriores. O quinto *S* incentiva a uma filosofia de melhoria contínua, com base no compromisso de autodisciplina de todos os integrantes.

2.4.2 PDCA

O ciclo *PDCA* (*plan-do-check-act*) é um modelo vastamente conhecido para o propósito de melhoria contínua dos processos. O ciclo *PDCA* é também conhecido por dois outros nomes: o ciclo de *Shewhart* e o ciclo de *Deming*.

Walter A. Shewhart identificou em 1939, pela primeira vez, o conceito *PDCA* no seu livro *Statistical Method From the Viewpoint of Quality Control*. Nele é descrito que a estrutura *PDCA* provem da noção de constante avaliação do processo, assim como da vontade de adotar ou descartar ideias, dependendo se são devidamente fundamentadas.

Contudo, este método somente foi popularizado na década de cinquenta do século passado, pelo seu pupilo W. Edwards Deming, ficando mundialmente conhecido devido à sua aplicação nos conceitos de qualidade em trabalhos desenvolvidos no Japão. O *PDCA* é aplicado para o controlo e normalização dos mais diversos processos de forma a garantir a satisfação do cliente, sendo constituído pelas seguintes quatro etapas:

- **Plan** (Planear) – Nesta etapa identificam-se as causas dos problemas e é formado um plano de ações com o intuito de atingir os objetivos pretendidos.
- **Do** (Fazer) – Após ser realizado o plano de melhoria, segue-se a fase de implementação. Nesta etapa é crucial acompanhar todo este processo e reunir todos os dados relevantes.

- **Check** (Verificar) – Nesta etapa comparam-se os resultados obtidos com os que foram previamente planejados, determinando-se os desvios e identificando-se as suas origens.
- **Act** (Agir) – Com base no conhecimento obtido nas etapas anteriores, é fundamental atuar conforme os resultados alcançados. Se as medidas implementadas forem eficazes, procede-se à padronização de forma a garantir que são realizadas. Caso não sejam eficazes, recomeça-se o processo, planejando-se novas contramedidas para o problema em estudo.

À medida que as ações de melhoria são desenvolvidas, implementadas, verificadas e consolidadas a partir da padronização, a qualidade do produto aumenta significativamente. A utilização contínua do ciclo *PDCA* permite a passagem de um estado atual para um melhor estado futuro (Rother, 2010). Na Figura 3 está ilustrado o funcionamento do ciclo *PDCA*.

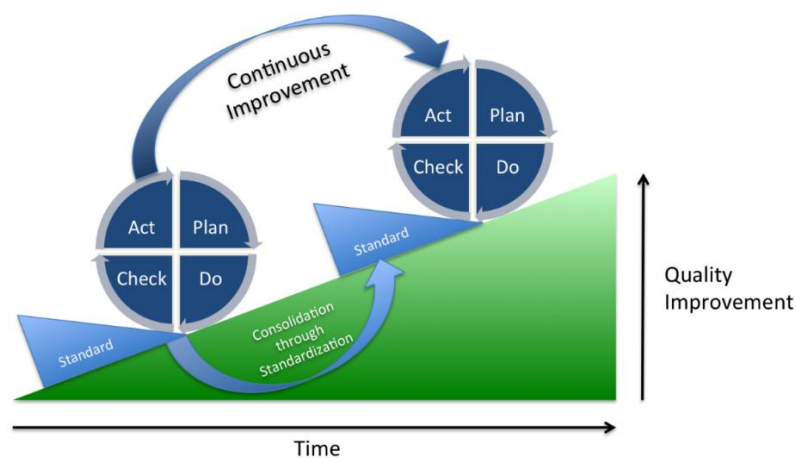


Figura 3- Ciclo PDCA

2.4.3 Standard Work

O trabalho padronizado (*Standard Work*) é uma ferramenta fundamental da filosofia *Lean* uma vez que é responsável pela uniformização das operações, promovendo um fluxo contínuo. Ao aplicar-se esta ferramenta nas atividades realizadas, materiais e equipamentos, diminui-se a variabilidade do processo. O *Standard Work* corresponde a um conjunto de regras e procedimentos que estabelecem os melhores e mais fiáveis métodos e sequências de trabalho para cada processo. Esta ferramenta é constituída por três elementos principais (Pinto, 2009):

- **Takt Time** – Corresponde à frequência com que um produto deve ser produzido, estando diretamente relacionado com a procura do cliente;
- **Sequência de produção** – Conjunto de operações a serem realizadas pelo operador, seguindo uma sequência devidamente predefinida;
- **Inventário em curso de fabrico** – Consiste na quantidade mínima de peças em circulação, de modo a garantir uma produção com um fluxo contínuo.

O *Standard Work* é fulcral na produção *Lean*, pois, como foi referido anteriormente, é a partir desta ferramenta que se consolida e garante o cumprimento das ações de melhoria implementadas, sendo essencial que seja constantemente atualizada. Com a padronização do trabalho atingem-se novos e melhores patamares na qualidade do produto final. De forma a que esta ferramenta funcione, os procedimentos a realizar devem estar devidamente documentados e disponíveis para todos os trabalhadores. A informação deve ser clara e concisa, garantindo a compreensão de todas as partes envolvidas. Adicionalmente, o *Standard Work* facilita a formação dos operadores, diminui os riscos de trabalho e introduz disciplina na cultura da empresa.

2.4.4 Poka-Yoke

Poka-Yoke é um termo japonês que se traduz em à prova de erro. Embora este conceito já existisse há bastante tempo, foi o engenheiro *Shigeo Shingo* que o desenvolveu numa poderosa ferramenta, cujo objetivo visado é alcançar zero defeitos no produto final e, eventualmente, eliminar inspeções de controlo de qualidade (Shimbun, 1989).

Considera-se esta ferramenta como um conjunto de técnicas e mecanismos que permitem prevenir, detetar e eliminar defeitos num processo, podendo ser aplicada, tanto à qualidade produtiva, como à segurança dos trabalhadores. Segundo Hirano (1989), os dispositivos *Poka-Yoke* podem ser subdivididos em três diferentes categorias, consoante as suas funções de controlo, de aviso ou de interrupção. Posteriormente, estes dispositivos podem ter a finalidade de prevenir potenciais defeitos ou de detetá-los após terem ocorrido. Alguns exemplos da aplicação deste conceito são:

- Sistemas de interrupção das máquinas, caso a peça esteja mal posicionada ou não esteja conforme a especificação;
- Sinais luminosos ou alarmes para informar possíveis ou já existentes defeitos na peça;
- Contadores nas máquinas de forma a garantir que todas as tarefas a realizar, no determinado posto de trabalho, são feitas;
- Medidas implementadas nas máquinas que obrigam o operador a realizar a tarefa corretamente, como métodos de encaixe á prova de erro. Na Figura 4 é demonstrado um exemplo deste tipo de medida.

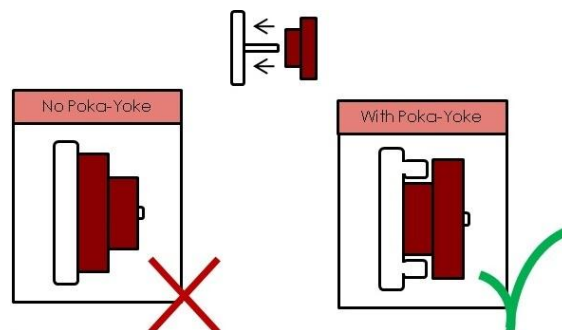


Figura 4- Exemplo de sistema Poka-Yoke

2.4.5 Balanceamento

Uma linha de produção é definida por um conjunto de postos de trabalho, cuja posição é fixa, obedecendo a sua sequência à lógica de montagem do produto. O balanceamento de uma linha de produção consiste em otimizar a distribuição das tarefas necessárias a serem realizadas, pelos vários postos de trabalho, de modo a minimizar os tempos mortos e os níveis de inventário entre estações. A eficiência será tanto mais elevada quanto mais próximos forem os tempos entre estações de trabalho. Para atingir este fim, recorre-se à análise e otimização do “gargalo” da linha, que corresponde à estação com maior tempo de ciclo. Esta estação é a que define a frequência de saída de um produto, da linha de produção. O processo de balancear uma linha apresenta-se genericamente numa das seguintes alternativas:

- Tendo um tempo de ciclo estipulado, encontrar o número mínimo de postos de trabalho necessários.
- Tendo um número de postos de trabalho fixo, determinar o tempo de ciclo mínimo possível.

De modo a calcular a eficiência do balanceamento de uma linha recorre-se à Equação 2.1.

$$\varepsilon = \frac{1}{N \times T_c} \times \sum t_i \quad (2.1)$$

Onde:

ε é a eficiência do balanceamento da linha

N é o número de postos existentes na linha

T_c é o tempo de ciclo da linha, e

$\sum t_i$ é a soma dos tempos de ciclo dos N postos de trabalho da linha

2.4.6 Takt Time

O termo *Takt Time* deriva da palavra alemã “*takt*” que serve para designar o compasso de uma obra musical. Este conceito foi introduzido no Japão, nos anos 30, com o sentido de “ritmo de produção” (Shook, 1998). Na indústria este termo é utilizado para definir a frequência com que uma peça tem que ser produzida, sendo um dos pontos fundamentais na produção *Lean*. O *Takt Time* é calculado a partir do quociente entre o tempo disponível de produção e a procura do cliente, como pode ser observado na Equação 2.2.

$$TT = \frac{TDP}{PC} \quad (2.2)$$

Onde:

TT é o *Takt Time*

TDP é tempo disponível de produção, e

PC é a procura do cliente

2.4.7 OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Um dos principais indicadores da *performance* de uma linha de produção ou de um equipamento é o *OEE (Overall Equipment Effectiveness)*. O *OEE* identifica percentualmente o aproveitamento real do tempo de produção disponível. Este indicador é de grande utilidade pois permite comparar não só a performance existente em relação aos *standards* da indústria ou da própria empresa, como também permite avaliar ao longo do tempo o progresso desenvolvido. O cálculo do *OEE* corresponde ao produto de três indicadores, disponibilidade, desempenho e qualidade, na Equação 2.3 está representada a Equação resultante.

$$\text{OEE (\%)} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade} \quad (2.3)$$

Onde:

OEE é o *Overall Equipment Effectiveness*

Disponibilidade é a percentagem entre tempo real de produção e o tempo de produção planeado

Desempenho é a percentagem entre o tempo de ciclo planeado e o tempo de ciclo real

Qualidade é a percentagem entre as peças que passam pelo controlo de qualidade e as peças produzidas.

Um *OEE* igual a 100% representa uma produção perfeita, onde se produzem apenas peças boas, o mais rapidamente possível e sem tempos de paragem. Na Figura 5 são apresentados as classificações associadas ao intervalo de valores do *OEE*.



Figura 5- Classificações OEE

3 Descrição e análise do estado inicial do processo produtivo

3.1 Descrição do produto

O trabalho em causa foi realizado na linha “BTM”, que se dedica à produção de sistemas de transmissão automática de velocidades. Este produto possui variadas versões, sendo as mais genéricas as seguintes:

- Versão Ativa - Representa a versão destinada aos automóveis de gama mais alta do cliente e que, conseqüentemente, envolve um processo de produção mais complexo. Este produto é operado por teclas tácteis e possui a opção de uma edição “SWI” que incorpora acabamentos em cristal.
- Versão Passiva - Esta versão é um modelo mais standard, sendo o sistema de acionamento das teclas mecânico e tendo acabamentos de qualidade mais baixa em relação à Versão Ativa.

Sendo um sistema de transmissão automática de velocidades, é necessário haver versões esquerdas e direitas, consoante o lado do condutor no automóvel final. Este produto possui funcionalidades tais como a de desligar e ligar o veículo, a de controlo de tração, a de câmara traseira, a dos sensores de proximidade, a do sistema de “*Start and Stop*” e a do acionamento do travão de estacionamento. Também é possível seleccionar vários tipos de condução: “*Sport*”, “*Confort*”, “*Eco Pro*” e “*Adaptative*”. Adicionalmente, também existe a versão elétrica, na qual a alternativa dos tipos de condução são: “*Sport*”, “*Hybrid*” e “*Electric*”. Sendo dada ao cliente a opção de decidir várias combinações destas funcionalidades, é gerado um total de 48 referências finais de peças. Na Figura 6 é ilustrada uma das referências finais.

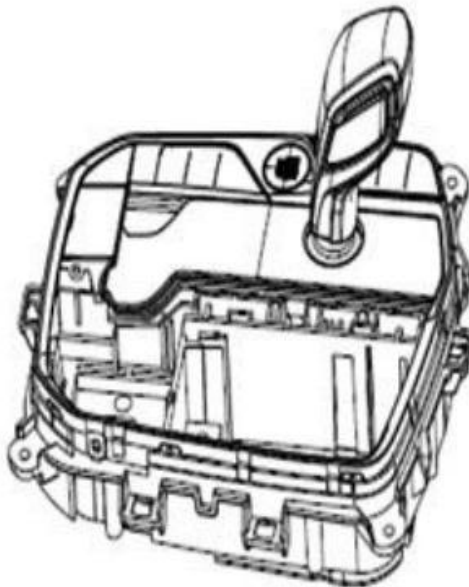


Figura 6 - Peça final

3.2 *Layout inicial*

O primeiro passo na análise do processo produtivo consistiu no estudo do *layout* da linha, de modo a conhecer o processo de montagem e as suas várias etapas. No anexo A está representado o *layout* inicial, verificando-se que a linha de montagem está dividida nos seguintes subgrupos:

- Estação de lubrificação (OP 02) – Esta estação é responsável por lubrificar 6 peças para a versão ativa e 8 peças para a versão passiva. Para o seu correto funcionamento são necessários dois operadores e esta estação é composta por um posto de entrada (*o input* da estação), por três módulos de lubrificação automática e por um posto de saída (*o output* da estação). As peças lubrificadas serão posteriormente transportadas para os devidos postos de montagem, respetivamente, a OP 200, a OP 240 e a OP 40/50.
- Subgrupo GS – Este subgrupo dedica-se à montagem do motor do sistema de transmissão de velocidades automática, demonstrado na Figura 7. É composto por quatro máquinas, cada uma funcionando com um operador. O processo inicia-se na OP 190 e, de seguida, a peça é transportada para a OP 175, sendo paralelamente na OP 200 montado outro conjunto. O processo é então finalizado na OP 210 com a montagem dos conjuntos da OP 175 e da OP 200. O GS integrará a linha principal de montagem na OP 265.

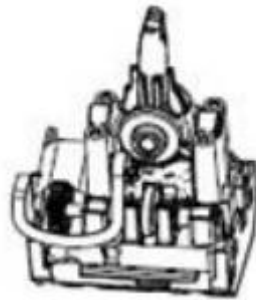


Figura 7 - Subgrupo GS

- Subgrupo KB – Este subgrupo é responsável por produzir a manete de velocidades do produto final, representada na Figura 8. É composto por apenas duas máquinas, sendo que o processo se inicia na OP 240 e é concluído na OP 250. Após o conjunto KB estar concluído, é integrado na linha principal de montagem na OP 280.



Figura 8 - Subgrupo KB

- Estação de colagem (OP 150) – Esta estação produz peças apenas para a versão ativa, sendo que a sua principal função é a de colagem de duas *metalsheets* a um componente que integrará a linha principal de montagem na OP 100. A OP 150 também efetua a colagem de dois outros componentes destinados apenas à edição *SWI*, referida anteriormente no capítulo 3.1. Estes componentes terão como destino a OP 240 e a OP 60.
- Linha principal de montagem – O processo de montagem inicia-se na OP 40/50, de seguida, a partir de um transportador, a peça é levada para a OP 60. No caso da referência em produção ser da versão ativa, é realizada paralelamente uma operação na OP 100, que, posteriormente, alimenta a OP 60. Para ambas as versões, a sequência de montagem seguinte consiste em passar pela OP 70 e, de seguida, pela OP 80. Quando a operação na OP 80 estiver finalizada, as referências passivas vão diretamente para a OP 110, tendo, porém, as referências das versões ativas de passar previamente pela OP 101. No final da estação OP 110 forma-se o conjunto denominado *BM*, demonstrado na Figura 9. Este conjunto, por razões de controlo de qualidade, vai para a estação Teste “*BM*”, para testar o funcionamento dos componentes eletrónicos da peça. Esta ação não estava inicialmente planeada e resultou num posto de trabalho, cuja localização é completamente desajustada do processo. Após a verificação estar concluída, a próxima estação é a OP 265, onde se procede à junção do conjunto *BM* com o conjunto *GS*. A estação seguinte, na sequência de montagem, é a OP 270 e, posteriormente, a OP 280, onde é inserido o conjunto *KB*. Por fim, a peça é concluída na OP 290.

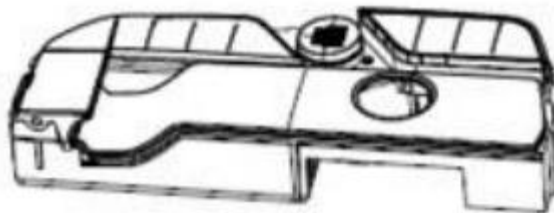


Figura 9 - Subgrupo *BM*

- Estações de teste – Antes das peças serem transportadas para os “Muros de qualidade”, onde é realizada a aprovação final do produto, as peças são submetidas a três estações de testes. Este processo é iniciado na *EOL (End of Line) 0.0*, sendo seguido na *EOL 0.1* e finalizado na estação automática *EOL*.

No espaço onde se situa o projeto “*BTM*” também se encontra o “Supermercado”, que representa a área onde se localiza o stock de componentes a partir da qual a linha de produção é abastecida e ainda a zona de “Recuperação”, que se dedica à recuperação das peças que não passam nas estações de teste. Adicionalmente, também está inserida no mesmo espaço uma linha de outro projeto.

3.3 Postos de Trabalho e Bordos de Linha

Numa primeira análise aos postos de trabalho (PT) e bordos de linha (BL), constatou-se que havia uma carência de ergonomia e algumas falhas funcionais. Em alguns PT a operação realizada é composta pela montagem de um número elevado de componentes, verificando-se nestes casos, principalmente, a falta de organização dos BL associados. Alguns dos componentes encontravam-se longe da área de valor acrescentado, obrigando o operador a movimentos difíceis e desnecessários, resultando no desperdício de movimento.

Também se verificou a existência de uma falta de controlo das quantidades disponíveis nos BL. Este controlo é realizado pelo próprio operador do PT, e, muitas vezes, é sinalizada a falta de material ao responsável por abastecer os BL, quando os componentes já acabaram, resultando tal falta em paragens na linha de produção. Adicionalmente, foi constatado que, em situações de mudança de referência, alguns BL não dispunham dos componentes necessários para produzir, em alguns casos, por falta de espaço disponível.

A linha “BTM” possui um operador dedicado ao abastecimento dos BL, que realiza todo o transporte de componentes provenientes do “supermercado”, peças lubrificadas e grande parte do transporte dos subgrupos previamente referidos no capítulo 3.2. Devido à desorganização encontrada, este operador é frequentemente sobrecarregado com pedidos, resultando em tempos de espera.

É fornecido aos operadores uma bolsa própria, para guardarem os seus objetos pessoais. Contudo, os postos de trabalho não dispunham de um local específico para a sua arrumação, sendo tal bolsa frequentemente encontrada em locais que restringiam o bom funcionamento da estação.

3.4 Diagnóstico da linha de produção

3.4.1 *Takt Time* e Tempo de Ciclo necessário

A linha em estudo foi desenvolvida de modo a satisfazer uma procura anual de 575 000 peças. Na Tabela 1, são demonstrados os parâmetros utilizados para calcular o *Takt Time* associado à linha “BTM”, representado na Equação 3.1.

Tabela 1 - Parâmetros para o cálculo do *Takt Time*

Número de turnos por dia	3
Procura anual do cliente (nº peças)	575 000
Tempo disponível por turno (minutos)	480
Número de dias por ano	250
Paragens (minutos/turno)	20
Limpeza (minutos/turno)	10

$$TT = \frac{TDP}{PC} = \frac{3 \times (480 - 20 - 10) \times 60}{\frac{575000}{250}} = \frac{81000}{2300} = 35,2 \text{ segundos} \quad (3.1)$$

No Grupo “Preh”, as linhas de produção são desenvolvidas com o intuito de atingir, pelo menos, um *OEE* de 85%, resultante de um índice de disponibilidade de 90% e uma taxa de rejeição de 5%, sendo um *standard* da empresa. O Tempo de Ciclo da linha de produção necessário é então calculado a partir da Equação 3.2.

$$TC = TT \times OEE = 35,2 \times 0,85 \approx 30 \text{ segundos} \quad (3.2)$$

3.4.2 Tempos de Ciclo iniciais

De modo a analisar a situação inicial da linha da montagem, no decorrer da primeira semana, foram recolhidos os tempos de ciclo dos vários postos de trabalho. Foram realizadas cronometragens dos vários processos para ambas as versões (versão ativa e versão passiva), nos dois primeiros turnos. Constatou-se a existência de alguma variabilidade nos tempos medidos, havendo uma clara diferenciação dos operadores mais experientes para os recém-chegados. Na Figura 10 estão representados os valores médios dos tempos obtidos.

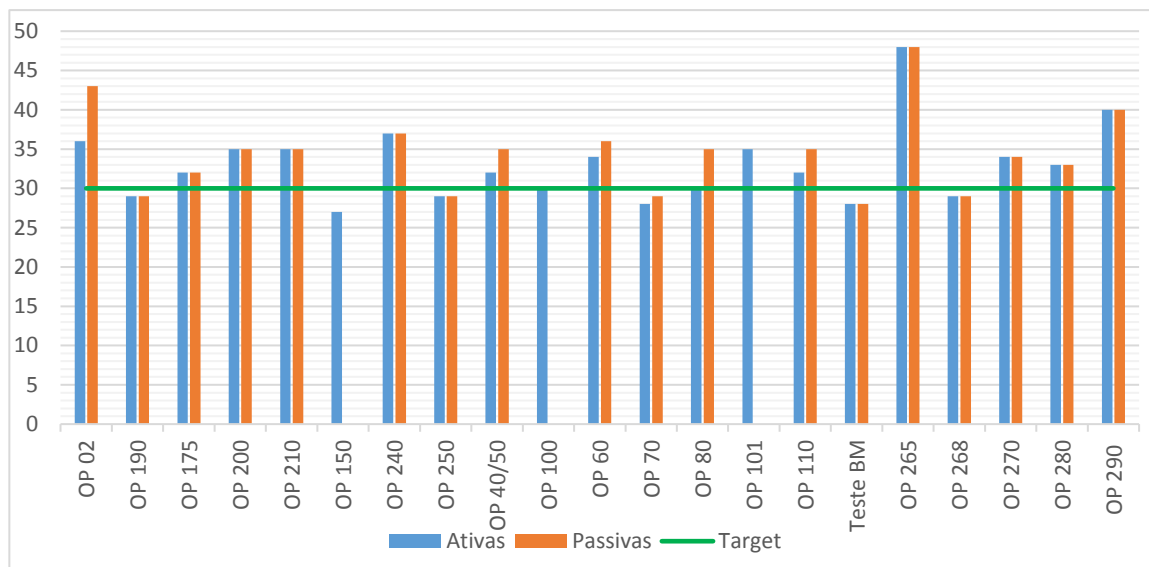


Figura 10 - Tempos de ciclo

A partir da análise dos dados recolhidos, constatou-se que o “*bottleneck*” da linha de montagem é a OP 265, com um valor de 48 segundos e que o tempo de ciclo da grande maioria das estações também se encontra fora de especificação.

Torna-se então possível calcular o índice de desempenho da linha de montagem, apresentado na Equação 3.3.

$$\text{Desempenho (\%)} = \frac{\text{TCP}}{\text{TCR}} \times 100 = \frac{30}{48} \times 100 = 62,5\% \quad (3.3)$$

3.4.3 Eficiência do balanceamento inicial

Após a medição dos tempos de ciclo, foi elaborado o diagrama de precedências para a versão ativa e para a versão passiva, representados nas Figuras 11 e 12, de modo a calcular e comparar a eficiência da linha de montagem para ambas as versões.

Os cálculos das eficiências estão demonstrados nas Equações 3.4 e 3.5.

- Versão Ativa

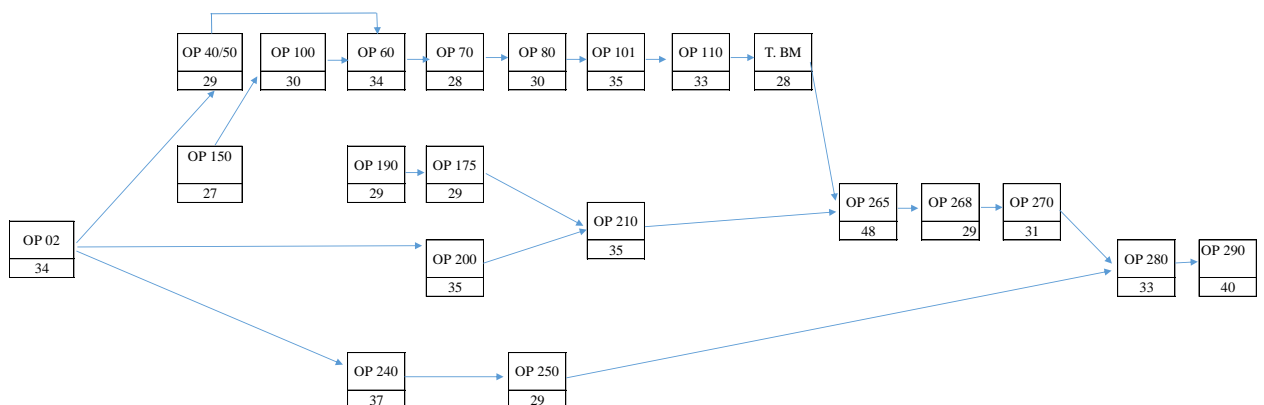


Figura 11 - Diagrama de precedências versão ativa

$$\varepsilon = \frac{\sum Ti}{N \times TC} = \frac{694}{1008} = 68,9\% \quad (3.4)$$

- Versão Passiva

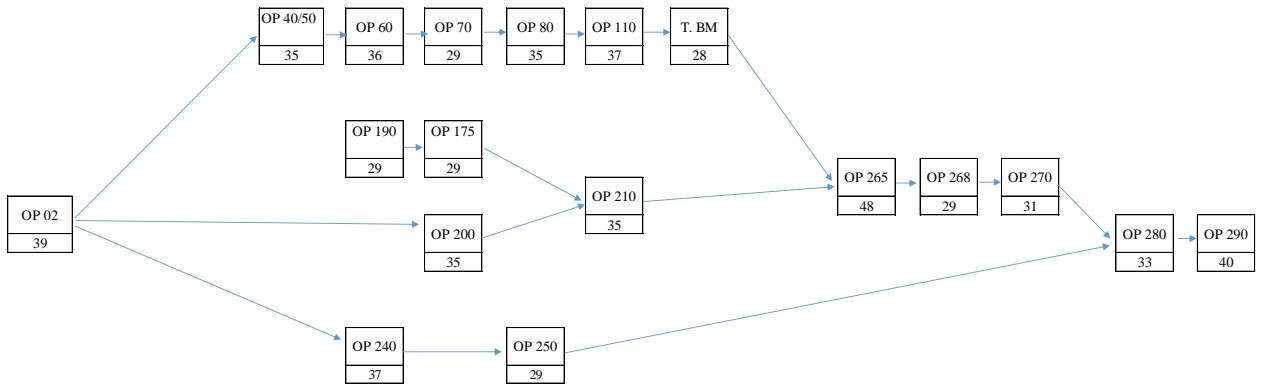


Figura 12 - Diagrama de precedências versão passiva

$$\varepsilon = \frac{\sum T_i}{N \times TC} = \frac{622}{864} = 72,0\% \quad (3.5)$$

A partir dos valores obtidos é possível afirmar a existência de um desequilíbrio na linha de montagem. Para ambas as versões, o valor obtido é muito similar, apresentando uma variação de cerca de 3%, sendo a eficiência do balanceamento para a versão ativa de 68,9% e de 72% para a versão passiva.

Esta situação inicial leva à existência de tempos de espera entre os postos de trabalho. A partir dos valores calculados na Equação 3.4 é possível observar que, na versão ativa, o tempo de valor acrescentado é de 694 segundos e o tempo despendido por peça é de 1008 segundos, resultando numa perda total de 314 segundos por peça.

3.4.4 Rejeição de peças

A linha “BTM” dispõe de um software que calcula em tempo real o índice de qualidade do processo. Este cálculo é efetuado a partir da razão entre as peças aceites nos “Muros de Qualidade”, com as peças finalizadas na estação OP 290. Foi realizada a compilação dos dados do mês de setembro de 2018 e verificou-se uma taxa de rejeição de 34%. De modo a identificar as causas desta elevada taxa, procedeu-se à recolha dos dados das estações de teste e dos “Muros de Qualidade”. O processo de controlo de qualidade dispõe de diversos testes onde é verificado se as peças estão dentro das especificações do cliente. Os defeitos constatados são subdivididos nos seguintes parâmetros:

- *HapticFeedback* – Referente ao excesso de oscilação das teclas, sendo as causas principais componentes fora de especificação;

- Acústico – Relacionado com o nível de ruído presente na peça, estando diretamente associado ao processo de lubrificação;
- *KeysMechanical* – Referente à força necessária de acionamento das teclas, assim como da manete de velocidades, estando as causas geralmente ligadas a excesso de torque nas estações de aparafusamento e molas fora de conformidade;
- *Mechanical* – Relacionado com a existência de folgas ou encravamentos na peça, tendo como causa principal um aparafusamento incorreto;
- Visão – Remete para defeitos visuais encontrados na peça, tais como riscos, manchas, irregularidades nos símbolos e falhas de iluminação. As causas gerais são falhas no processo de pintura, o *handling* dos componentes e a montagem dos condutores de luz;
- *Software/Elétrico* – Relacionado com o incorreto funcionamento do programa presente na peça, tendo como causas principais deficiências nos programas e danificações na placa eletrônica;

Com os dados recolhidos, foi construído um diagrama de Pareto, demonstrado na Figura 13. Pode-se constatar que o defeito com mais ocorrências é o *Mechanical*, apresentando um valor de 28,3%, seguido do defeito de *Software/Elétrico*, com um valor de 25,2% e do defeito de Visão com 17,2%.

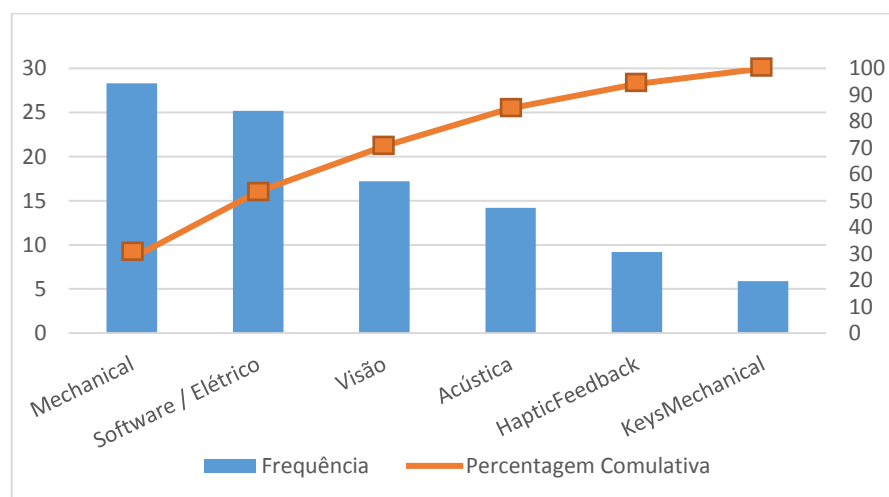


Figura 13 - Diagrama de Pareto Rejeição de peças

Como consequência desta elevada taxa de rejeição, a zona de recuperação está constantemente lotada de peças à espera de serem desmontadas, sendo necessário despender elevada mão-de-obra numa atividade que não acrescenta valor ao processo.

3.4.5 Paragens

Com o objetivo de identificar o tempo real de produção inicial foi realizada a recolha dos dados referentes às paragens de produção da linha. Nos vários postos de trabalho, em caso da ocorrência de uma paragem superior a cinco minutos, os operadores têm como obrigação introduzir no sistema a informação relativa à causa e ao tempo total perdido. Na Figura 14 está representado, num diagrama de Pareto, as causas que levam às paragens dos equipamentos da linha de produção.

Pode-se constatar que as duas principais causas de paragem são Avarias e *Starving*, apresentando valores de 46,8% e 30,5%, respetivamente.

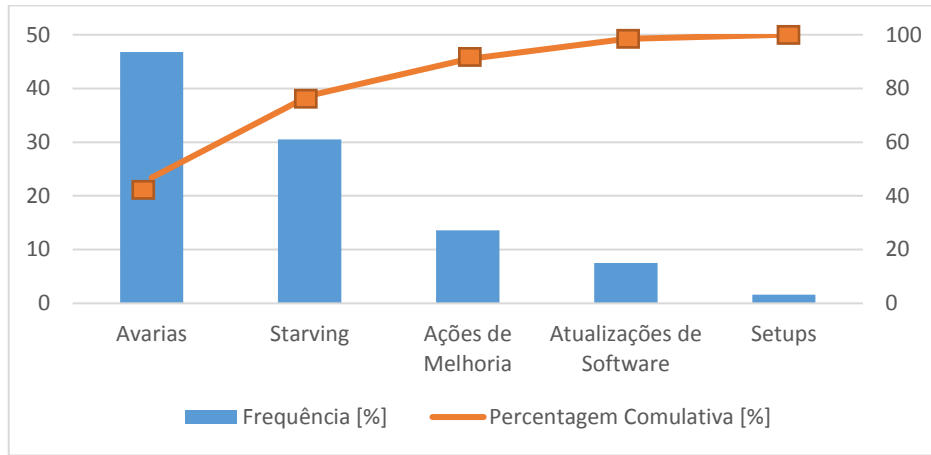


Figura 14 - Diagrama de Pareto Paragens da linha

De modo a quantificar o tempo total improdutivo da linha de produção, recorreu-se à análise do tempo que a OP 290 teve sem alimentar as estações de teste. Foram recolhidos os tempos de paragem do mês de setembro de 2018, perfazendo um total de 6180 minutos. A partir dos dados apresentados na Tabela 2, procedeu-se ao cálculo do índice de disponibilidade, demonstrado na Equação 3.6.

Tabela 2 - Parâmetros para o cálculo do índice de disponibilidade

Número de turnos por dia	3
Tempo disponível por turno (minutos)	480
Número de dias no mês de setembro	20
Tempo improdutivo do mês de setembro (minutos)	6180
Paragens (minutos/turno)	20
Limpeza (minutos/turno)	10

$$\text{Disponibilidade (\%)} = 1 - \frac{\text{TI}}{\text{TDP}} = 1 - \frac{6180}{3 \times (480 - 10 - 20) \times 20} = 77,1\% \quad (3.6)$$

Tendo-se identificado o tempo de ciclo real e calculado o índice de disponibilidade, procedeu-se ao cálculo da capacidade de produção anual, demonstrado na Equação 3.7.

$$\text{CPA} = \frac{\text{TDP} \times \text{Disp.}}{\text{TC}} = \frac{(3 \times 450 \times 60 \times 250) \times 0,771}{48} = 325265 \text{ peças} \quad (3.7)$$

Tendo em consideração que a procura anual ascende a 575000 peças e que o valor da capacidade de produção anual atinge apenas as 325265 peças, representando cerca de 56,6% daquela procura, é possível concluir que terão de ser implementadas ações de melhoria visando aumentar a capacidade de produção.

Na Equação 3.8 efetuou-se o cálculo do índice de capacidade de resposta à procura do cliente.

$$\text{ICR (\%)} = \frac{\text{CPA} \times \text{Qual.}}{\text{PC}} = \frac{325265 \times 66\%}{575000} = \frac{214674,9}{575000} = 37,3\% \quad (3.8)$$

Com base no cálculo da Equação 3.8 é possível constatar que a capacidade anual de peças boas (CRA) é de cerca de 214675, constituindo 37,3% da procura anual do cliente.

3.4.6 OEE inicial

Após a identificação dos índices de desempenho, qualidade e disponibilidade, e de forma a efetuou-se o cálculo do *OEE* associado à linha “*BTM*”. Na Equação 3.9 está demonstrado o resultado obtido.

$$\text{OEE (\%)} = \text{Disp.} \times \text{Desem.} \times \text{Qual.} = (0,625 \times 0,66 \times 0,771) \times 100 = 31,8\% \quad (3.9)$$

A partir do valor resultante, é possível afirmar que a performance da linha está muito abaixo dos *standards* da empresa, tornando-se imperioso a implementação de ações de melhoria.

3.5 Edição SWI

A edição “*SWI*”, referida no capítulo 3.1, é apenas destinada à versão ativa da peça e representa cerca de 3% da procura do cliente. Esta edição incorpora dois componentes em cristal, cujo o processo de montagem é realizado na estação de colagem. A OP 150 é então responsável pela montagem de três componentes para as peças referentes a esta edição, as *metalsheets*, o subgrupo “*KB*” e o botão “*Start and Stop*”. Para analisar as implicações na linha de montagem, procedeu-se à medição dos tempos das colagens adicionais. O tempo de ciclo da colagem do subgrupo “*KB*” revelou ser de 23 segundos e a do botão “*Start and Stop*”, de 20 segundos. Em acréscimo à operação das *metalsheets*, a OP 150 apresenta um tempo total necessário para produzir uma peça, de 70 segundos. Devido à baixa procura do cliente para esta edição, a produção é feita a partir de

stocks realizados durante a produção das versões passivas. Na Figura 15 está apresentado o diagrama de precedências desta edição.

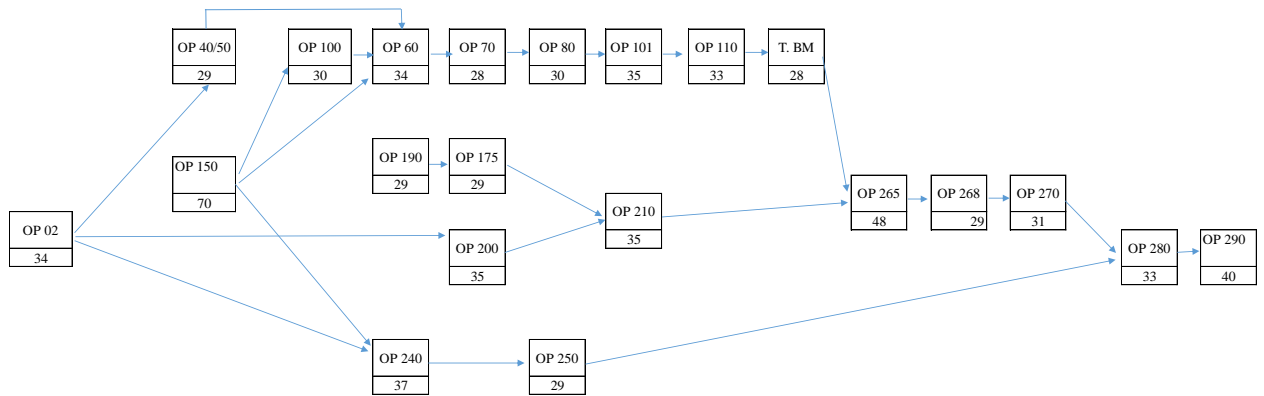


Figura 15 - Diagrama de precedências Edição SWI

4 Apresentação das ações desenvolvidas

4.1 Melhoria do desempenho

4.1.1 OP 265

De modo a aumentar a eficiência da linha *BTM*, a primeira ação desenvolvida traduziu-se na análise e melhoria da estação OP 265, uma vez que esta representa o *bottleneck*. Esta estação é responsável pela junção dos subgrupos *BM* e *GS* e pelo respetivo aparafusamento. Adicionalmente, também é inserido um *flatcable* e realizada a sua inspeção. Com objetivo de compreender as razões do elevado tempo de ciclo da estação (48 segundos), realizou-se a decomposição das tarefas efetuadas e a medição dos tempos associados. Na Figura 16 estão demonstrados os valores obtidos.

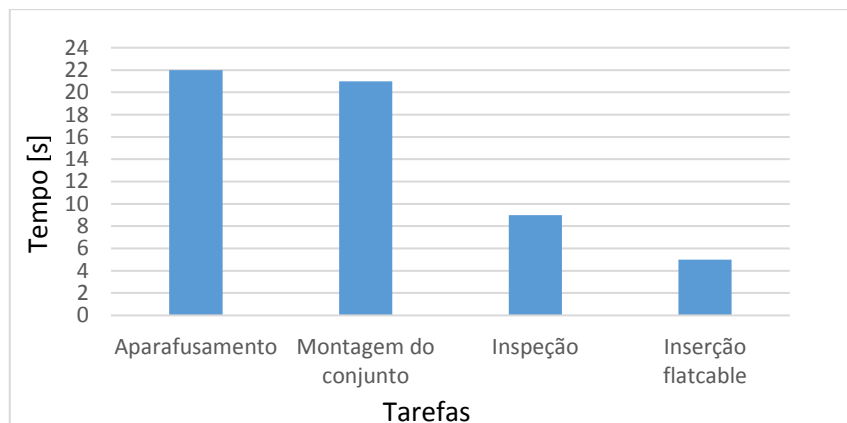


Figura 16 - Decomposição das tarefas OP 265

Na situação inicial, a tarefa de montagem dos conjuntos é realizada em paralelo com a inspeção da peça anterior, não havendo qualquer tempo de espera por parte do operador. O aparafusamento revelou ser a operação mais demorada, com 22 segundos, seguindo-se a montagem dos conjuntos, com 21 segundos. Sendo a soma destas operações superior ao tempo de ciclo exigido, torna-se evidente a inviabilidade de colocar ambas as tarefas no mesmo posto de trabalho.

A solução implementada foi a criação de um novo posto de trabalho, OP 262, dedicado à montagem dos conjuntos e inserção do *flatcable*. Devido às restrições de precedências, esta nova estação tem de estar imediatamente antes da OP 265, tendo para tal sido desenvolvido um suporte, ilustrado na Figura 17, de modo a acomodar-se em frente ao bordo de linha da OP 265.



Figura 17 - OP 262

4.1.2 Estação de lubrificação

No início da realização deste projeto, a estação de lubrificação constituía um dos maiores pontos críticos da linha *BTM*. A OP 02 não só apresentava um tempo de ciclo muito acima do exigido (43 segundos), como era responsável por cerca de 26% das causas de rejeição de peças, mais concretamente, devido aos defeitos de acústica. Esta estação, como foi referido no capítulo 3.2, é constituída por dois postos de trabalho, o *input* e o *output*, assim como por três módulos de lubrificação automática. Em cada um dos tabuleiros destinados aos dois primeiros módulos, são inseridos os componentes necessários para a montagem de um conjunto *BM* e um subgrupo *KB*, efetuando o terceiro módulo a lubrificação de dois conjuntos *GS*.

Com intuito de compreender as causas adjacentes ao elevado tempo ciclo encontrado, foi realizado um estudo onde foram medidos os tempos de ciclo de cada operação e calculado o tempo de ciclo por conjunto, para ambas as versões. Na Tabela 3 estão demonstrados os valores obtidos.

Tabela 3 - Tempos de ciclo OP 02

	Tempos de ciclo da operação [s]		Tempos de ciclo/peça [s]	
	Ativas	Passivas	Ativas	Passivas
Módulo 1 e 2	41	86	20,5	43
Módulo 3	72	72	36	36
Operador <i>output</i> / <i>tabuleiro</i>	12	14	18	21
Operador <i>Input</i> / <i>tabuleiro</i>	8	11	12	16,5

A partir da análise dos dados obtidos é possível observar a existência de duas operações que impedem o tempo de ciclo exigido: a lubrificação dos conjuntos *KB* e *BM* para a versão passiva, com um tempo de ciclo de 43 segundos, e a lubrificação dos conjuntos *GS*, apresentando 36 segundos. Uma vez que a deposição de lubrificante é realizada à velocidade máxima permitida pelo equipamento, a solução implementada para reduzir o tempo de ciclo por peça consistiu na inserção de um novo módulo idêntico ao módulo 1 e 2. Adicionalmente, foram efetuadas alterações no tabuleiro do módulo três de forma a agrupar três subgrupos *GS*. Na Figura 18 é demonstrado a situação atual da OP 02.



Figura 18 - OP 02 atual

4.1.3 OP 290

O terceiro posto crítico é a OP 290, com um tempo de ciclo de 40 segundos. Esta estação é responsável pelo aparafusamento do subgrupo *KB*, pela montagem de um cabo e pela realização de uma inspeção. Adicionalmente, são montados dois componentes de carácter estético. A abordagem da análise deste posto de trabalho seguiu a mesma metodologia da OP 265, onde se procedeu à decomposição das tarefas realizadas e à medição dos tempos associados. Na Figura 19 estão demonstrados os valores obtidos.

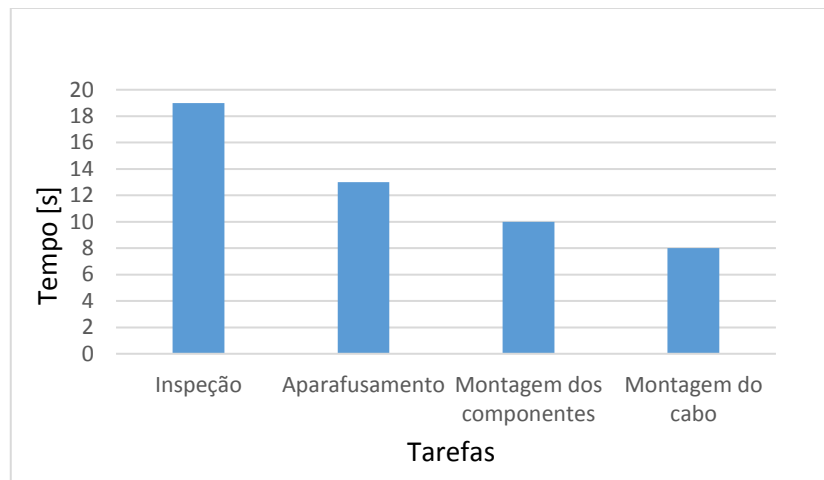


Figura 19 - Decomposição das tarefas OP 290

Analisando os dados recolhidos constatou-se que a operação que consome mais tempo é a da inspeção, com dezanove segundos. A OP 290 dispõe de dois ninhos: no primeiro é realizada a montagem dos componentes em paralelo à inspeção da peça anterior e, no segundo, é realizado o aparafusamento, a montagem do cabo e feita a inspeção da peça. Nesta situação inicial, o operador fica cerca de nove segundos em espera. Por razões estruturais, a montagem do cabo tem de ser efetuada posteriormente ao aparafusamento, não sendo possível alocar essa tarefa no ninho 1.

A solução encontrada consistiu em modificar o ninho 1 de modo a integrar o aparafusamento, eliminando qualquer tempo de espera por parte do operador. Na Figura 20 é demonstrada a situação inicial e a atual.



Figura 20 - OP 290 antes e depois da ação de melhoria

4.1.4 Processo de rastreabilidade

Ao longo de todo o processo de montagem é inserido um total de quatro etiquetas de rastreabilidade, respetivamente na OP40/50, na OP 200, na OP 240 e na OP 270. Esta tarefa constitui uma parte fundamental do processo e é realizada com o auxílio de um dispensador de etiquetas automático, demonstrado na Figura 21, consumindo em média cinco segundos por peça.

Uma vez que as estações referidas apresentam um tempo de ciclo superior ao requerido, foi realizado um estudo com o intuito de alocar estas tarefas noutros locais. Após a implementação do quarto módulo na estação de lubrificação constatou-se que os dois operadores da OP 02 tinham um tempo de espera de cerca de oito segundos, em que aguardavam a chegada dos tabuleiros dos módulos de lubrificação. A solução encontrada foi mover o processo de colocação das etiquetas referentes ao conjunto *BM* e *KB* para a estação de *input* e as etiquetas do subgrupo *GS* para a estação de *output* da linha de lubrificação. A etiqueta respetiva da OP 270, colocada no componente que é a base da peça final, foi transferida para a área da pintura.



Figura 21 - Dispensador automático de etiquetas

4.1.5 OP 240 / OP 110

Na OP 240 e na OP 110 são realizados os aparafusamentos das placas eletrónicas aos subgrupos *KB* e *MB*, respetivamente. Verificou-se que em ambas as estações o processo de montagem era frequentemente interrompido devido a falhas no aparafusamento. Esta ocorrência implica que o operador tenha de tirar, manualmente, o parafuso inserido, constituindo uma tarefa demorada que não acrescenta valor ao produto.

Realizada uma análise às possíveis causas inerentes constatou-se que não só os *PCB* de ambas as estações estavam desalinhados com a peça plástica, como também o parafuso não era devidamente guiado ao longo da máscara de aparafusamento. O culminar destas duas situações gerava o desperdício de tempo observado e levava também a uma quebra prematura do *bit* de

aparafusamento, sendo necessário proceder à sua substituição. Adicionalmente, estas estações revelaram ser a causa de grande parte dos defeitos de *Software*/Elétrico encontrados nas peças rejeitadas. Embora as peças plásticas possuam pinos de guiamento, a placa eletrónica não era suficientemente pressionada de modo a garantir o correto alinhamento.

As soluções encontradas para reduzir este desperdício foram a inserção de dois calçadores na máscara de aparafusamento da OP 110, representados na Figura 22, em sítios estratégicos de modo a não danificar o *PCB*. A solução para a OP 240 foi desenvolver um “*gauge*” móvel de fixação, representado também na Figura 22, que é colocado previamente ao processo de aparafusamento.

A solução implementada para otimizar o guiamento do parafuso e prolongar o tempo de vida do *bit* foi de desenvolver, em parceria com a oficina, um casquilho de guiamento do *bit* que envolvesse a cabeça do parafuso.



Figura 22 - Máscara de aparafusamento OP 110 e “*gauge*” da OP 240

4.1.6 Estações de aparafusamento

O aparafusamento revelou ser uma das tarefas críticas no processo de montagem. Constatou-se que as estações que executam operações de aparafusamento, respetivamente a OP 240, a OP 110, a OP 265, a OP 270 e a OP 290 excediam o tempo de ciclo exigido, com exceção da OP 290, a qual só realiza um aparafusamento de um parafuso. Nas restantes estações esta é a tarefa que consome mais tempo, sendo crucial melhorá-la.

A monitorização do aparafusamento é realizada a partir de um controlador, demonstrado na Figura 23, que garante que a tarefa só termina quando é atingido um torque final estabelecido. Na situação inicial, a velocidade de aparafusamento era constante durante todo o processo, sendo limitada de modo a que, quando o torque final fosse atingido, a integridade da peça e da parafusadora não fosse comprometida. A partir da flexibilidade do controlador, os programas de aparafusamento foram otimizados de modo a serem realizados à velocidade máxima permitida pelo equipamento até atingir 60% do torque final estabelecido. Imediatamente após este valor ser alcançado, o controlador baixa a velocidade de aparafusamento para a previamente estabelecida.



Figura 23- Controlador de aparafusamento

4.1.7 Máquina de colagem SWI

Com o objetivo de reduzir os *stocks* realizados para a produção da edição SWI e tornar o processo mais flexível foi criada uma estação de trabalho dedicada à colagem dos botões “*Start and Stop*”, designada por OP 140. No desenvolvimento deste posto de trabalho procurou-se obter um equipamento que não ocupasse muito espaço e que tivesse um tempo de ciclo dentro do limite requerido. O produto final está demonstrado na Figura 24.



Figura 24 - OP 140

A cada ciclo de funcionamento (cento e dois segundos) são colados seis botões “*Start and Stop*”, resultando num tempo de ciclo por peça de dezassete segundos.

Posteriormente, foi realizada a padronização do trabalho. Foram criadas instruções de trabalho referentes ao processo de montagem, demonstrado no Anexo B, assim como ao procedimento de mudança de cola. Adicionalmente, foi elaborada uma lista de confirmações de modo assegurar a verificação da quantidade de cola depositada, no início de cada turno, demonstrada no Anexo C. Antes de a OP 140 integrar a linha de produção, a mesma foi submetida a uma série de processo, onde é realizado, em parceria com o Departamento de Qualidade e com o Departamento de Segurança, a aprovação final da estação.

4.2 Melhoria da qualidade

4.2.1 Aparafusamento OP 290

Com o objetivo de aumentar o índice de qualidade da linha *BTM*, o primeiro defeito a atacar foi a existência de folgas no produto final. Este defeito, como foi referido no capítulo 3.4.4, tem como principal causa o incorreto aparafusamento da peça.

Em conjunto com o Departamento de Qualidade foram analisados os pontos críticos existentes, e constatou-se que a principal fonte de problemas era o aparafusamento do subgrupo *KB* à peça final, realizado na estação OP 290. A causa raiz revelou ser a existência de variabilidade no diâmetro do furo respetivo. Consequentemente, o torque previamente estabelecido é atingido precocemente, levando a uma fixação incorreta dos conjuntos. Uma vez que o componente que incorpora o furo é adquirido por um fornecedor externo, a ação implementada consistiu em aumentar o valor de torque final. Previamente à alteração das configurações do controlador, foram realizados testes destrutivos de modo a garantir que o valor introduzido não punha em risco a integridade estrutural da peça final.

4.2.2 Película protetora *KB*

Uma das grandes causas de rejeição de peças por defeitos visuais consistia na existência de riscos num componente do subgrupo *KB*. Feita uma observação a várias peças com este defeito, constatou-se que os riscos encontrados não possuíam um padrão nem um local fixo, descartando-se a hipótese de a causa residir num movimento sistemático de uma máquina.

Após a análise do percurso deste componente verificou-se que a causa deste problema traduzia-se no *handling* a que o mesmo era exposto desde o processo de injeção de plásticos até à produção da peça final.

De forma a eliminar este defeito foi incorporada no processo de injeção a colocação de uma película protetora no componente. Esta película é apenas retirada no último “Muro de qualidade”, antes de ser embalada para a expedição. Na Figura 25 está demonstrado como o componente chega ao “Muro de qualidade” na situação atual.



Figura 25 - Película protetora *KB*

4.2.3 Tabuleiro de aperto

Um defeito recorrente encontrado nas peças que incorporam a versão *SWI* era o encravamento do botão “*Park*” no subgrupo *KB*. Foi elaborado um estudo com o objetivo de identificar as causas adjacentes a este defeito e constatou-se a existência de desalinhamento entre o componente em cristal e o *guiding frame*.

Após averiguar que ambas as peças estavam dentro de especificação verificou-se que o problema residia no processo de calcamento dos dois componentes. Este processo é realizado imediatamente após a peça ser montada, devido ao tempo reduzido de ativação da cola. Na situação inicial, os componentes eram calcados a partir da colocação de duas molas, por parte do operador. Não havendo nenhum método que garantisse o alinhamento das peças, a qualidade do produto estava diretamente dependente do operador.

A solução encontrada consistiu em desenvolver um sistema *poka-yoke* no processo de calcagem. Na situação atual, após a peça ser libertada pelo equipamento, o operador coloca um “centrador” no local destinado ao botão “*Start and Stop*” e o processo de calcagem é realizado por um tabuleiro de aperto, que distribui uniformemente a força aplicada. Na Figura 26 é possível observar a situação inicial e a situação atual.



Figura 26 - Processo de calcagem antes e depois de ação de melhoria

4.3 Postos de trabalho e Bordos de linha

Como foi descrito no capítulo 3.3, na situação inicial havia uma carência de organização nos bordos de linha. A ausência de ergonomia e a falta de controlo das quantidades disponíveis geravam grandes desperdícios de movimento e elevados tempos de espera. De modo a melhorar os postos de trabalho foi realizada uma análise onde se procurou implementar, sempre que possível, caixas avançadas de modo a aproximar os componentes do operador. Estas caixas possuem um método de encaixe que permite a fácil alteração de componentes, no caso de uma mudança de referência. Esta otimização foi implementada nas OP 40/50, na OP 100, na OP 240 e na OP 210. Na Figura 27 está demonstrado o posto da OP 240 na situação atual.

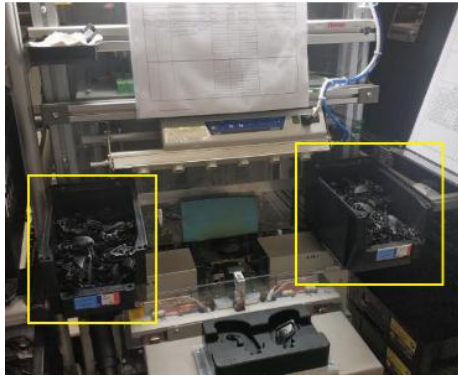


Figura 27 - OP 240 atual

Foram também realizadas modificações nos BL de modo a agrupar todas as referências dos componentes utilizados na estação e a garantir uma capacidade de, pelo menos, uma hora de produção. Para tal, teve de ser efetuada previamente uma análise onde foi calculado o número de componentes despendidos por hora, a capacidade associada à caixa de transporte e às respetivas medidas. Após calcular o número de caixas necessárias em cada BL, foi efetuada a definição do respetivo local de modo a facilitar e reduzir os movimentos realizados pelo operador. Na OP 70, devido ao processo de montagem incluir a inserção de quatro condutores de luz distintos por peça, a solução encontrada para facilitar e reduzir o movimento do operador foi desenvolver um suporte específico, apresentado no Anexo E, que foi inserido entre o equipamento e o bordo de linha respetivo.

Adicionalmente, também foi definido em cada posto de trabalho um local específico à acomodação dos objetos pessoais dos operadores. Foram colocados em lugares estratégicos suportes para alojar as respetivas bolsas. Na Figura 28 está exemplificado a aplicação na OP 100.

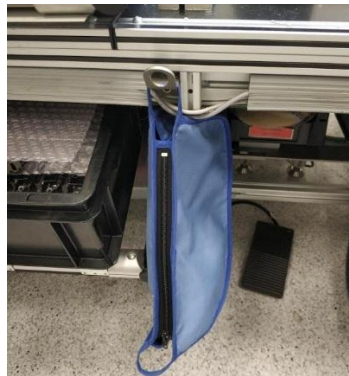


Figura 28 - Suporte com bolsa para objetos pessoais

4.4 Padronização do trabalho

De modo a consolidar as ações de melhoria implementadas foi realizada constantemente uma atualização das instruções de trabalho (IT), presentes na linha de produção. As IT usadas são compostas por um conjunto de passos, que são sempre acompanhados por uma imagem ilustrativa e por um texto referente ao correto procedimento a realizar.

De modo a garantir que não houvesse variabilidade nas tarefas a efetuar e que o tempo necessário de consulta fosse mínimo, prosseguiu-se sempre o objetivo de simplificar a informação presente, de forma a garantir uma fácil e rápida compreensão.

Foi verificado no início da realização deste projeto, a inexistência da padronização de procedimentos como:

- Mudança e calibração das agulhas da estação de colagem e de lubrificação;
- Desligar a estação *EOL* e a estação de lubrificação;
- Reposição dos tubos de cola na estação de colagem;
- Reposição de lubrificante na OP 02;
- Abastecimento de magnéticos na OP 175.

A falta de instruções de trabalho referentes ao procedimento correto para efetuar estas tarefas complementares resultava em tempos improdutivos em que o operador era obrigado a procurar alguém informado. Em situações extremas, o operador realizava a tarefa incorretamente, criando desgaste nos equipamentos.

Tornando-se evidente a importância de ter todas as tarefas a realizar na linha de produção devidamente padronizadas e acessíveis aos operadores, foram elaboradas as IT necessárias e colocadas nas estações respetivas.

4.5 Reformulação do *Layout*

Está planeada a inserção de uma duplicação da linha *BTM*, uma linha dedicada a uma referência específica e da deslocação do primeiro “Muro de Qualidade” para o mesmo chão de fábrica. De modo a garantir o correto funcionamento do processo de montagem, de todas as linhas presentes no espaço de produção, foi elaborado um novo *layout*. A proposta final pode ser consultada no Anexo D.

Esta proposta foi idealizada com o intuito de permitir a deslocação de um comboio logístico que irá fazer ciclos de abastecimento entre o “supermercado” e os BL de hora em hora. Associado às modificações realizadas nos bordos de linha está prevista a eliminação dos tempos de espera relativos à falta de componentes.

Devido ao facto de o abastecimento dos componentes ser realizado pelo comboio logístico, o “supermercado” foi retirado do chão de fábrica e movido para o armazém.

A estação Teste *BM* foi inserida na linha principal de montagem. Esta ação não só eliminou o desperdício de transporte que era realizado anteriormente, como possibilitou a remoção de dois bordos de linha.

A OP 100 foi realocada para junto da estação de colagem, sendo criado um subgrupo LP, o qual integrará a linha principal de montagem na OP 60. A partir dos diagramas de precedências, apresentados no capítulo 3.4.3, é possível constatar que a localização inicial da OP 100 era desajustada ao processo, pois criava uma distância desnecessária entre a OP 40/50 e a OP 60.

A duplicação da linha principal foi colocada em paralelo com a linha original de modo a promover a entreaajuda dos operadores, visando diminuir eventuais faltas de material ou ferramentas. As duplicações dos subgrupos também estarão adjacentes aos subgrupos originais, não só pelas razões referidas anteriormente, mas também devido ao facto de virem a alimentar o mesmo *kanban*.

Na conceção do novo *layout*, devido à elevada taxa de rejeição de peças, deu-se priorizou-se à aproximação da zona de recuperação em relação às estações de teste. Deste modo, o transporte necessário para testar novamente as peças é minimizado. Como consequência, o comboio logístico não irá alimentar diretamente os bordos de linha a partir da estação OP 80.

O objetivo de integrar o Muro de Qualidade 1 no espaço dedicado à linha *BTM* foi de promover uma resposta rápida na eventual deteção de um defeito sistemático. Consequentemente, esta implementação irá reduzir a taxa de rejeições de peças.

Após ser realizada a mudança de *layout* foi realizada uma série de processo, com o objetivo de confirmar o correto funcionamento de todas as estações.

4.6 Análise das ações desenvolvidas

4.6.1 Parâmetros após ações de melhoria

Após a implementação das ações desenvolvidas foram medidos os tempos de ciclo de cada estação, para ambas as versões (ativa e passiva).

Adicionalmente, foi realizada a compilação dos dados referentes ao índice de qualidade e aos tempos de paragem da linha, para o período da primeira semana de janeiro de 2019. Os valores dos tempos de ciclo obtidos estão apresentados na Figura 29.

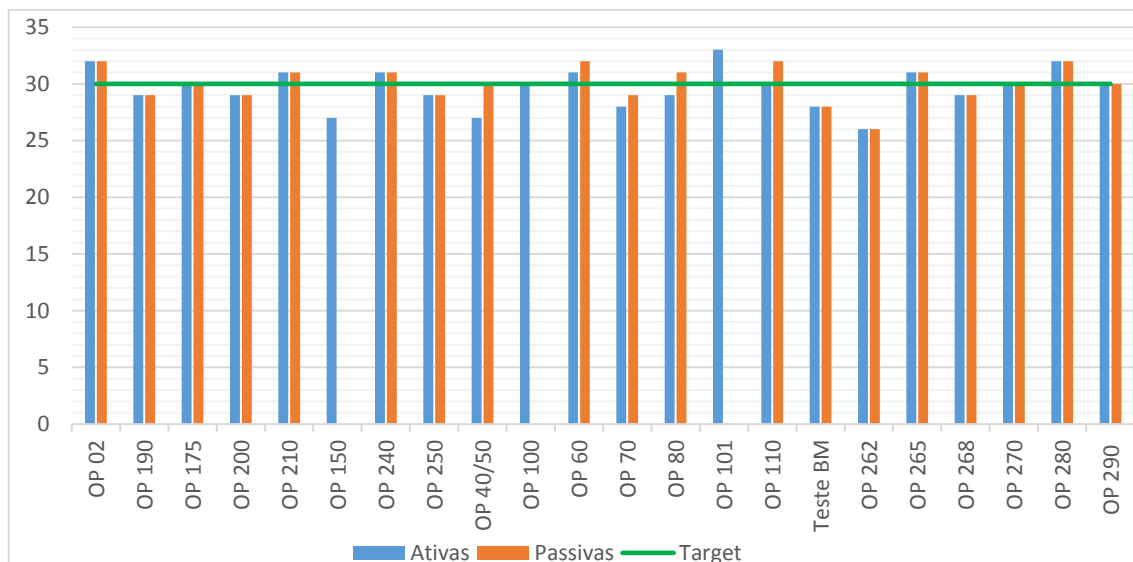


Figura 29 - Tempos de ciclo atuais

Constatou-se que o *bottleneck* atual da linha de produção é a estação OP 101 com trinta e três segundos. De modo a quantificar o impacto das ações realizadas, em primeira fase da análise, foram recalculadas as eficiências do balanceamento da linha de produção para ambas as versões, representadas nas equações 4.1 e 4.2.

- Versão Ativa

$$\varepsilon = \frac{\sum T_i}{N \times TC} = \frac{652}{726} = 89,8\% \quad (4.1)$$

- Versão Passiva

$$\varepsilon = \frac{571}{627} = 91,1\% \quad (4.2)$$

Devido ao aumento da eficiência de balanceamento da linha em cerca de 20% constatou-se uma diminuição drástica de inventário em curso de produção.

Adicionalmente, procedeu-se ao cálculo do índice de desempenho, demonstrado na Equação 4.3.

$$\text{Desem. (\%)} = \frac{TCP}{TCR} = \frac{30}{33} = 91,1\% \quad (4.3)$$

Durante a primeira semana de janeiro de 2019, o valor obtido do índice de qualidade corresponde a 81,4%, sendo o valor dos tempos de paragem da linha de produção de mil e vinte e três minutos.

Seguindo o mesmo processo realizado na Equação 3.6, foi recalculado o índice de disponibilidade, apresentado na Equação 4.4.

$$\text{Disp. (\%)} = 1 - \frac{1023}{3 \times (480 - 20 - 10) \times 5} = 85,2\% \quad (4.4)$$

Foram ainda calculados a capacidade de produção anual, representada na Equação 4.5 e o índice de capacidade de resposta ao cliente, apresentado na Equação 4.6.

$$\text{CPA} = \frac{\text{TDP} \times \text{Disp.}}{\text{TC}} = \frac{(3 \times 60 \times (480 - 20 - 10) \times 250) \times 0,852}{33} = 522818 \text{ peças} \quad (4.5)$$

Considerando que a procura anual ascende a 575000 peças e que o valor da capacidade de produção anual atinge agora 522818 peças, representando já cerca de 90,9% daquela procura do cliente.

$$\text{ICR} = \frac{\text{CPA} \times \text{Qual.}}{\text{PC}} = \frac{522818 \times 0,814}{575000} = \frac{425574}{575000} = 74\% \quad (4.6)$$

A partir da Equação 4.6, pode-se constatar que a atual produção de peças boas é de cerca de 425574, perfazendo 74% da procura anual do cliente.

4.6.2 OEE Atual

De modo a avaliar a evolução geral da linha *BTM*, foi calculado o indicador de performance *OEE*, da situação atual.

$$\text{OEE (\%)} = \text{Desem.} \times \text{Disp.} \times \text{Qual.} = 0,91 \times 0,852 \times 0,814 = 63,1\% \quad (4.7)$$

De modo a facilitar a análise da evolução que a linha de montagem sofreu devido às ações implementadas, foram compilados os dados das situações iniciais e atuais, e a sua respetiva melhoria, sendo apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação entre a situação inicial e atual

	Inicial	Atual	Aumento
ε (Ativa) (%)	68,9	89,8	30,3
ε (Ativa) (%)	72,0	91,1	26,5
Desempenho (%)	62,5	91,1	45,8
Disponibilidade (%)	77,1	85,2	10,5
Qualidade (%)	66,0	81,4	23,3
ICP (%)	56,6	90,9	60,7
CPA (peças)	325265	522818	197553
ICR (%)	37,3	74,0	98,4
CRA (peças)	214675	425574	210899
OEE (%)	31,8	63,1	98,4

5 Conclusões

O desenvolvimento do projeto apresentado traduziu-se na análise do fluxo de produção em linha de montagem de um fabricante de componentes do setor automóvel, visando a respetiva melhoria.

Na primeira fase do trabalho desenvolvido procedeu-se à observação do processo de montagem da linha em estudo, com o objetivo de compreender as várias etapas que o constituem e de identificar os desperdícios associados.

Efetuada a análise, verificou-se que a linha não atendia aos standards da empresa uma vez que apresentava resultados críticos, em termos de performance, nomeadamente nas vertentes de eficácia e eficiência, verificando-se uma alta taxa de rejeição de peças e uma baixa cadência produtiva.

Tendo em consideração os princípios da filosofia *Lean*, primordialmente os relacionados com a redução do desperdício envolvido no processo, com o aumento do grau de satisfação do cliente e com a flexibilização do processo, procedeu-se, desde logo, à identificação dos desperdícios na linha de produção e, posteriormente, com o auxílio das ferramentas *Lean*, à definição das ações necessárias à redução ou eliminação de tais desperdícios.

Procedeu-se então à análise dos aspetos que restringem o fluxo de produção, destacando-se o *Layout* desajustado, a deficiência na ergonomia dos postos de trabalho e dos bordos de linha e a baixa eficiência na linha de montagem.

No âmbito do projeto desenvolvido implementaram-se variadas ações de melhoria, entre as quais se destaca a análise do desempenho das estações críticas identificadas e as alterações de procedimentos nas mesmas, as quais, combinadas com a imediata padronização, possibilitaram uma redução da variabilidade do processo e uma consequente melhoria do fluxo.

Em todas as ações implementadas foi adotada a metodologia *PDCA (Plan - Do- Check- Act)*, visando sempre consolidar as melhorias alcançadas através da padronização dos processos associados.

Acresce salientar que as alterações introduzidas nos postos de trabalho e nos bordos de linha se revelaram igualmente fundamentais para combater os desperdícios de movimento e os tempos de espera identificados na linha de montagem.

Assim, de modo a quantificar a melhoria do fluxo de produção procedeu-se à comparação da eficiência do balanceamento das linhas atuais e iniciais, correspondendo a um aumento que se traduz em 30,3% nas versões ativas e em 28,9% nas versões passivas. Tal facto implicou a redução do inventário em curso de fabrico, tendo impulsionado a flexibilidade do processo e, consequentemente, o aumento da capacidade produtiva em 197553 peças, alcançando 90,9% da procura anual do cliente.

Quanto ao *OEE*, que se traduz num dos mais relevantes indicadores de performance da linha de produção, destaca-se que, após a implementação de todas as ações de melhoria descritas ao longo do projeto desenvolvido, houve um aumento de 98,4% do índice, alcançando-se agora um valor de 63,1%, concluindo-se por um aproveitamento do tempo real de produção disponível muito significativo.

Fica assim comprovada, mais uma vez, a eficácia das ferramentas *Lean* utilizadas na melhoria do fluxo de produção em linha de montagem.

Como propostas para trabalhos futuros, e tendo em consideração que o fluxo de produção ainda não corresponde à procura do cliente, torna-se essencial, utilizando uma filosofia de melhoria

contínua, proceder à identificação e eliminação dos desperdícios na linha de produção e consequentemente numa melhoria do *Layout*.

De modo a reduzir o tempo de paragem causado pela falta de componentes e uma vez que os postos de trabalho possuem contadores da produção realizada, propõe-se a criação de um *Software* que permita efetuar o cálculo em tempo real das quantidades disponíveis nos Bordos de Linha.

Adicionalmente, é proposta a implementação de um plano de manutenção preventiva de modo a reduzir os tempos associados às avarias presentes na linha de produção.

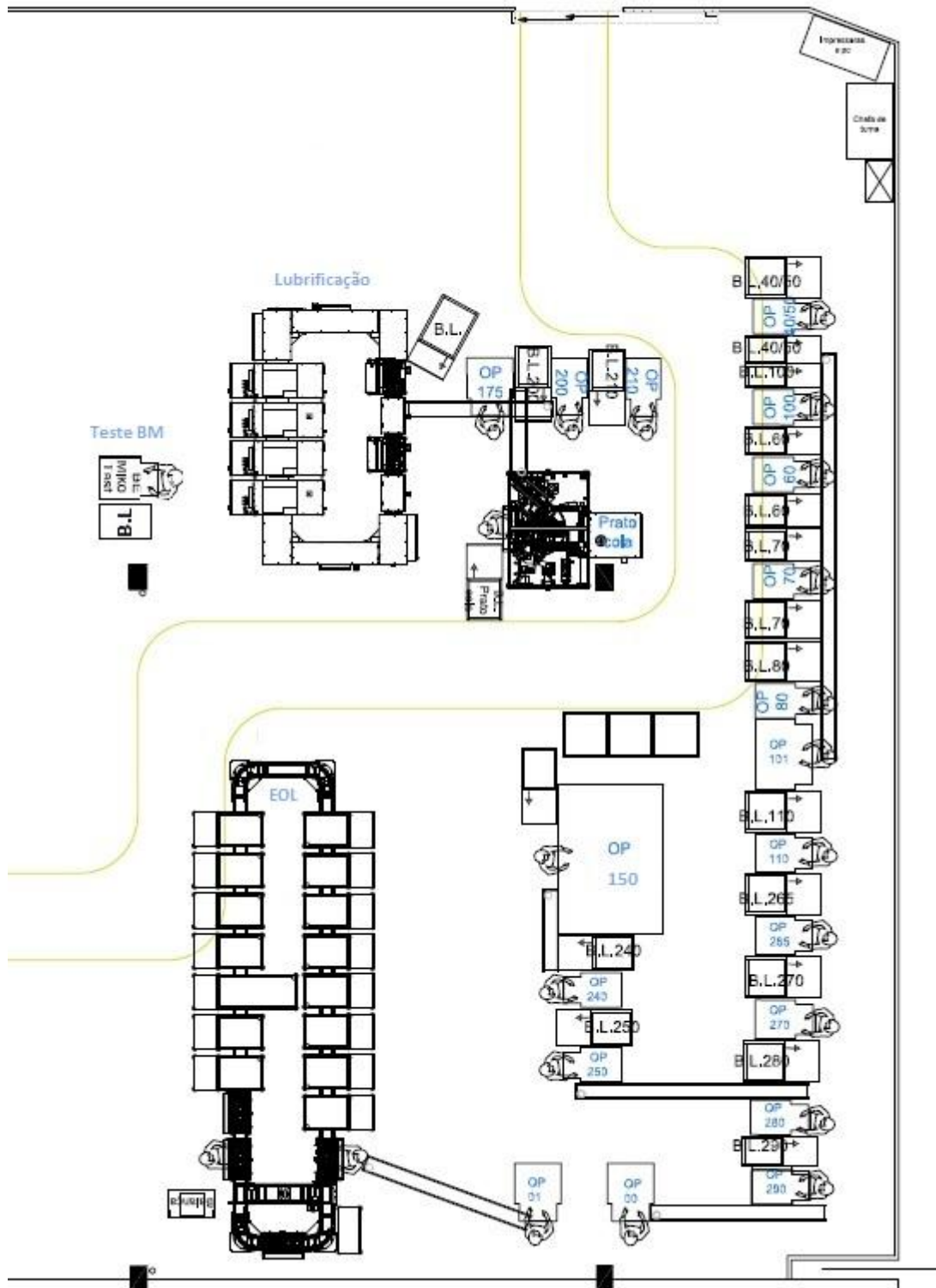
A formação contínua dos operadores deverá igualmente ser valorizada uma vez que a respetiva atuação tem grande impacto na capacidade produtiva.

A inovação nos processos tecnológicos deverá corresponder às necessidades do cliente de modo a que seja cada vez mais rápida a sua satisfação.














Referências

- Pinto, J. (2009), Melhoria Contínua: Compromisso a Longo Prazo com a Mudança, retirado da Internet a 4 de outubro de 2018, de https://www.slideshare.net/Comunidade_Lean_Thinking/melhoria-contnua
- James P. Womack, Daniel T. Jones (2010 temos que mudar para 1996) *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster. New York, USA
- James P. Womack, Daniel Roos, Daniel T. Jones (1990) *The Machine That Changed the World*. Productivity Press. New York, USA
- Hopp, W.J., M.L. Spearman. (2000). *Factory Physics, 2nd edition, Irwin/McGraw-Hill Companies*. New York, USA
- Liker, J.K. (2004). *The Toyota Way – 14 Management Principles from the World’s Greatest Manufacturer*. The McGraw-Hill Companies. New York, USA
- Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System*. Productivity Press. Massachusetts, USA
- Rother, M. (2010). *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results*. The McGraw Hill Companies. New York, USA
- Shimbun, Nikkan Kogyo (1988). *Poka-yoke: improving product quality by preventing defects*. Productivity Press. Oregon, USA
- Rother, M. & Shook, J. (1998). *Learning to See - Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. The Lean Enterprise Institute, Massachusetts, USA
-

ANEXO A: Layout Inicial



ANEXO B: Instrução de trabalho OP 140

		Instrução do Posto de Trabalho: Máquina Manual SWI		Produtos
		Tempo setup: Lim. defeitos: Riscos P.Tr: Causância O: Posto:	Componentes	
1	 <p>Alinhar as alavancas na posição vertical, ver imagem. Sinal luminoso aceso (luz verde contínua)</p>		 <p>Colocar cola no centro dos lower parts, utilizando o dispensador manual de cola, ver imagem.</p>	
2	 <p>Colocar as caps e os lower parts nos rinhos, ver imagem. (sempre preencher os 6 rinhos de ambas as peças)</p>		 <p>Alinhar as duas boboneiras (luz verde intermitente). Fechar a máscara de alinhamento.</p>	
3	 <p>Alinhar as caps pela almbologia usando as alavancas, ver imagem. Abrir máscara de alinhamento.</p>		 <p>Pressionar as duas boboneiras até o fim do movimento (subida da máscara). Fechar máscara superior.</p>	
4	 <p>Quando as luzes de secagem desligam, pressionar as duas boboneiras até ao fim do movimento (subida da máscara).</p>		 <p>Abriu máscara superior e pressionar as duas boboneiras até a o final do ciclo (luz verde contínua). Retirar as peças.</p>	
5				
6				
7				
8				
9				

ANEXO D: Proposta Final do Layout



ANEXO E: Suporte do Bordo de Linha OP 70

