

Implementação de um Supermercado na Produção de Tubos Híbridos

Melissa da Silva Reis

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Paulo Osswald



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2018-01-22

À minha mãe e aos meus avós

Resumo

Na indústria automóvel existe uma enorme competitividade e é fundamental para uma empresa garantir que as suas linhas de produção operam da forma mais eficaz possível. Com o aumento dos volumes de produção e do número de referências nem sempre é fácil assegurar essa eficácia, mas torna-se ainda mais importante garantir que tudo corre da melhor forma possível. Foi por este motivo que a empresa percebeu a necessidade de implementar algumas melhorias na área de produção de tubos híbridos. Um dos problemas mais acentuados desta área de produção é a complexidade das diferentes variáveis a ter em conta no planeamento da produção, uma vez que são fabricados dois tipos de produtos com várias referências que podem ser vendidos a um cliente externo (depende das referências) ou alimentam a montagem de um outro produto, ou seja, os dois primeiros formam um terceiro produto e, muitas vezes, não existe informação suficiente para que os processos fornecedor trabalhem corretamente para o processo cliente. Muitas vezes, quando é necessária a montagem de uma determinada referência do terceiro produto, há falta de um dos dois componentes, ou mesmo dos dois, necessários à sua montagem. Esta área de produção é de extrema importância porque é fornecedora de 10 linhas de produção da fábrica.

De forma a corrigir o problema de planeamento de produção e analisando alguns dados relativos ao OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), pensou-se que a melhor solução seria criar um sistema *pull* através do dimensionamento de sistemas *kanban* entre os diversos processos desta área de produção, tendo em conta todos os requisitos impostos pela empresa. Desta forma, o cartão *kanban* dá a ordem daquilo que deve ser produzido a seguir e em que quantidades, realizando por si só o planeamento da produção e faz com que os operadores sejam muito mais autónomos porque não têm que estar dependentes de ninguém para saber o que vão produzir. Assim, calculando todos os parâmetros necessários para a utilização da fórmula do sistema *kanban* da Toyota, determinou-se o número de cartões *kanban* necessários para os diferentes produtos e para as diferentes referências em todas as etapas do processo produtivo.

Finalmente, após dimensionado o sistema *kanban*, conclui-se que a sua implementação é importante para analisar os resultados do mesmo e para perceber aquilo que se pode melhorar e, posteriormente, ir ajustando os valores dos parâmetros utilizados nos cálculos àquilo que está a acontecer na realidade. A implementação do sistema *kanban* deveria conter um plano de formação dos operadores para estes entenderem qual é a importância do sistema *kanban* nesta área de produção e os conceitos subjacentes ao mesmo e quais os benefícios associados, uma vez que alguns operadores tendem a oferecer resistência às mudanças e é necessário envolvê-los nas mesmas.

Implementation of a Supermarket in the Hybrid Tube Production Area

Abstract

In the automotive industry exists an enormous competitiveness and it is fundamental for the company to guarantee that their production lines operate in the most efficient way possible. With the growth of production volumes and number of references it not always easy ensure that efficiency, but it is even more important to guarantee that everything goes on the best way possible. That is why the company understood the need to implement some improvements on hybrid tubes area. One of the bigger problem on this area of production is the complexity of the many variables took into account in the planning of production, given that are fabricated two types of products with many references that can be sold to an external customer (depends on the references) or to be used to assemble another product, that means that those two first products are part of a third and, many times, there is not enough information so that the supplier processes work correctly for the customer process. Sometimes, when it is necessary to assemble a specific reference of the third product, there is one or even two missing components necessary for mounting that product. This area of production is extremely important because it supplies 10 other lines of production in the factory.

In an attempt to correct that problem of the planning of the production and after analysing some data of OEE (Overall Equipment Effectiveness), it was thought that the best solution was to create a pull system through the sizing of kanban systems between the processes in this area of production, taking into account every requirement imposed by the company. In this way, the kanban card gives the order of what needs to be produced next and in which quantity, doing by itself the planning of production and making workers more autonomous because they do not have to be depending of nobody to know what they are going to produce. That way, calculating all the parameters necessary for the utilization of the formula of Toyota's kanban system, it was determined the number of kanban cards necessary for the different products and for the different references in all the stages of the productive process.

Finally, after kanban system sizing, it comes to a conclusion that its implementation is important to analyze the results of said system and to realize what can be improved and adjusting values of the parameters used in calculations to what it is happening in reality. This implementation should have a formation plan to the workers for they realize the importance of the kanban system in this area of production and the subjacent concepts of kanban and what benefits it brings since the workers tend to offer some resistance to changes and that involves them.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à BorgWarner por me ter dado a oportunidade de realizar a dissertação de mestrado na sua fábrica em Viana do Castelo e pela bolsa mensal que recebi para os custos de deslocação e alimentação.

Um especial agradecimento ao Eng.º Eduardo Fernandes por todo o apoio prestado e por todo o conhecimento partilhado.

Gostaria também de agradecer ao meu orientador da FEUP, o professor Paulo Osswald, por se mostrar sempre disponível para esclarecer todas as dúvidas e para ajudar naquilo que necessitei.

Quero agradecer à minha família, em especial à minha mãe e aos meus avós, porque sem eles nada disto era possível.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Projeto na Empresa BorgWarner – Viana do Castelo	1
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto	2
1.5	Estrutura da dissertação	2
2	Enquadramento teórico	3
2.1	Toyota Production System	3
2.2	Lean Manufacturing	4
2.3	Ferramentas <i>Lean</i>	5
2.3.1	5S	5
2.3.2	TPM – Total Productive Maintenance	6
2.3.3	OEE – Overall Equipment Effectiveness	7
2.3.4	Sistema Kanban	9
3	Descrição da situação inicial e identificação do problema	11
3.1	Processo produtivo	11
3.2	Apresentação e análise dos dados relativos à produção	13
3.3	Fluxo de Materiais	21
3.4	Capacidade disponível na área de produção de tubos híbridos	23
3.5	Tipo de embalagem	25
4	Apresentação da solução proposta	26
4.1	Implementação de um supermercado com sistema <i>kanban</i>	26
4.1.1	Definição das quantidades por embalagem	26
4.1.2	Sistema <i>kanban</i> entre o supermercado de tubos híbridos e as máquinas que fazem a sua montagem	27
4.1.3	Sistema <i>Kanban</i> entre as máquinas de placas onduladas e tubos ovais e as máquinas de tubo híbrido	32
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro	37
	Referências	39
	ANEXO A: Fotografias do supermercado de tubos híbridos	40
	ANEXO B: Armazenamento do tubo oval e da placa ondulada depois da lavadora	43
	ANEXO C: Supermercado antes da lavadora	45

Siglas

AL – Antes da Lavadora

DL – Depois da Lavadora

EGR – Exhaust Gas Recirculation

JIT – Just In Time

OEE – Overall Equipment Effectiveness

PL – Product Leader

TC – Tempo de Ciclo

TPM – Total Productive Maintenance

Índice de Figuras

Figura 1 – Perdas no Processo Produtivo	8
Figura 2 – Tubo híbrido desmontado	12
Figura 3 - Fluxograma	12
Figura 4 – Comparação do número de peças produzidas nos três turnos nos meses de setembro e outubro na máquina 1	14
Figura 5 – Comparação do número de peças produzidas nos três turnos nos meses de setembro e outubro na máquina 2.....	15
Figura 6 – OEE da máquina 1	16
Figura 7 – OEE da máquina 2	16
Figura 8 – Dados relativos aos 3 indicadores do OEE da máquina 1	17
Figura 9 – Dados relativos aos 3 indicadores do OEE da máquina 2.....	18
Figura 10 – Principais perdas de disponibilidade na máquina 1	19
Figura 11 – Principais perdas de disponibilidade na máquina 2	20
Figura 12 – Micro-paragens de ambas as máquinas nos meses de setembro e outubro.....	21
Figura 13 – Local de armazenamento dos tubos ovais e placas onduladas de baixa cadência antes da lavadora	22
Figura 14 – Exemplo de etiqueta para uma referência de placa ondulada de maior cadência .	22
Figura 15 – Stocks mínimo e máximo no supermercado de tubos híbridos.....	23
Figura 16 – Exemplo de um cartão <i>kanban</i> de tubos híbridos	31
Figura 17 – Exemplo de um cartão <i>kanban</i> de placas onduladas	35
Figura 18 – Exemplo de um cartão <i>kanban</i> de tubos ovais depois da lavadora.....	36

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Dados relativos ao total de peças produzidas, peças não conformes e percentagem de sucata	13
Tabela 2 – Procura diária de cada referência e respetivos tempo de ciclo de cada produto.....	24
Tabela 3 – Capacidade requerida em cada processo e comparação das capacidades iniciais e das capacidades para 2018.....	24
Tabela 4 – Procura semanal (em unidades) de cada referência da área de produção em estudo	27
Tabela 5 – Procura semanal, tipo de embalagem e quantidade por embalagem dos tubos híbridos	28
Tabela 6 – Procura diária das referências de tubo híbrido	28
Tabela 7 – Quantidade de peças por <i>kanban</i> para cada referência de tubo híbrido	29
Tabela 8 – Tempo de produção da quantidade de peças de cada cartão <i>kanban</i> e tempo de <i>setup</i>	29
Tabela 9 – Coeficiente de segurança α e parâmetro $1+\alpha$ para cada referência	30
Tabela 10 – Número de cartões <i>kanban</i> necessários para cada referência.....	30
Tabela 11 – Quantidade de peças por <i>kanban</i> para as placas onduladas depois de lavadas	33
Tabela 12 – Quantidade de peças por <i>kanban</i> para os tubos ovais depois de lavados	33
Tabela 13 – Número de cartões <i>kanban</i> necessários para cada referência de tubo oval e placa ondulada depois de lavados	34

1 Introdução

Neste capítulo, é apresentado o tema do projeto e os seus objetivos e é feita uma apresentação da empresa. Para além disso, é explicado qual o método seguido no projeto e a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

O projeto foi realizado na unidade da BorgWarner de Viana do Castelo e tem como tema principal o dimensionamento de um sistema *kanban* numa área de produção da mesma. Nesta área de produção são produzidos, inicialmente, dois produtos distintos com várias referências que tanto podem ser vendidos a clientes externos como seguem para a linha de montagem de um outro produto – situação mais comum. Tudo isto acontece nesta área de produção, o que faz com que haja uma diversidade de variáveis a ter em conta no planeamento da produção e, por este motivo, existem falhas na comunicação entre as diferentes etapas, o que leva à ocorrência de falta de componentes para a linha de montagem. Para além disto, o produto resultante da montagem, que também tem muitas referências, é de extrema importância para a empresa porque funciona como fornecedor de outras linhas da fábrica e, caso alguma coisa corra mal nesta linha e a mesma pare, poderá afetar as outras linhas e estas vão parar também, o que resultará em grandes prejuízos para a empresa. O projeto foi realizado no departamento das operações com constantes visitas ao “*shop floor*”.

1.2 O Projeto na Empresa BorgWarner - Viana do Castelo

A BorgWarner é uma empresa norte-americana cotada em bolsa que atualmente está presente em 17 países na Europa, América, África e Ásia num total de 62 fábricas. Atua no setor automóvel produzindo peças para motores, transmissões e sistemas de condução de fluídos. O principal foco da empresa consiste no desenvolvimento de tecnologias que permitam reduzir as emissões, melhorar o consumo de combustível e o desempenho. A visão do grupo BorgWarner é a seguinte: “*Um mundo com energia limpa e eficiente*”. Em 2016, registaram uma faturação de 9,07 biliões de dólares, ou seja, cerca de 7,44 biliões de euros.

A BorgWarner Portugal está localizada no Parque Empresarial de Lanheses desde 2014 e conta com 804 colaboradores. Antes de ser transferida para Viana do Castelo, as instalações da empresa eram em Valença, sendo que esta última foi fundada em 2005. Sendo assim, a BorgWarner já está em Portugal há quase 13 anos e houve a necessidade de mudar de instalações devido ao aumento do número de linhas de produção e dos volumes de produção. Como o sucesso era evidente, optou-se por construir a própria fábrica em Viana do Castelo em vez de terem um espaço alugado como era o caso das instalações de Valença.

A BorgWarner Portugal fabrica peças para o motor cujo objetivo comum é a redução de emissões. Alguns exemplos das peças produzidas são os *coolers* EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), tubos EGR, válvulas EGR, módulos EGR e módulos de controlo para velas incandescentes.

1.3 Objetivos do projeto

O principal objetivo deste projeto é a identificação dos problemas que estão na origem da ocorrência da falta de componentes provenientes dos dois processos fornecedor para a montagem dos tubos híbridos, através da análise de dados relativos a esta área de produção. Depois de identificados os principais problemas, será necessário definir uma solução para garantir que os componentes estão disponíveis para a montagem na altura certa.

1.4 Método seguido no projeto

A metodologia utilizada neste projeto consiste em três diferentes fases: a primeira de todas consiste no conhecimento do processo produtivo e da área de produção em questão, que consistiu em visitas contantes ao *shop floor*; em segundo lugar, perceber a situação inicial da empresa recolhendo e analisando os dados da área de produção de tubos híbridos, nomeadamente o OEE; por fim, foi necessário perceber os principais problemas da área de produção e definir qual a melhor solução para os problemas encontrados.

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em 5 capítulos. A seguir a este primeiro capítulo, é feita uma revisão bibliográfica dos conceitos mais importantes para este projeto, nomeadamente, do sistema de produção da Toyota, do *Lean Manufacturing* e os seus princípios. Para além disso, são abordadas algumas ferramentas do *Lean* como os 5S, TPM, OEE e o sistema *kanban*. No capítulo 3 é feita uma análise à situação da empresa no início do projeto através da análise de dados relativos ao OEE e é explicado como fluxo de materiais na área de produção em estudo. De seguida, no capítulo 4, é feita a apresentação da solução proposta, bem como todos os passos percorridos até chegar aos resultados finais. No quinto e último capítulo tem-se as principais conclusões do projeto e as perspetivas de trabalho futuro.

2 Enquadramento teórico

2.1 Toyota Production System

A Toyota foi responsável pelo desenvolvimento de grande parte dos conceitos do *Lean Manufacturing* quando, depois da II Guerra Mundial, a economia japonesa enfrentava sérios problemas e a empresa precisava de produzir apenas aquilo que correspondia à procura dos produtos e não poderia recorrer à produção em massa usada como estratégia pela indústria automóvel americana. Desta forma, Taiichi Ohno chegou à conclusão que a única maneira de ser flexível e, ao mesmo tempo, manter a competitividade, tendo em conta os problemas que enfrentava, seria através da eliminação dos desperdícios com o objetivo de diminuir os custos de produção (Hopp e Spearman 2000). Assim, Taiichi Ohno identificou os sete tipos de desperdícios que também são conhecidos como sete muda. Muda é uma palavra japonesa que em português significa, precisamente, desperdício. Os sete desperdícios ou *muda* englobam todas as atividades ou processos que não adicionam valor a um produto. Por outras palavras, se um cliente não está disposto a pagar por isso, é *muda* (Minardi 2017). É qualquer atividade humana que absorve recursos mas não cria valor (Womack e Jones 2003). Os sete tipos de desperdícios são:

- **Transporte:** movimento excessivo de um produto entre processos ou localizações, movimentações de materiais para locais provisórios que obrigam a um reposicionamento posterior. Uma das causas deste desperdício pode ser a distância excessiva entre o equipamento;
- **Inventário:** sempre que há excesso de matéria-prima, produtos acabados e de produtos em curso. O inventário ocupa espaço e recursos financeiros, sempre que ocorrem estas situações tem-se desperdícios;
- **Espera:** pessoas paradas à espera de material, de informação, de equipamento ou ferramentas são alguns exemplos de desperdícios;
- **Defeitos:** produtos que não cumprem as especificações (produtos não conformes) criam *muda*;
- **Movimento:** movimento desnecessário de uma pessoa que não adiciona valor ao processo. Uma das causas destes movimentos desnecessários podem ser as deslocações por falta de algum elemento do trabalho que podia e devia estar no local;
- **Excesso de processamento:** todos os processos que não adicionem valor ao produto são considerados *muda*. O uso de ferramentas impróprias para executar uma tarefa pode ser uma causa deste desperdício;
- **Excesso de produção:** tudo aquilo que excede a quantidade de produto pedida pelo cliente, é considerado desperdício porque a empresa perdeu tempo a produzir uma coisa que não era pedida (em vez de fazer aquilo para que tinha encomendas).

Foi então com o objetivo de eliminar os desperdícios que surgiu o Toyota Production System (TPS) que tinha como base o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*.

No *Just-in-Time* só se deve produzir aquilo que é preciso quando é preciso e nada mais que isso. Tudo aquilo que esteja acima da quantidade necessária é considerado desperdício, porque não pode ser utilizado agora (Chase, Jacobs, e Aquilano 2006). Isto permite que se reduza o espaço necessário, o inventário e os custos associados ao mesmo e o tempo de ocupação dos equipamentos, e fez com que aparecesse o conceito *pull*. Para ser possível a aplicação do conceito JIT na indústria japonesa, foi necessário que houvesse grande trabalho no que diz respeito à flexibilidade, *lead times* e qualidade. *Jidoka* é um termo japonês que significa automatizar com um toque humano. Uma máquina trabalha automaticamente, mas sempre que deteta um erro/defeito para até que alguém resolva o problema.

Com este sistema, a Toyota conseguiu reduzir os custos uma vez que tinha um modelo de produção flexível e eficiente que lhe permitia produzir apenas a quantidade necessária dos diferentes modelos de carros.

Alguns anos mais tarde, Fujio Cho enunciou o modelo *Toyota Way* que assenta em dois princípios: melhoria contínua e respeito pelas pessoas (Coetzee, van der Merwe, e van Dyk 2016). A melhoria contínua engloba os conceitos de Desafio, Kaizen e Genchi Genbutsu (significa “ir à origem”). O respeito pelas pessoas engloba os conceitos de respeito e trabalho de equipa. Este modelo levou ao grande sucesso da Toyota que se tornou um exemplo a seguir para outras empresas.

2.2 Lean Manufacturing

O *Lean* foi desenvolvido para entender as razões do sucesso da Toyota sendo uma sistematização das práticas empíricas do TPS e da indústria japonesa e ficou conhecido em qualquer parte do mundo quando foi lançado o livro “The Machine That Changed the World” (Womack, Jones, e Roos 1990) baseado num estudo sobre a indústria automóvel. Atualmente, o *Lean* é usado em qualquer indústria e até mesmo nos serviços, uma vez que é fundamental para a organização de uma empresa e para conseguir manter-se no mercado.

O termo *Lean*, que em português significa magro, promove formas de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que adicionam valor, executar as atividades sem interrupções sempre que alguém as solicita e tornar o desempenho cada vez maior. Resumindo, *lean* fornece uma maneira de fazer mais com menos – menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço – enquanto fornece aos clientes aquilo que eles querem (Womack e Jones 2003). Com isto, o principal objetivo é eliminar os desperdícios.

O *Lean Manufacturing* apresenta cinco princípios que visam eliminar os desperdícios. Esses princípios são (Womack e Jones 2003):

- Valor – o valor apenas pode ser definido em função do cliente final, ou seja, é aquilo que o cliente está disposto a pagar por um determinado produto. Apenas é significativo quando expresso em termos de um produto específico que vá de encontro às necessidades do cliente a um preço específico e num momento específico.
- Cadeia de Valor – é o conjunto de todas as etapas necessárias que permitem agregar o valor pretendido pelo cliente.
- Fluxo contínuo – após a definição da cadeia de valor, a produção deve ser feita sem interrupções para que haja um fluxo contínuo sem esperas. Quando uma peça sai de um processo deve entrar de imediato no seguinte.

- Produção Puxada (*Pull*) – neste tipo de produção, os produtos são fabricados apenas quando o cliente ou o processo cliente fazem o pedido.
- Perfeição – o que está subjacente a esta procura da perfeição é a filosofia da melhoria contínua, que, entre outras coisas, implica começar em algum ponto o mais rapidamente possível e melhorar a partir daí, adaptando a organização à evolução da procura. O objetivo é que o processo atinja a perfeição, pelo que o mesmo é revisto e analisado de tempos a tempos, são testadas e implementadas novas tecnologias para garantir a melhoria contínua.

2.3 Ferramentas *Lean*

O *Lean Manufacturing* utiliza uma grande variedade de ferramentas de gestão para a eliminação dos desperdícios. Atualmente, a indústria e os serviços enfrentam grandes desafios devido à globalização, ao aumento da competitividade e à situação ambiental (Andersson e Bellgran 2011). Cada empresa deve perceber quais as suas necessidades e aplicar as ferramentas que se adequam a essas necessidades. De seguida serão abordadas as mais importantes para a realização deste trabalho.

2.3.1 5S

O principal objetivo do método 5S é manter o local de trabalho organizado, limpo e arrumado, sob condições padronizadas e através da disciplina para o melhor desempenho nas atividades de cada um. É uma das ferramentas básicas do *lean*.

A metodologia dos 5S baseia-se em 5 palavras japonesas começadas por “S” (Womack e Jones 2003):

- 1) *Seiri* (sentido de utilidade) – todas as ferramentas ou materiais que não são necessárias são removidas da área de trabalho. Devem ser mantidos no espaço de trabalho apenas os materiais e ferramentas necessárias para a tarefa a executar nesse espaço;
- 2) *Seiton* (sentido de organização) – organizar os materiais que não foram removidos, definindo um lugar para cada coisa e uma coisa para cada lugar próximo do local de trabalho, evitando movimentos desnecessários. É necessário decidir onde e como as coisas devem ser colocadas e quais as regras que devem ser obedecidas para garantir que isto é mantido;
- 3) *Seiso* (sentido de limpeza) – limpeza do local de trabalho com todos os componentes nos respetivos lugares para estarem aptos a serem utilizados quando necessários;
- 4) *Seiketsu* (sentido de padronização) – padronizar as práticas de trabalho e a organização do espaço para manter o estado de arrumação, limpeza e ordem;
- 5) *Shitsuke* (sentido de autodisciplina) – treino e disciplina para manter o local. Devem ser realizadas auditorias periódicas e o operador deverá ter orgulho em ter o seu local de trabalho organizado.

2.3.2 TPM - Total Productive Maintenance

O TPM surgiu em 1971 e é uma filosofia de gestão da manutenção pensada para integrar a manutenção no processo produtivo. Nakajima (1988) define o TPM como “manutenção produtiva envolvendo a participação total” que inclui os seguintes elementos:

- a eficácia do equipamento;
- um sistema de manutenção preventiva para toda a vida útil do equipamento;
- implementação por vários departamentos (engenharia, operações e manutenção);
- envolvimento dos trabalhadores, desde a gestão de topo até aos operadores.
- promoção da manutenção preventiva através da motivação e da gestão de atividades autónomas em pequenos grupos.

Hartman (1992), que introduziu TPM em diversas empresas dos Estados Unidos, afirma que o TPM melhora permanentemente a eficácia do equipamento, com o envolvimento ativo dos operadores.

O grande objetivo do TPM, segundo Nakajima, é garantir a maior eficácia dos equipamentos e mantê-la nesse nível e, desta forma, incide sobre os seguintes pontos (Ben-Daya 2000):

- Melhoria da qualidade dos produtos;
- Redução do desperdício;
- Melhoria do estado da manutenção;
- Capacitação dos operadores.

Segundo Nakajima (1988), existem 16 grandes tipos de perdas no TPM:

- Perdas por avaria;
- Perdas por *setup* e ajustes;
- Perdas por substituição de ferramentas;
- Perdas de arranque;
- Perdas por pequenas paragens;
- Perdas de velocidade;
- Perdas devido ao fabrico de peças com defeito e ao seu retrabalho;
- Perdas devido à paragem da máquina para fazer manutenção preventiva, por exemplo;
- Perdas devidas a faltas de instruções, materiais ou meios de produção;
- Perdas de rendimentos de pessoal;
- Perdas devido à organização da linha;
- Perdas devido à logística;
- Perdas em medições e ajustes;
- Perdas devido a problemas de ajustes, de qualidade, de material e de atrito;
- Perdas de energia;
- Perdas de consumíveis.

Para a eliminação das dezasseis perdas do equipamento, Nakajima (1988) propõe a implementação dos 8 pilares do TPM desenvolvidos pela JIPM (Japan Institute of Productive Maintenance). Cada pilar do TPM tem um objetivo concreto:

- 1) Manutenção Autónoma – desenvolver a capacidade dos operadores para identificarem anomalias que possam indiciar falhas potenciais;
- 2) Manutenção Planeada – planear operações de manutenção para prevenir eventuais avarias, com base em dados estatísticos;
- 3) Melhorias Específicas – eliminar perdas específicas de determinado processo com base no *kaizen* envolvendo pequenas equipas para resolver essas questões detetadas;
- 4) Educação e Treino – desenvolver novas habilitações e conhecimentos para as chefias e para os trabalhadores da manutenção e da produção;
- 5) Manutenção da Qualidade – garantir zero defeitos com base em ações de melhoria de deteção e prevenção do erro para que possa ser mantida a qualidade dos produtos;
- 6) Gestão de desenho dos processos – introduzir os conhecimentos adquiridos em versões anteriores dos equipamentos na implementação de novos equipamentos;
- 7) TPM Administrativo – identificar e eliminar perdas das atividades de suporte ao processo como os meios de produção e os meios de manutenção;
- 8) Segurança, Higiene e Meio-ambiente
 - busca por zero acidentes, sem danos pessoais, materiais e ambientais, através de equipamentos confiáveis;
 - prevenção do erro humano;
 - desenvolvimento de processos e equipamentos que não sejam prejudiciais para o meio-ambiente.

2.3.3 OEE - Overall Equipment Effectiveness

O OEE é um conceito muito conhecido do TPM e é uma forma de medir a eficácia de uma máquina. Este indicador tem em conta 3 grandes fatores autónomos do processo produtivo – Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. Para o cálculo do OEE são consideradas as seis grandes perdas que limitam a eficácia do equipamento (Nakajima 1988):

- Paragens do equipamento por avarias;
- Mudanças de ferramenta e ajustes (*setup*);
- Esperas ou pequenas paragens devido a outras etapas do processo (a montante ou a jusante);
- Redução da velocidade prevista da operação;
- Sucata e retrabalho (defeitos);
- Perdas no *startup*.

Estas perdas são divididas nas três categorias ditas anteriormente (disponibilidade, desempenho e qualidade) e, como para qualquer métrica de gestão, é necessário que seja recolhido um conjunto de dados como, por exemplo, as paragens programadas, as paragens não programadas, a quantidade produzida e o número de peças de sucata e de peças retrabalhadas.

A definição do OEE está normalmente relacionada com a Eficácia Global do Equipamento em vez da Eficiência Global do Equipamento.

Na figura 1 encontram-se representadas as perdas que são tidas em conta num processo produtivo para o posterior cálculo do OEE.

Tempo Total Disponível		
Tempo de Produção Planeado		Paragens Programadas
Tempo Operacional		Perdas de Disponibilidade
Tempo Operacional Efetivo	Perdas de Desempenho	
Tempo Produtivo	Perdas de Qualidade	

Figura 1 – Perdas no Processo Produtivo

As paragens programadas incluem as pausas para as refeições, a manutenção programada e a limpeza no fim do turno. Às perdas de disponibilidade estão associadas todas as paragens não programadas que dizem respeito, por exemplo, às avarias das máquinas e ao tempo de *setup* e ajustes.

As perdas de velocidade acontecem quando a máquina está a produzir a uma velocidade menor do que a velocidade teórica máxima e o tempo de ciclo atual é superior ao tempo de ciclo teórico.

As perdas de qualidade acontecem quando se usa materiais inconsistentes, quando há erros do operador ou configurações incorretas como, por exemplo, ferramentas desalinhadas.

Os três indicadores utilizados no OEE são calculados da seguinte forma:

- Índice de Disponibilidade do Equipamento

A disponibilidade é uma medida que engloba as paragens não programadas do equipamento. Expressa a relação percentual entre o tempo que o equipamento operou e aquele que deveria ter operado. Uma disponibilidade de 100% significa que o processo foi executado sem nenhuma paragem registada. A equação (2.1) está representada para o cálculo da disponibilidade.

$$Disp. (%) = \frac{\text{Tempo de Produção Planeado} - \text{Paragens não Programadas}}{\text{Tempo de Produção Planeado}} \times 100 \quad (2.1)$$

$$= \frac{\text{Tempo Operacional}}{\text{Tempo de Produção Planeado}} \times 100$$

Como é possível ver na figura acima, o tempo de produção planeado é igual ao tempo total disponível sem as paragens programadas.

- Índice de Desempenho do Equipamento

O desempenho é uma medida para as perdas de velocidade. Expressa a relação percentual entre o tempo de ciclo teórico e o real. Um desempenho de 100% significa que o processo foi sempre executado à velocidade teórica máxima. O desempenho calcula-se como está descrito na equação (2.2).

$$\begin{aligned}
 \text{Desemp. (\%)} &= \frac{\text{Tempo de Ciclo Teórico} \times \text{Total de Peças Produzidas}}{\text{Tempo de Produção Planeado} - \text{Paragens não Programadas}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{Tempo Operacional Efetivo}}{\text{Tempo Operacional}} \times 100
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

- Índice de Qualidade do Produto

A qualidade é uma medida para o número de peças que não se encontram dentro das especificações (defeituosas). Expressa a percentagem de peças que foram produzidas corretamente à primeira tentativa. Relaciona, percentualmente, a quantidade de peças conformes com a quantidade total de peças produzidas. Um índice de qualidade de 100% significa que nenhuma peça necessitou de ser retrabalhada nem de ir para a sucata. A equação (2.3) explícita como se calcula o indicador da qualidade.

$$\begin{aligned}
 \text{Qualidade(\%)} &= \frac{\text{Total de peças produzidas} - \text{Número de peças defeituosas}}{\text{Total de peças produzidas}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{Tempo Produtivo}}{\text{Tempo Operacional Efetivo}} \times 100
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

O OEE vem dado pela equação (2.4):

$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade}$
--

(2.4)

2.3.4 Sistema Kanban

Kanban, em japonês, significa “sinal” ou “cartão de instrução”. O sistema *kanban* é uma ferramenta de sinalização para o reaprovisionamento e serve de suporte ao JIT, uma vez que permite regular os seus fluxos (Chase, Jacobs, e Aquilano 2006). Esta ferramenta controla os níveis de inventário no sistema para regular a produção.

Num determinado momento, existe uma determinada quantidade de stock num ponto de abastecimento. À medida que esse material é consumido, esse nível de stock vai diminuindo até atingir o nível de reposição (stock mínimo). Quando o nível de inventário atinge esse mínimo, um *kanban* deixa o supermercado e é colocado no fornecedor (uma máquina, por exemplo) que tem que começar a produzir a referência indicada no *kanban*. O stock mínimo deve ser configurado de modo a manter as necessidades a jusante até ao próximo fornecimento.

Normalmente, os cartões *kanban* contêm informação relativa à referência do produto, ao cliente, ao fornecedor e às quantidades a produzir.

O cliente de uma peça “puxa” pela do seu fornecedor. O cliente pode ser externo quando se tem um consumidor atual do produto ou interno quando é o operador/máquina da estação seguinte de um processo produtivo. O fornecedor pode também ser o operador/máquina da estação anterior.

A premissa do *kanban* é que o material não será produzido ou movido até o cliente enviar um sinal para o fazer (Rahman, Sharif, e Esa 2013).

Para determinar qual o número de cartões *kanban* necessários para um determinado produto existem várias fórmulas mas uma das mais utilizadas, principalmente na indústria automóvel, é a fórmula da Toyota. A equação (2.5) diz respeito a essa fórmula (Sugimori et al. 2007).

$$Y = \frac{D(Tw + Tp)(1 + \alpha)}{a} \quad (2.5)$$

Onde:

Y, é o número de cartões *kanban*

D, é a procura por unidade de tempo

Tw, é o tempo de espera do cartão *kanban*

Tp, é o tempo de processamento

a, é a capacidade de cada caixa/contentor e,

α , é o coeficiente de segurança

3 Descrição da situação inicial e identificação do problema

Os tubos híbridos, produto final da área de produção em estudo, são um dos componentes do refrigerador de gases de escape (*cooler EGR*) que são montados noutras linhas da fábrica. Um *cooler EGR* pode ter entre 4 e 64 tubos híbridos dos tipos que são produzidos nesta linha, dependendo da referência. A função dos tubos híbridos é manter os gases de escape em movimento a alta velocidade para aumentar as taxas de recirculação dos mesmos e reduzir rapidamente a sua temperatura, evitando a acumulação de hidrocarbonetos e fuligem e reduzindo a emissão de NO_x .

Atualmente são produzidas na linha 10 referências de tubo híbrido. O planeamento da produção é feito à quinta-feira para a semana imediatamente a seguir e a linha dos tubos híbridos funciona durante os 5 dias úteis com três turnos (24h/dia).

3.1 Processo produtivo

O tubo híbrido é constituído por um tubo com um perfil de faces paralelas e cantos arredondados que é designado na empresa por tubo oval, uma chapa com perfil ondulado que é designada por placa ondulada e uma folha que pode ser de níquel ou cobre. Apenas uma referência de tubo híbrido é montada com a folha de cobre, todas as outras contêm níquel porque é um material com elevada resistência à corrosão. Nesta área são ainda produzidas 16 referências de placa ondulada sendo que 10 delas são as correspondentes às de tubo híbrido e as outras 6 são para vender à BorgWarner de Vigo. No caso do tubo oval, são produzidas nesta secção 7 referências sendo que 6 delas são para a montagem do tubo híbrido e 1 é para vender à BorgWarner de Vigo. Relativamente às outras 4 referências de tubo oval que são para a montagem do tubo híbrido, 3 são produzidas noutra linha da fábrica designada por linha de soldadura laser e a outra é comprada a um fornecedor externo.

Na figura 2 pode ver-se um tubo híbrido desmontado para se poder visualizar todos os seus componentes.

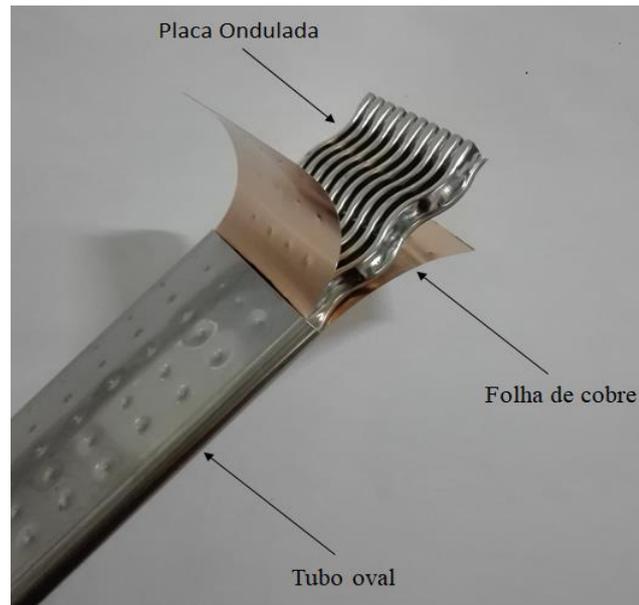


Figura 2 – Tubo híbrido desmontado

Na figura 3 está representado um fluxograma com as fases do processo produtivo do tubo híbrido e imagens do output de cada fase.

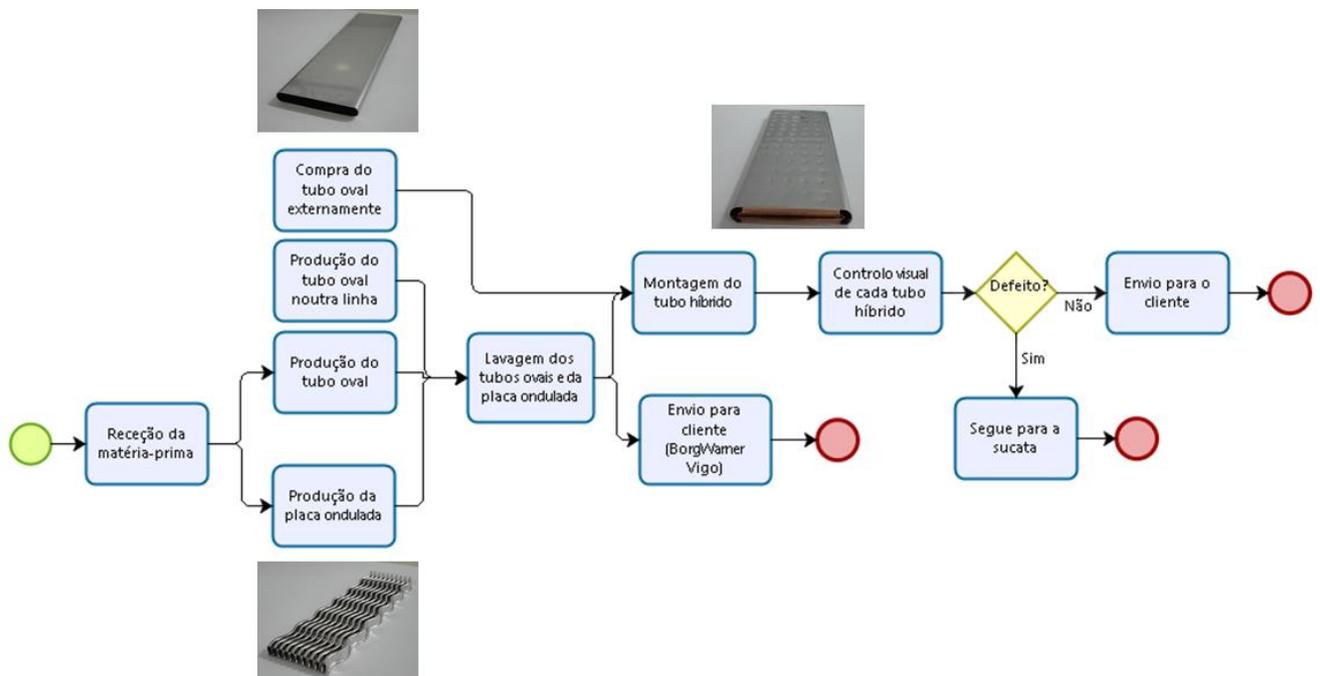


Figura 3 - Fluxograma

A placa ondulada é produzida através de um processo de estampagem, a partir de uma bobine de aço inoxidável, e posterior corte conforme as dimensões de cada referência. Em paralelo, está a ser produzido o tubo oval que resulta da conformação por rolos de um tubo redondo e posterior corte.

Para produzir o tubo oval há 2 equipamentos possíveis: uma máquina que faz a conformação de um tubo redondo como já foi referido acima e outra máquina que conforma uma chapa para tubo oval e faz a soldadura a laser do mesmo numa linha de produção designada por

linha de produção laser. Destes dois processos para o fabrico do tubo oval, o que está presente na linha em estudo é o primeiro – conformação do tubo redondo. Para produzir a placa ondulada existiam, até ao mês de dezembro, duas máquinas, que passaram a ser três nessa mesma altura devido ao aumento dos volumes de produção. Esta terceira ainda não se encontra a produzir porque ainda está em fase de testes. Em 2018, o número de máquinas de placas ainda irá aumentar para 5.

Depois de conformados, tanto o tubo oval como a placa ondulada têm de passar por uma lavadora uma vez que a sua produção envolve a utilização de óleo. Cada referência tem de ser colocada em bandejas próprias para entrarem na lavadora e por esse motivo tem de haver operadores dedicados a esta tarefa, assim como outros que retiraram as peças das bandejas, depois de saírem da lavadora.

A última etapa do processo produtivo é a montagem para dar origem ao tubo híbrido utilizando o tubo oval, a placa ondulada e a folha de cobre ou níquel. Após fazer a montagem, a máquina faz umas indentações (*dimple*) na parte superior do tubo com uns punções para que os 3 componentes não se separem. Mais tarde, numa outra linha de produção, o *foil* funcionará como elo de ligação entre o tubo oval e a placa ondulada através da soldadura evitando que estes voltem à forma inicial. Esta soldadura ocorre quando a peça, depois de montada no *cooler EGR*, passa no forno. Há apenas uma referência que é exceção porque, neste caso, o tubo híbrido tem que ir ao forno antes de ser montado no *cooler EGR* devido ao facto de ter tendência a voltar facilmente à forma inicial criando uma folga entre o tubo oval e a placa ondulada, quando montado no *cooler EGR*.

Para a montagem do tubo híbrido existiam duas máquinas e, devido ao aumento dos volumes de produção, passaram a ser 3 no mês de dezembro. No entanto, esta terceira ainda não está a produzir porque ainda estão a ser feitos ajustes.

Uma das referências de tubo oval e 6 de placa ondulada são mandadas diretamente para a BorgWarner Vigo depois de passarem na lavadora e não chegam à fase de montagem.

3.2 Apresentação e análise dos dados relativos à produção

Atualmente, a fábrica trabalha a três turnos durante os dias úteis: turno da manhã (6-14h), turno da tarde (14-22h) e o turno da noite (22-6h). O turno da manhã corresponde ao T1, o turno da tarde ao T2 e o turno da noite ao T3.

Os dados apresentados dizem respeito aos meses de setembro e de outubro. Esta escolha deve-se ao facto de apenas existirem dados completos destes dois meses. Os dados analisados dizem respeito às duas máquinas de montagem do tubo híbrido que serão designadas por máquina 1 e máquina 2. No mês de setembro trabalhou-se 21 dias em ambas as máquinas e no mês de outubro 20 dias.

Na tabela 1 pode-se observar o número total de peças produzidas, o número de peças não conformes produzidas em cada máquina e em cada turno, assim como a percentagem de sucata correspondente.

Tabela 1 – Dados relativos ao total de peças produzidas, peças não conformes e percentagem de sucata

	Máquina 1						Máquina 2					
	Setembro			Outubro			Setembro			Outubro		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Nº de peças NOK produzidas	66	70	96	202	0	235	46	86	122	311	31	146
Nº de peças produzidas	58782	64680	60587	52872	46074	49841	64125	72153	60855	62221	68959	74881
Percentagem de sucata	0,11%	0,11%	0,16%	0,38%	0,00%	0,47%	0,07%	0,12%	0,20%	0,50%	0,04%	0,19%

Pela análise da tabela é possível concluir que a qualidade não é um dos maiores problemas desta linha de produção, uma vez que a percentagem de sucata é sempre muito baixa, nunca superior a 0,5%. Desta forma, este trabalho não terá como foco este indicador. No que diz respeito às peças conformes que foram produzidas, entende-se que existem algumas variações para diferentes turnos e meses na mesma máquina. Na figura 4 é possível observar o número de peças conformes que foram produzidas na máquina 1 nos meses de setembro e outubro e nos três turnos existentes.

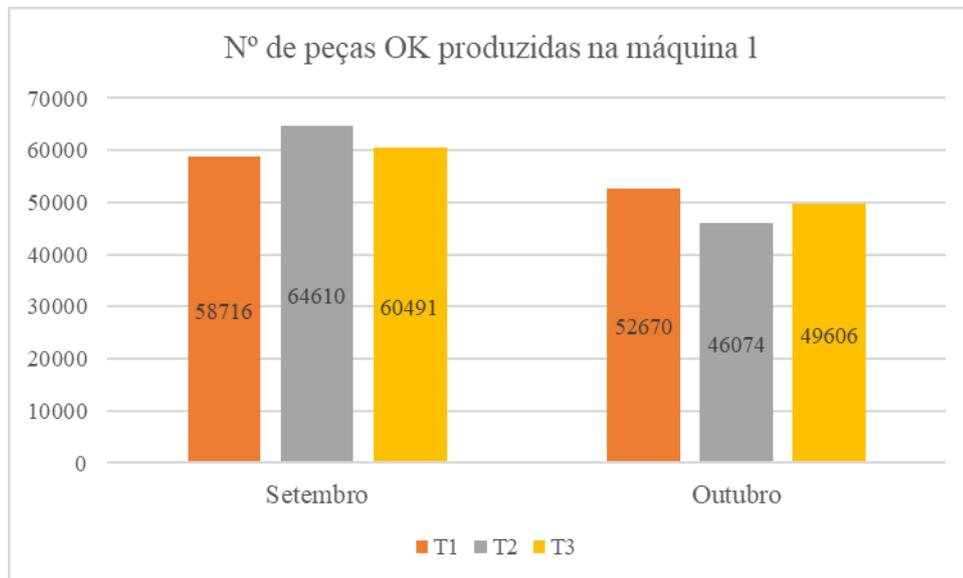


Figura 4 – Comparação do número de peças produzidas nos três turnos nos meses de setembro e outubro na máquina 1

Para qualquer um dos turnos, o número de peças ok produzidas é bastante superior no mês de setembro relativamente ao mês de outubro.

No mês de setembro, o turno 2 destacou-se dos outros produzindo mais de 64.000 peças, enquanto os turnos 1 e 3 produziram, respetivamente, 58.716 e 60.491 peças. Já no mês de outubro, o turno 2 produziu apenas 46.074 peças, ficando muito aquém do resultado do mês anterior. Apesar deste turno ser o que apresentou o pior resultado, os turnos 1 e 3 também diminuíram significativamente o número de peças ok produzidas.

Os resultados do número de peças ok relativos à máquina 2 encontram-se de seguida na figura 5.

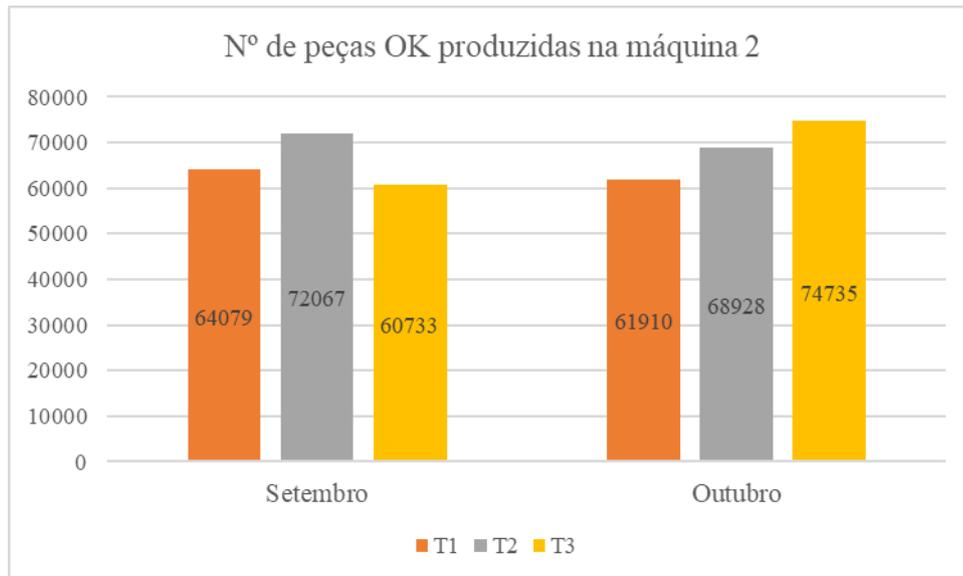


Figura 5 – Comparação do número de peças produzidas nos três turnos nos meses de setembro e outubro na máquina 2

Na máquina 2 já não há uma tendência decrescente de setembro para outubro, depende de turno para turno. No mês de setembro o turno 2 foi o que mais peças produziu, apresentando um valor inferior no mês seguinte. Contrariamente o turno 3 aumentou significativamente o número de peças produzidas – cerca de 14000 peças. O turno 1 foi aquele que apresentou menos variação, no entanto não foi o que apresentou o melhor resultado.

Comparando agora as duas máquinas, verifica-se que o número de peças ok produzidas na máquina 2 é sempre superior devido à diferença do tempo de ciclo das duas máquinas. O tempo de ciclo teórico da máquina 2 é cerca de 4,5 segundos, enquanto a máquina 1 tem um ciclo teórico de 5,5 segundos.

Posteriormente, analisou-se os dados relativos ao OEE das máquinas 1 e 2. O OEE é calculado tendo em conta apenas o tempo de produção planeado, ou seja, as paragens programadas não afetam o valor deste indicador. A empresa estipulou como objetivo um OEE de 85%, mas atualmente ainda apresenta resultados muito aquém desse valor. No mês de setembro, a máquina 1 obteve um valor de 64,7% e a máquina 2 registou um valor de 58,2%. Já no mês de outubro, a máquina 1 registou um valor de 54,3% e a máquina 2 um valor de 75,5%. Na figura 6 está representado o valor do OEE para a máquina 1 para cada turno no mês de setembro e outubro.

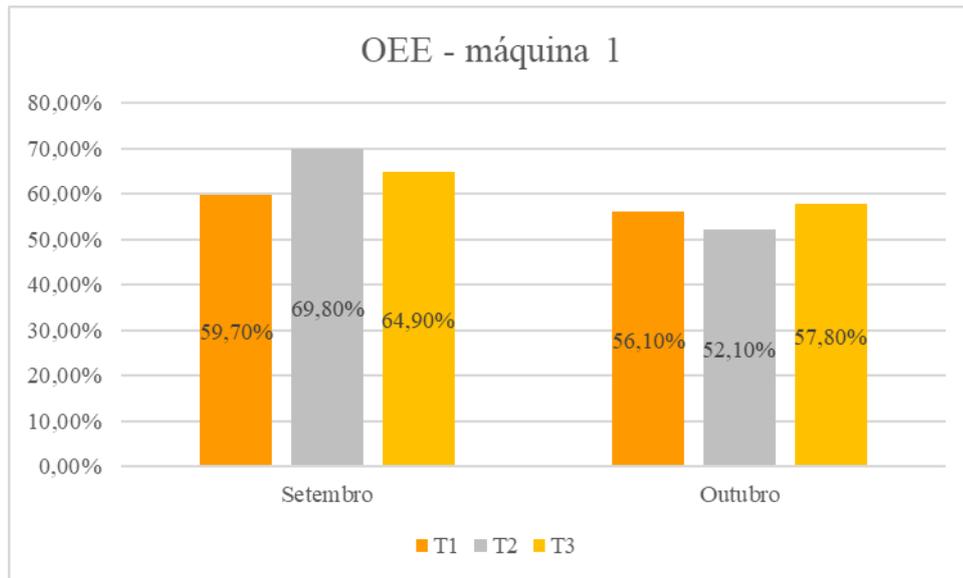


Figura 6 – OEE da máquina 1

Em qualquer dos casos representados, o objetivo de 85% para o OEE nunca foi atingido. O valor mais alto que foi registado diz respeito aos 69,80% correspondentes ao turno 2 na máquina 1 no mês de setembro, que mesmo assim está muito longe do valor estabelecido. Faz sentido que o turno que produz mais peças ok tenha um OEE mais elevado, no entanto há pequenas exceções que merecem alguma atenção. No caso da máquina 1, sabe-se que no mês de outubro o turno 1 produziu 52670 peças boas e o turno 3 produziu 49606 peças. Apesar do turno 1 ter produzido mais peças ok, apresenta um OEE ligeiramente mais baixo que se deve ao facto de ter tido menos paragens programadas que o turno 3. Como as paragens programadas não afetam o OEE, o turno 3 teve menos tempo para produzir que o turno 1 mas nesse tempo que teve foi mais eficaz.

A figura 7 apresenta os dados do OEE para a máquina 2.

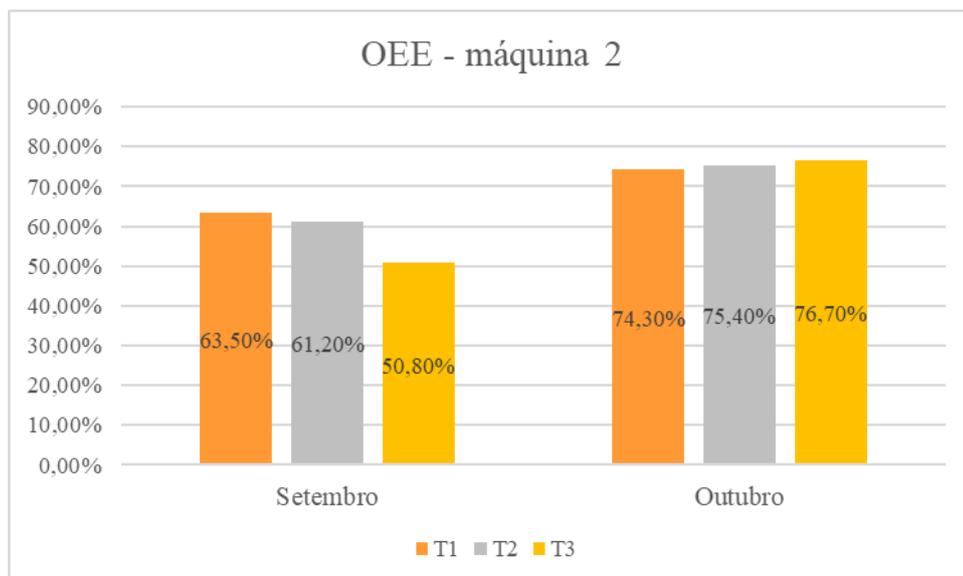


Figura 7 – OEE da máquina 2

Relativamente ao mês de outubro, pode-se concluir que não existem grandes diferenças entre os diferentes turnos, tendo havido uma acentuada melhoria relativamente ao mês de setembro. No mês de setembro, o turno 2 produziu mais peças que o turno 1 mas isso não se reflete no OEE porque o turno 1 teve mais do dobro do tempo em paragens programadas, sendo normal apresentar um OEE mais elevado.

Para compreender qual dos três indicadores (desempenho, performance e qualidade) apresenta o pior cenário foi feita uma análise aos valores de cada um deles para cada máquina e para cada turno. Na figura 8 estão representados os valores relativos à máquina 1.

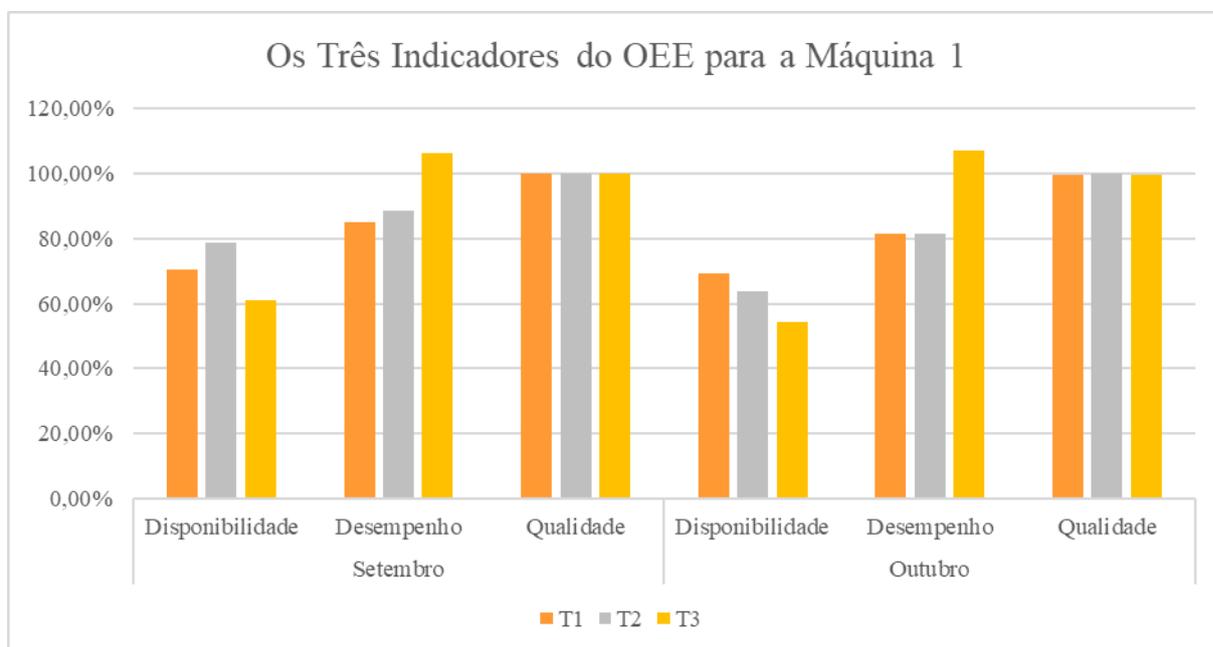


Figura 8 – Dados relativos aos 3 indicadores do OEE da máquina 1

Através da análise do gráfico, pode-se concluir que o indicador da qualidade é aquele que apresenta os melhores resultados estando muito perto dos 100% para os três turnos e nos dois meses em análise, sendo aquele que não será necessário incidir como já tinha sido visto anteriormente com base na percentagem de sucata.

Quanto à disponibilidade e ao desempenho, apresentam os dois valores mais baixos, principalmente o primeiro. No caso da disponibilidade, os valores nunca chegam aos 80%, tendo mesmo sido registado um valor de pouco mais de 50% para o turno 3 no mês de outubro.

No desempenho, o turno 3 apresenta um valor superior a 100% em ambos os meses que pode ser devido ao facto de, com alguma frequência, o operador deixar a máquina carregada com matéria-prima (tubo oval e placa ondulada) imediatamente antes de ir comer, o que faz com que ela fique a produzir cerca de 10 minutos da meia hora de pausa para a refeição. Como esses minutos em que a máquina ficou a produzir estão registados como paragem programada, leva a que a máquina, teoricamente, tenha que produzir mais rápido do que o seu tempo de ciclo teórico, o que na realidade não aconteceu.

Como o registo das paragens é feito manualmente, é normal que haja falhas no registo das paragens e que tanto se pode registar tempo a mais como tempo a menos. Se for registado tempo a mais, o desempenho vai aumentar porque a máquina tem menos tempo para produzir um determinado número de peças do que aquele que teve na realidade.

Outro dos motivos a que se deve este valor de desempenho poderá ser o facto de se estar a fazer algumas experiências para acelerar a máquina, o que faz com que em alguns momentos o ciclo de tempo real possa ser inferior ao teórico.

Durante o mês de setembro apenas foi utilizada 56% da capacidade da máquina 1 e no mês de outubro 45%. Esta capacidade representa o tempo que a máquina esteve disponível para produzir do total de tempo disponível (24h/dia), ou seja, ao tempo total são retiradas todas as paragens (programadas e não programadas).

Na figura 9 encontram-se os resultados para os mesmos indicadores e para os mesmos meses relativos à máquina 2.

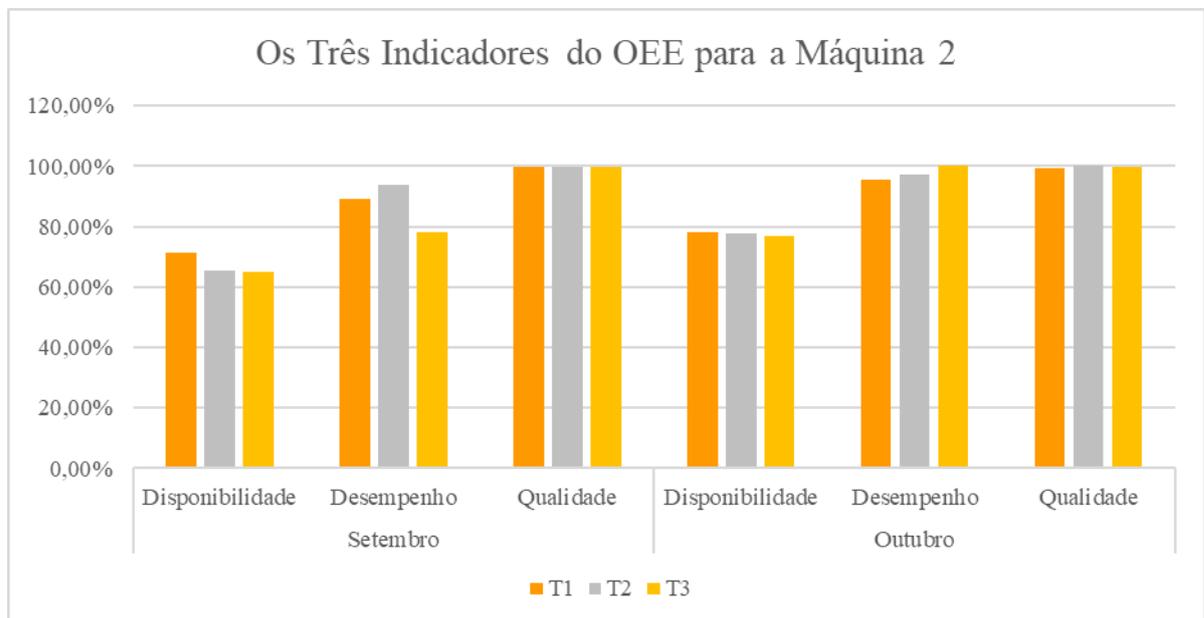


Figura 9 – Dados relativos aos 3 indicadores do OEE da máquina 2

A situação para a máquina 2 é semelhante à que já foi vista na máquina 1 em termos de qualidade porque os valores aproximam-se, igualmente, dos 100%. No que ao desempenho diz respeito, esta máquina apresenta valores sempre superiores a 95% no mês de outubro, tendo havido em todos os turnos uma melhoria relativamente a setembro. A disponibilidade continua a ser o pior indicador tal como na máquina 1, o que significa que se tem aqui os problemas mais significativos. Deste modo, o trabalho irá incidir mais na disponibilidade.

Nesta máquina, apenas foi utilizada 49% da sua capacidade no mês de setembro e 57% no mês de outubro.

Algumas das paragens não programadas mais comuns que afetam a disponibilidade na máquina 1 de tubos híbridos encontram-se na figura 10.

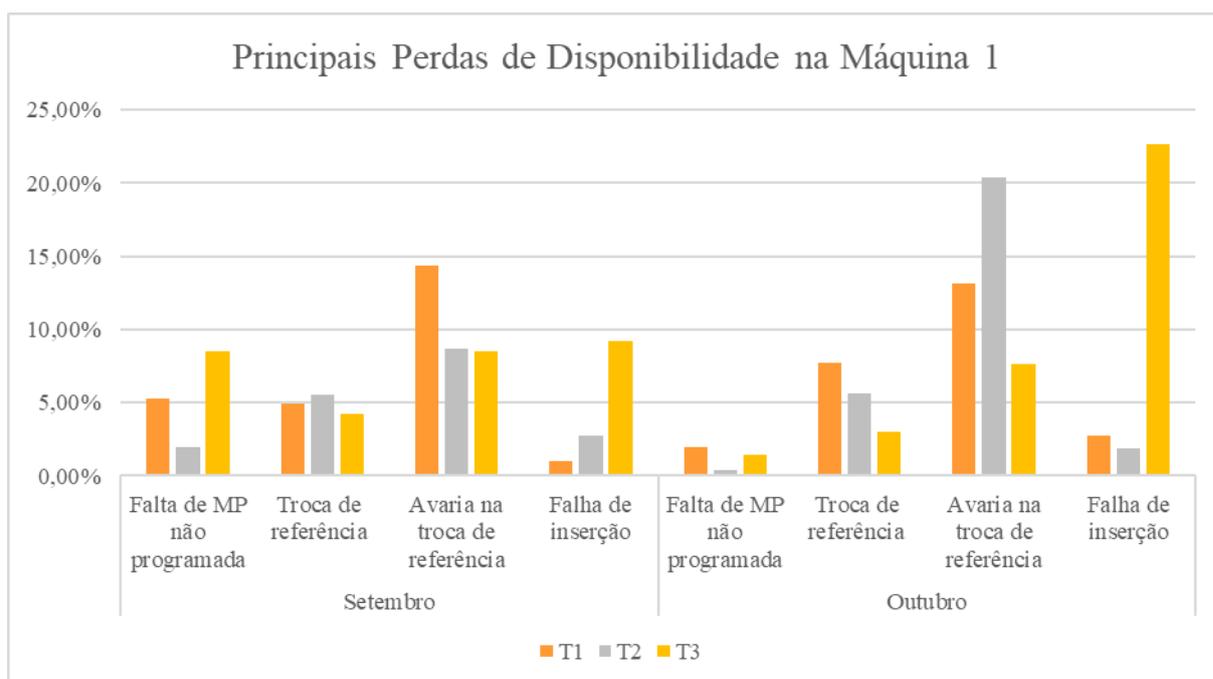


Figura 10 – Principais perdas de disponibilidade na máquina 1

Neste gráfico está representada a porcentagem de tempo que, em média, cada turno de 8h esteve parado devido a estes problemas. Através do gráfico é possível perceber que um dos motivos pelos quais as duas máquinas param é a falta de matéria-prima não programada. Para produzir os tubos híbridos são necessários o tubo oval e a placa ondulada vindos de outras máquinas da linha. O que acontece é que se quer produzir uma determinada referência numa das máquinas que faz a montagem do tubo híbrido (máquinas 1 e 2) e não há a matéria-prima necessária (tubo oval e/ou placa ondulada), e muitas vezes o *setup* já foi feito. A avaria na troca de referência (quando se liga a máquina depois da troca de referência e ela não funciona porque tem algum problema que não seja devido a algum erro na troca de referência) é a perda mais comum nos três turnos, seguida pela troca de referência. No turno da noite, a falha de inserção (quando a máquina, ao fazer a montagem, não insere corretamente a placa ondulada no tubo oval) representa uma grande porcentagem sendo superior a 20% no mês de outubro.

Os dados das perdas de disponibilidade relativas à máquina 2 para os meses de setembro e outubro e para os diferentes turnos encontram-se na figura 11.

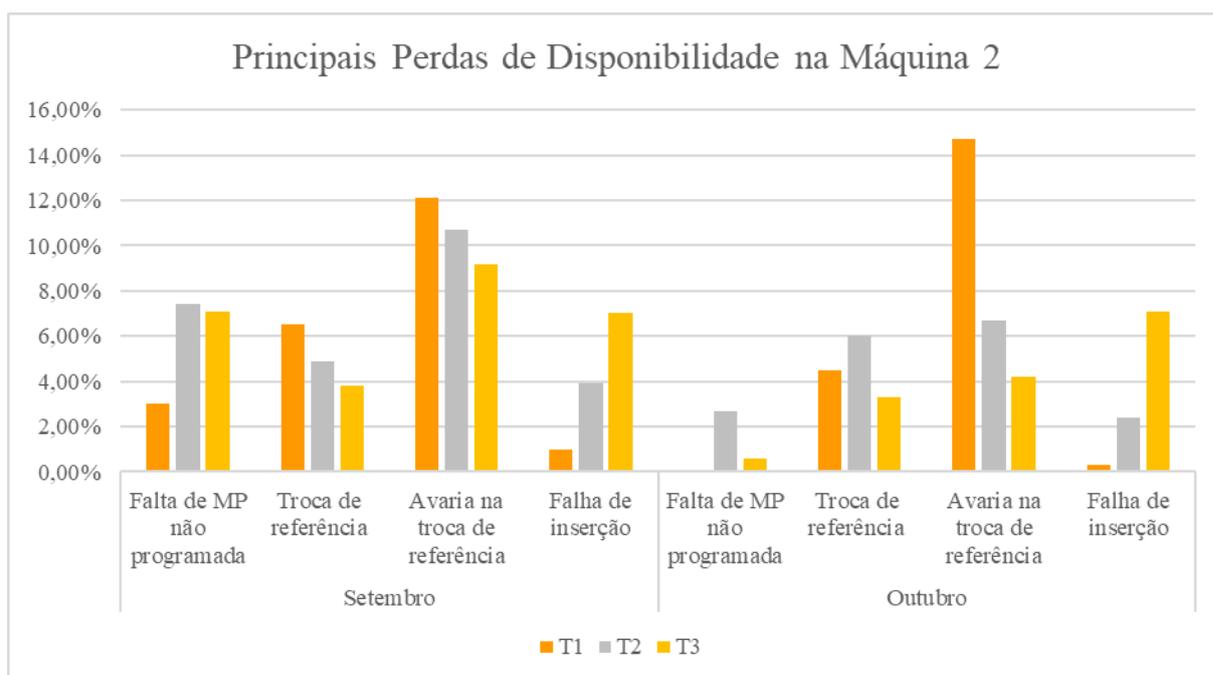


Figura 11 – Principais perdas de disponibilidade na máquina 2

Assim como na máquina 1, a falta de matéria-prima não programada continua a acontecer com alguma frequência principalmente no mês de setembro. A avaria na troca de referência e a troca de referência continuam a ser as duas perdas de disponibilidade mais acentuadas. Apesar disso, o trabalho não irá incidir nestas duas perdas porque a empresa já tem a correr ações de melhoria para as mesmas, mas sim na falta de matéria-prima não programada. Para quantificar qual a influência da falta de matéria-prima não programada, quantificou-se qual o valor médio perdido de peças. Para isso, realizou-se a média ponderada dos valores correspondentes às duas máquinas e aos dois diferentes meses. O valor obtido foi cerca de 3,43%, o que significa que cada turno de 8h esteve parado cerca de 987,84 s que resulta numa perda média de, aproximadamente, 219 peças por turno e por dia.

As perdas de desempenho englobam as perdas de tempo de ciclo que correspondem às perdas de velocidade do equipamento e as micro-paragens. Para os dois meses em estudo e para as duas máquinas existentes, nunca ocorreram perdas de tempo de ciclo. Todas as perdas de desempenho são relativas a micro-paragens e a média das mesmas está representada na figura 12 para ambos os meses e ambas as máquinas e para todos os turnos.

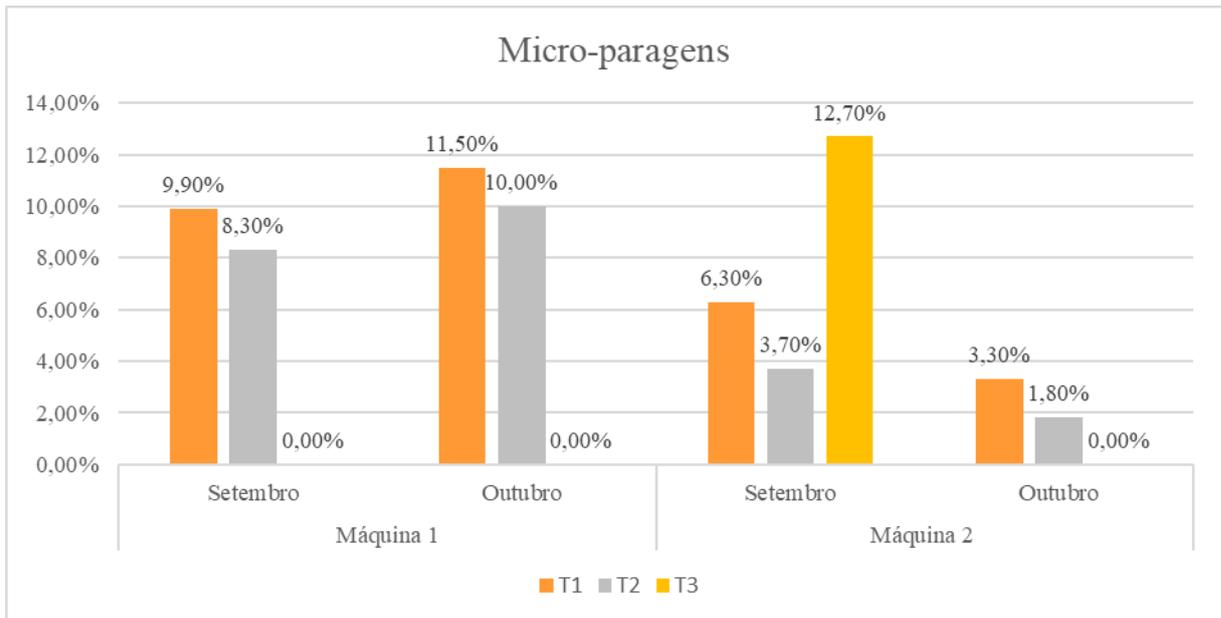


Figura 12 – Micro-paragens de ambas as máquinas nos meses de setembro e outubro

O objetivo estabelecido pela empresa para as micro-paragens é 5% por dia, ou seja, as paragens não registadas não podem ultrapassar esse valor. Na máquina 1, tanto o turno 1 como o turno 2 apresentam, em média, micro-paragens superiores a 5%, o que significa que não foi possível cumprir o objetivo estabelecido para cada dia visto que só um dos turnos já ultrapassa esse objetivo diário.

Ainda tendo em conta as micro-paragens, mas relativamente à máquina 2, verifica-se que no mês de setembro o objetivo também não foi cumprido e o turno 3 apresenta um valor médio de micro-paragens muito alto. No entanto, no mês de outubro houve uma melhoria significativa e o objetivo de 5% por dia esteve perto de ser cumprido.

3.3 Fluxo de Materiais

Atualmente, existe um local de armazenamento antes da lavadora para os tubos ovais e placas onduladas de menor cadência e um supermercado antes da lavadora para os tubos ovais e para as placas onduladas de maior cadência. O local de armazenamento das placas onduladas e tubos ovais de menor cadência tem umas marcações no chão para colocar as caixas e cada divisão tem uma etiqueta com a referência que se deve colocar em cada espaço, para os casos das referências que não estão destacadas no supermercado deve-se colocar no espaço onde tem a etiqueta que diz “outras referências”. No entanto, este local não costuma ser utilizado porque as referências de menor cadência quando são produzidas costumam ir logo para a lavadora. Na figura 13 encontra-se o local de armazenamento para as placas onduladas e para o tubo oval de menor cadência que, como se pode ver, está vazio. Neste momento, parte deste espaço está a ser ocupado com paletes de bobines para produzir a placa ondulada. Na imagem é possível ver também as etiquetas azuis que organizam as divisões do supermercado por referências, como já foi explicado.



Figura 13 – Local de armazenamento dos tubos ovais e placas onduladas de baixa cadência antes da lavadora

O supermercado dos tubos ovais e das placas de maior cadência é semelhante ao das placas de menor cadência como se pode ver nas figuras 1 e 2 do anexo C, mas na etiqueta, para além da referência, tem também qual o stock máximo e mínimo e o número de dias que esses *stocks* cobrem. Na figura 14 tem-se um exemplo para uma referência de placa ondulada de elevada cadência.



Figura 14 – Exemplo de etiqueta para uma referência de placa ondulada de maior cadência

Depois de passarem pela lavadora, tanto as placas como os tubos ovais são colocados em contentores ou caixas. Neste caso, os operadores apenas identificam cada caixa ou contentor e colocam num espaço livre existente na zona destinada a esse fim como se pode ver nas figuras 1 e 2 do anexo B. No entanto, não há uma organização do espaço por referências. Dois contentores da mesma referência podem estar separados.

O produto final da linha é posto em caixas e colocado num supermercado que está igualmente dividido por espaços que têm uns cartões afixados com a informação relativa à referência a colocar naquele espaço como se pode ver na figura 1 do anexo A. Cada espaço tem definido o stock mínimo e o stock máximo com linhas vermelhas como é possível ver na figura 15.

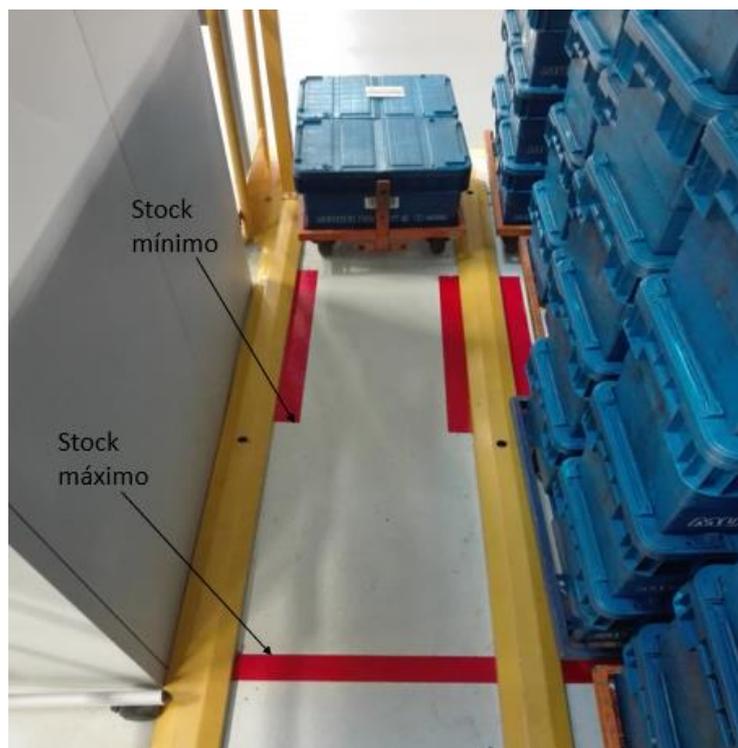


Figura 15 – Stocks mínimo e máximo no supermercado de tubos híbridos

Apesar da existência destes supermercados que permitem que o material esteja organizado por referências e que se consiga ver mais rapidamente as quantidades de cada uma e aquilo que é mais urgente produzir, não há nenhum método eficaz para analisar situações em que há mais que uma referência abaixo do stock mínimo e ajudar a decidir imediatamente qual a ordem pela qual se deve produzir essas referências, o que significa que não está a funcionar como um supermercado. Para além disso, acontece muitas vezes algumas referências estarem abaixo do stock mínimo e outras acima do stock máximo, tal como se pode ver nas figuras 2 e 3 do anexo A.

As ordens de fabrico são dadas aos operadores pelo líder de equipa e quem informa o líder de equipa é o *product leader* (PL). As ordens de fabrico recebidas pelos operadores das máquinas que fabricam os 2 componentes não estão sincronizadas com as ordens de fabrico das máquinas de montagem de tubo híbrido, o que leva à ocorrência dos problemas descritos acima e conseqüente falta de componentes para a montagem do tubo híbrido.

3.4 Capacidade disponível na área de produção de tubos híbridos

As máquinas que produzem o tubo híbrido, tubo oval e a placa ondulada têm exatamente os mesmos valores de capacidade. Ambas têm um tempo total disponível por dia de 24 h, ou seja, 1440 minutos que correspondem aos 3 turnos de 8 h. Pelo facto de todos os dias existirem perdas, elas não produzem durante as 24 h. Relativamente às paragens programadas, cada turno tem 30 minutos para a refeição, 10 minutos de ginástica laboral e 10 minutos para limpeza no final do turno. Isto representa 50 minutos de paragens programadas em cada turno, sendo que no total dos 3 turnos corresponde a 150 minutos. Sendo assim, o tempo de produção planeado (tempo total disponível – paragens programadas) é 1290 minutos. Para se obter o tempo produtivo (tempo que a máquina está efetivamente a produzir peças boas) falta contabilizar as perdas de qualidade, desempenho e disponibilidade. Para isso, utilizou-se o valor estabelecido como objetivo para o OEE que é 85%. Desta forma, o tempo produtivo é cerca de 1096,5 minutos.

Para determinar a capacidade necessária nos 3 diferentes processos, utilizou-se a procura diária para as diferentes referências e os tempos de ciclo (TC) para produzir cada uma dessas referências de tubo oval, placa ondulada e tubo híbrido. O traço (-) significa que não é produzida nesta área essa referência desse produto (por exemplo, referência R3 de tubo oval). Como as quantidades da procura de algumas referências sofreram alterações acentuadas relativamente a 2017, a determinação da procura diária teve em conta a quantidade de procura anual dos diferentes clientes que dividida pelas 48 semanas de trabalho de 2018 e pelos 5 dias da semana deu a previsão diária de cada referência. Essa informação está representada na tabela 2.

Tabela 2 – Procura diária de cada referência e respetivos tempo de ciclo de cada produto

Referência	Procura diária (em unidades)	TC Tubo Oval	TC Placa Ondulada	TC Tubo Híbrido
R1	7200	2	2	-
R2	36000	-	1,5	-
R3	560	-	3,6	4,5
R4	600	3,6	3,6	4,5
R5	7175	-	3,6	4,5
R6	1680	3,6	3,6	4,5
R7	165	3,6	3,6	4,5
R8	540	7,5	7,5	4,5
R9	75	3,6	3,6	4,5
R10	9050	-	3,6	4,5
R11	2740	3,6	3,6	4,5
R12	9760	-	3,6	-
R13	7400	-	3,6	-
R14	4750	-	3,6	4,5
R15	7980	-	3,6	-
R16	7350	-	3,6	-

Depois de recolhida a informação da tabela 2, calculou-se qual seria o tempo necessário para produzir as referências de tubo oval, placa ondulada e tubo híbrido. No caso do tubo oval, sabe-se que para produzir a referência R1 são necessários 14400 s. Foi calculada capacidade requerida em segundos por cada tipo de produto e a mesma foi comparada com a capacidade inicial e posteriormente com a capacidade em 2018. Os valores totais obtidos para os 3 diferentes produtos encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 – Capacidade requerida em cada processo e comparação das capacidades iniciais e das capacidades para 2018

Produto	Capacidade requerida (s)	Nº inicial de máquinas vs 2018	Capacidade inicial (s)	Capacidade em 2018 (s)
Tubo oval	37386	1 → 1	65790	65790
Placa ondulada	285876	2 → 5	131580	328950
Tubo híbrido	123007,5	2 → 3	131580	197370

Pela análise da tabela é possível concluir que com o número inicial de máquinas de placa ondulada e tubo híbrido não seria possível satisfazer a procura, mas com o aumento do número de máquinas em ambos os casos já é possível garantir essa procura como se pode ver comparando a capacidade requerida tendo em conta a procura com a capacidade em 2018.

Como já foi explicado acima, o tubo oval e a placa ondulada têm que passar por uma lavadora depois de serem produzidos. A lavadora funciona 24 h por dia, sendo esta a sua capacidade, uma vez que não existem perdas de qualidade, desempenho ou disponibilidade. O tempo de ciclo correspondente é 2,6 s por peça, sendo que consegue lavar cerca de 33230 peças por dia.

Por dia, a lavadora tem que lavar 13000 tubos ovais, 103025 placas onduladas e ainda 20975 tubos ovais que são produzidos na linha de soldadura laser (outra linha da fábrica), o que dá um total de 137000 peças por dia. Apenas uma lavadora não tem capacidade para lavar todas as peças necessárias, sendo que seriam necessárias 5 lavadoras iguais à já existente para que se tivesse capacidade suficiente e excedente.

3.5 Tipo de embalagem

Em todas as fases do processo produtivo, os diferentes tipos de produto (tubo oval, placa ondulada e, por fim, o tubo híbrido) são colocados em caixas ou em contentores antes de irem para os respetivos supermercados ou outros locais de armazenamento até passarem à fase seguinte. As caixas podem ser de dois tamanhos: a maior com dimensões 600×400×214 mm designada por *multipack 5* e a mais pequena com 400×300×214 mm designada por *multipack 6*. Por questões ergonómicas e por ser mais fácil para os operadores transportarem caixas mais pequenas, pensou-se que faria sentido utilizar apenas os *multipack 6* para todas as referências que são colocadas em caixas, exceto aquelas que pelas suas dimensões não cabem na caixa mais pequena e terão de continuar nas caixas grandes. Nos casos em que são utilizados contentores continuarão a utilizá-los, porque estes estão em cima de carrinhos e não requer muita força por parte do operador para os empurrar.

Por questões de segurança, o peso máximo permitido em cada caixa são 15 kg, de forma a que um operador a possa transportar sem que comprometa a sua saúde. No entanto, o departamento de segurança tenciona que em 2018 esse valor diminua para os 12 kg, sendo que este foi o valor tido em conta neste trabalho. A carga máxima permitida por lei para operações frequentes é 20 kg enquanto para operações ocasionais é 30 kg. As operações em causa têm uma frequência diária logo a carga máxima de cada caixa são 20 kg. Daqui pode concluir-se que a empresa coloca a segurança e saúde dos seus trabalhadores acima de tudo, uma vez que o valor atual de 15 kg já é consideravelmente inferior ao permitido por lei e, mesmo assim, ainda tencionam reduzir para 12 kg.

4 Apresentação da solução proposta

A área de produção de tubos híbridos apresenta diversos problemas que provocam paragens dos equipamentos e perda de produtividade, diminuindo a eficácia da mesma. A pedido da empresa, as soluções apresentadas terão como objetivo a diminuição da frequência com que há falta de matéria-prima não programada, que já foi visto no capítulo anterior que é uma das principais paragens não programadas que afetam o indicador da disponibilidade no OEE. Esta falta de matéria-prima resultante dos processos anteriores significa que há um problema no fluxo de materiais e de planeamento da produção, e que a informação entre as diferentes etapas do processo produtivo nem sempre está a ser passada da maneira mais correta.

4.1 Implementação de um supermercado com sistema *kanban*

Num sistema *pull*, uma determinada máquina só vai produzir uma peça quando o cliente pedir essa peça. No caso das máquinas de montagem, os clientes são as linhas da fábrica que produzem *coolers*, enquanto no caso das máquinas que produzem o tubo oval e a placa ondulada são as máquinas de tubo híbrido os seus clientes. Como não é possível que a produção se desenvolva de uma forma sincronizada, para haver um sistema *pull* que funcione corretamente é essencial que haja um supermercado e um sistema *kanban* entre as diferentes etapas do processo produtivo. Este supermercado com sistema *kanban* permite que haja uma melhor comunicação e uma melhor gestão visual dos diferentes produtos e referências existentes na área de tubos híbridos.

Para o posterior cálculo do número de cartões *kanban* necessários foi utilizada a fórmula da Toyota mencionada no capítulo 2.

4.1.1 Definição das quantidades por embalagem

A primeira coisa a ser feita foi a determinação das quantidades máximas que é possível colocar em cada caixa ou contentor. Para o caso das referências que são postas em caixas, começou-se por determinar qual a quantidade máxima possível até completar os 12kg. Foram utilizados os 12kg e não os 15kg como peso máximo porque a vontade da empresa é que essa mudança seja implementada já em 2018. Para o caso das referências que são colocadas em contentores, verificou-se qual o máximo de unidades que cabia em cada contentor.

Na tabela 4 estão representados os valores da procura semanal de todas as referências.

Tabela 4 – Procura semanal (em unidades) de cada referência da área de produção em estudo

Referência	Procura semanal (em unidades)
R1	36000
R2	180000
R3	2800
R4	3000
R5	35875
R6	8400
R7	825
R8	2700
R9	375
R10	45250
R11	13700
R12	48800
R13	37000
R14	23750
R15	39900
R16	36750
Total	515125

Com a procura e as quantidades máximas tendo em conta o limite de 12kg (no caso das caixas), determinou-se qual a quantidade de peças que se deveria colocar em cada caixa ou contentor. Definiu-se que cada cartão *kanban* (cada lote) seria constituído por um carrinho que pode ser constituído por 10 caixas no caso das caixas mais pequenas (*multipack 6*), 5 caixas no caso das caixas maiores (*multipack 5*) ou por um contentor. Apesar de estar definido na fórmula da Toyota que a quantidade por *kanban* não deve ser superior a 10% da necessidade diária, neste caso não se teve em conta essa restrição porque pretende-se encher as caixas ao máximo de forma a ocupar menos espaço, que representa um problema atual da empresa. Desta forma, um dos critérios impostos pela empresa para as quantidades de cada caixa ou contentor é que esta seja um divisor da procura semanal para que todas as caixas de um produto da mesma referência tenham o mesmo número de peças. O objetivo é que se saiba que para uma determinada referência, a procura corresponde a x caixas/contentores ou a y carrinhos e que não haja caixas da mesma referência com diferentes quantidades e, desta forma, não existam sobras de material com contentores ou caixas enxertados que necessitem de marcações temporárias. Assim, a quantidade de peças a colocar em cada caixa é um compromisso entre o peso limite de 12kg e o critério imposto pela empresa, sendo que essa quantidade corresponde ao divisor da procura mais próximo da quantidade máxima determinada, mas nunca superior a essa quantidade máxima.

4.1.2 Sistema *kanban* entre o supermercado de tubos híbridos e as máquinas que fazem a sua montagem

O supermercado de tubos híbridos (produto final da área de produção em estudo) abastece as linhas de produção de *coolers* EGR (outras linhas da fábrica) e os fornecedores são as três máquinas que fazem a montagem do tubo híbrido. Estas máquinas são o cliente das máquinas dos outros dois produtos fabricados nesta mesma área – tubo oval e placa ondulada. Como já foi referido acima, as máquinas de montagem do tubo híbrido produzem 10 referências e, com base na procura de cada uma e nas quantidades máximas que perfazem os 12kg, determinou-se qual a quantidade ótima a colocar em cada caixa tendo em conta a regra dos

múltiplos/divisores imposta pela empresa. Na tabela 5 estão representadas as referências produzidas, a procura semanal de cada uma, o tipo de embalagem na qual as mesmas são colocadas depois de produzidas e a quantidade definida por embalagem.

Tabela 5 – Procura semanal, tipo de embalagem e quantidade por embalagem dos tubos híbridos

Referência	Procura semanal (em unidades)	Tipo de embalagem	Quantidade por embalagem
R3	2800	Contentor	1400
R4	3000	Contentor	1500
R5	35875	Multipack 6	175
R6	8400	Multipack 6	84
R7	825	Multipack 6	165
R8	2700	Contentor	900
R9	375	Multipack 6	75
R10	45250	Multipack 6	362
R11	13700	Multipack 6	274
R14	23750	Multipack 6	190

Como é possível ver na tabela 5, a procura semanal é sempre um múltiplo da quantidade por embalagem ou também se pode dizer que a quantidade por embalagem é um divisor da procura semanal. Depois de determinadas as quantidades por embalagem e as quantidades por cartão *kanban*, aplicou-se a fórmula do sistema *kanban* da Toyota. Tal como já foi descrito no capítulo 2, a fórmula tem em conta os seguintes parâmetros:

- D: procura por unidade de tempo – neste caso teve-se em conta a procura diária. Os valores da mesma encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 – Procura diária das referências de tubo híbrido

Referência	Procura diária (em unidades)
R3	560
R4	600
R5	7175
R6	1680
R7	165
R8	540
R9	75
R10	9050
R11	2740
R14	4750

- Tw: tempo de espera do cartão *kanban* – considerou-se que este seria o tempo desde que o cartão *kanban* é retirado do supermercado para as peças correspondentes serem consumidas até um operador pegar nesse mesmo cartão para o começar a produzir, mais concretamente, para começar a troca de referência. Considerando que não há restrições de disponibilidade, na pior das hipóteses estariam as duas máquinas a iniciar a produção das 3620 peças correspondentes à referência R10. Para a troca de referência são necessárias 2h e para produzir 3620 peças são necessários 16290 s (tempo de ciclo de 4,5 s). Isto corresponde a cerca de 0,2719 dias.
- a: capacidade de cada cartão *kanban* de tubo híbrido – esta capacidade diz respeito à quantidade de peças de cada cartão *kanban*. Essas quantidades estão representadas na tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade de peças por *kanban* para cada referência de tubo híbrido

Referência	Tipo de embalagem	Quantidade por embalagem	Nº de peças por <i>kanban</i>
R3	Contentor	1400	1400
R4	Contentor	1500	1500
R5	Multipack 6	175	1750
R6	Multipack 6	84	840
R7	Multipack 6	165	1650
R8	Contentor	900	900
R9	Multipack 6	75	750
R10	Multipack 6	362	3620
R11	Multipack 6	274	2740
R14	Multipack 6	190	1900

No caso da referência R3, como o tipo de embalagem é um contentor, o cartão *kanban* corresponde a 1400 peças (um contentor). Já no caso da referência R5, o tipo de embalagem é a caixa pequena (*multipack 6*) e, por isso, um cartão *kanban* corresponde a um carrinho com 10 caixas (1750 peças).

- Tp: tempo de processamento – este tempo engloba o tempo de *setup* e o tempo para produzir a quantidade de peças que o cartão *kanban* representa. O tempo de *setup* é, em média, 2 horas para qualquer referência que divididas por 24 horas permite obter o tempo de *setup* em dias (cerca de 0,0833). O tempo de ciclo para produzir um tubo híbrido é 4,5 s logo o tempo para produzir a quantidade de peças de um cartão *kanban* obtém-se multiplicando o tempo de ciclo de uma peça pela quantidade de peças do *kanban*. Depois é necessário dividir esse tempo por 86400 s para o colocar em dias, porque foi a unidade de tempo utilizada. Na tabela 8 estão representados os valores relativos ao tempo que demora a produzir a quantidade de peças de um *kanban*, assim como o tempo de *setup*.

Tabela 8 – Tempo de produção da quantidade de peças de cada cartão *kanban* e tempo de *setup*

Referência	Nº de peças por <i>kanban</i>	Tempo de produção de um <i>kanban</i> (em dias)	Tempo de <i>setup</i> (em dias)
R3	1400	0,0729	0,0833
R4	1500	0,0781	0,0833
R5	1750	0,0911	0,0833
R6	840	0,0438	0,0833
R7	1650	0,0859	0,0833
R8	900	0,0469	0,0833
R9	750	0,0391	0,0833
R10	3620	0,1885	0,0833
R11	2740	0,1427	0,0833
R14	1900	0,0990	0,0833

Para obter o tempo de processamento de cada referência, basta somar o tempo de produção de um *kanban* e o tempo de *setup*.

- α : coeficiente de segurança – este coeficiente existe para que, no caso de paragens por avarias ou outros motivos, haja um stock de segurança durante determinado tempo e não se deixe de satisfazer as necessidades dos clientes. Ficou definido pela empresa que no caso das referências com procura semanal igual ou superior a 8000 peças, seria

requerido um stock de 2 dias, enquanto no caso das referências com procura semanal inferior a 8000 peças) o stock seria para 5 dias. Desta forma, considerou-se que um coeficiente de segurança de 100% corresponde à quantidade de peças referente à procura diária, ou seja, para um stock de 2 dias é necessário um coeficiente de segurança de 200% e para um stock de 5 dias é necessário um coeficiente de segurança de 500%. Na tabela 9 estão definidos os coeficientes de segurança para cada referência tendo em conta a procura semanal, assim como o parâmetro $1+\alpha$.

Tabela 9 – Coeficiente de segurança α e parâmetro $1+\alpha$ para cada referência

Referência	Procura semanal	Dias de stock	Coeficiente de segurança - α	$1+\alpha$
R3	2800	5	500%	6
R4	3000	5	500%	6
R5	35875	2	200%	3
R6	8400	2	200%	3
R7	825	5	500%	6
R8	2700	5	500%	6
R9	375	5	500%	6
R10	45250	2	200%	3
R11	13700	2	200%	3
R14	23750	2	200%	3

A estes coeficientes de segurança é necessário adicionar 1 para obter um dos parâmetros necessários para o cálculo do número de cartões *kanban*.

Estes altos coeficientes de segurança são devido ao facto desta área de produção ter ainda alguns problemas de disponibilidade e não ser uma área muito estável. As trocas de referência de 2 h são uma das razões para estes coeficientes. Para além disso, estes valores também são uma forma de garantir que no caso de acontecer alguma coisa que não estava prevista, por exemplo uma avaria, haja algum *stock* para as linhas de produção de *coolers* EGR e haja algum tempo para resolver o problema.

Após a determinação de cada um dos parâmetros da fórmula (2.5) para cada referência, efetuou-se o cálculo do número de cartões *kanban* necessários para cada uma. Os resultados obtidos estão na tabela 10.

Tabela 10 – Número de cartões *kanban* necessários para cada referência

Referência	Procura semanal	Número de cartões <i>kanban</i>
R3	2800	1
R4	3000	1
R5	35875	4
R6	8400	2
R7	825	1
R8	2700	1
R9	375	1
R10	45250	4
R11	13700	2
R14	23750	3

Analisando a tabela, é possível concluir que todas as referências com uma procura semanal inferior a 8000 necessitam apenas de ter em stock no supermercado a quantidade equivalente

a 1 cartão *kanban*. O número máximo de cartões *kanban* é 4 para as referências R5 e R10 que, como é óbvio, são as que apresentam os maiores valores de procura semanal. O total de cartões *kanban* necessários no supermercado de tubos híbridos é 20.

As regras de funcionamento do sistema *kanban* dos tubos híbridos são as seguintes:

- Ao retirar-se um carrinho de uma dada referência do supermercado de tubo híbrido correspondente a um cartão *kanban*, colocar o respetivo cartão no local reservado para esse efeito junto ao supermercado. Os cartões têm que ser colocados nesse local pela ordem pela qual são retirados do supermercado.
- Depois os cartões têm que ser retirados junto do supermercado e têm que ser colocados pela mesma ordem junto às máquinas de tubos híbridos.
- Quando um operador de uma das máquinas acaba de produzir uma dada referência, vai recolher o próximo cartão que foi o primeiro a ser retirado do supermercado, ou seja, é aquele que está à espera há mais tempo.
- O operador efetua a troca de referência conforme aquilo que tem de produzir e quando terminar produz peças dessa referência até ao número que está apresentado no cartão *kanban*.
- Quando já produziu o número de peças pretendido, coloca o cartão *kanban* em cima do carrinho e vai repô-lo no supermercado.

Na figura 16 está representado um exemplo de um cartão *kanban* de uma dada referência de tubos híbridos.

Tubos Híbridos	Referência R10	
E1010021840A1		
Peças por caixa:	362	
Tipo de embalagem: Multipack 6		
Peças por carrinho:	3620	1 / 4

Figura 16 – Exemplo de um cartão *kanban* de tubos híbridos

Como se pode ver na figura, o cartão *kanban* tem qual o tipo de produto correspondente, neste caso são os tubos híbridos, assim como a referência e o respetivo código. Para além disso é necessário que tenha qual a quantidade a colocar em cada caixa e o tipo de caixa a utilizar que para esta referência é a caixa pequena (*multipack 6*). Por fim, é importante colocar o número do cartão e qual o total de cartões.

Para o supermercado de tubos híbridos estão, atualmente, alocados 20,52 m² do *shop floor* que passariam a ser cerca de 5,62m². Isto representa uma diminuição de 14,9 m², que pode ser considerada uma diminuição bastante significativa.

4.1.3 Sistema *Kanban* entre as máquinas de placas onduladas e tubos ovais e as máquinas de tubo híbrido

Para que as máquinas de montagem do tubo híbrido orientem a produção das máquinas de tubo oval e de placa ondulada, dimensionou-se um sistema *kanban* entre elas. Para o cálculo do número de cartões *kanban* procedeu-se exatamente da mesma maneira que no caso anterior. Este supermercado abastece as máquinas de tubos híbridos, sendo que sempre que uma máquina de tubo híbrido consome uma referência de placa ondulada e tubo oval deve dar o aviso às máquinas a montante para que comecem a produzir essas referências, assim que for possível. No caso das referências de tubo oval que são produzidas numa linha diferente, a ordem de produção terá que ser dada à máquina da respetiva linha.

Entre estes dois processos existe uma lavadora que funcionaria em FIFO (*First In First Out*).

Para a determinação dos parâmetros da fórmula do sistema *kanban* procedeu-se da mesma forma que no caso anterior:

- D: procura diária

Relativamente às placas onduladas, todas as referências (da R1 à R16) são produzidas nesta linha, pelo que terão que passar todas pela lavadora e os valores da procura diária são os que já foram apresentados anteriormente na tabela 2. Já no caso dos tubos ovais passam pela lavadora as 7 referências (R1, R4, R6, R7, R8, R9 e R11) produzidas nesta linha e as 3 referências (R5, R10 e R14) produzidas na outra linha de produção de tubo oval da fábrica (linha de soldadura laser), e os valores da procura diária estão igualmente representados na tabela 2.

- Tw: tempo de espera do cartão *kanban*

Aqui seguiu-se o mesmo método do sistema *kanban* calculado anteriormente.

No caso do tubo oval considerou-se que, na pior das hipóteses, um cartão teria que aguardar o tempo correspondente à produção de um cartão *kanban* da referência que demora mais tempo a ser produzida. A referência R1 tem 7155 unidades em cada cartão e um tempo de ciclo de 2 s pelo que demora 14310 s a ser produzida, e com a troca de referência de 45 minutos tem-se, no total, 17010 s de tempo de espera, ou seja, 0,1969 dias.

Para a placa ondulada, a referência que demora mais tempo a produzir é a R12. Cada cartão desta referência tem 10950 peças e o tempo de ciclo é 3,6 s. Com uma troca de referência de 2 h tem-se um tempo de espera de 46620 s que equivale a 0,5396 dias.

- a: quantidade de peças por cartão *kanban*

A quantidade de peças por cada cartão *kanban* relativa às placas onduladas depois de serem lavadas pode ser vista na tabela 11.

Tabela 11 – Quantidade de peças por *kanban* para as placas onduladas depois de lavadas

Referência	Placa Ondulada Depois da Lavadora		
	Tipo de embalagem	Quantidade por embalagem	Nº de peças por <i>kanban</i>
R1	Multipack 6	900	9000
R2	Multipack 6	750	7500
R3	Multipack 6	70	700
R4	Contentor	1500	1500
R5	Multipack 6	175	1750
R6	Multipack 6	168	1680
R7	Multipack 6	165	1650
R8	Contentor	900	900
R9	Multipack 6	75	750
R10	Multipack 6	362	3620
R11	Multipack 6	274	2740
R12	Multipack 6	1095	10950
R13	Multipack 6	684	6840
R14	Multipack 6	190	1900
R15	Multipack 6	864	8640
R16	Multipack 6	750	7500

As referências cuja quantidade por embalagem está a cor cinzenta são aquelas cujo cliente é a BorgWarner de Vigo e não as máquinas de tubos híbridos e, nestes casos, esta quantidade é definida pelo cliente. Para as restantes referências, nos casos em que a embalagem é a mesma do tubo híbrido, manteve-se a mesma quantidade por embalagem à exceção da referência R6 porque, pelo facto da placa ondulada ser mais leve que o tubo híbrido e ainda sobrar espaço na caixa, foi possível colocar o dobro da quantidade (168 peças). A referência R3 depois da lavadora é colocada numa caixa pequena e essa mesma referência quando já é tubo híbrido, é colocada num contentor logo a quantidade também não é a mesma, sendo um múltiplo.

A informação relativa à quantidade de tubos ovais por cartão *kanban* está na tabela 12.

Tabela 12 – Quantidade de peças por *kanban* para os tubos ovais depois de lavados

Referência	Tubo Oval Depois da Lavadora		
	Tipo de embalagem	Quantidade por embalagem	Nº de peças por <i>kanban</i>
R1	Contentor	7155	7155
R4	Contentor	1500	1500
R5	Contentor	1750	1750
R6	Multipack 6	84	840
R7	Multipack 6	165	1650
R8	Contentor	900	900
R9	Multipack 6	75	750
R10	Multipack 6	362	3620
R11	Multipack 6	274	2740
R14	Multipack 6	190	1900

Os tubos ovais da referência R1 são produzidos para vender à fábrica da BorgWarner de Vigo pelo que as quantidades por embalagem são definidas por eles e não são alteráveis. As restantes referências têm as mesmas quantidades por embalagem e por cartão *kanban* que os tubos híbridos, exceto a referência R5 que no caso dos tubos ovais é colocada num contentor

que tem 10 vezes mais tubos ovais que um *multipack 6*, mas o cartão *kanban* tem nos dois casos 1750 peças dado que um cartão *kanban* são 10 caixas pequenas (*multipack 6*) ou um contentor.

- T_p : tempo de processamento

O tempo de processamento engloba o tempo para trocar de referência e o tempo que demora a produzir e a lavar a quantidade correspondente ao cartão *kanban*.

Na máquina de tubo oval, são necessários 45 minutos para a troca de referência. Com os tempos de ciclo que já foram apresentados anteriormente e a quantidade de peças por *kanban*, calculou-se o tempo que demora a produzir cada referência de tubo oval multiplicando as duas primeiras. O mesmo foi feito para o caso da placa ondulada, mas aqui o tempo de *setup* é 2 h. Cada peça, seja tubo oval ou placa ondulada, demora 2,6 s a ser lavada. Por exemplo, para a referência R1 de tubo oval sabe-se que a quantidade correspondente a cada cartão *kanban* é 7155 com um tempo de ciclo de 2 s, ou seja, são necessários 14310 s para produzir essa quantidade. Se cada peça demora 2,6 s a ser lavada, são precisos 18603 s para lavar todas as peças. Aos 14310 s e aos 18603 s, resta somar o tempo de *setup* de 45 min e colocar tudo em dias.

- α – coeficiente de segurança

A atribuição do coeficiente de segurança teve por base o critério utilizado no caso dos tubos híbridos. Para referências com procura semanal igual ou superior a 8000, o coeficiente de segurança é 200% enquanto nos restantes casos é 500%.

Depois de todos os cálculos efetuados, o número de cartões *kanban* para o tubo oval e para a placa ondulada encontra-se na tabela 13.

Tabela 13 – Número de cartões *kanban* necessários para cada referência de tubo oval e placa ondulada depois de lavados

Referência	Número de cartões <i>kanban</i> depois de lavados	
	Placa Ondulada	Tubo Oval
R1	3	2
R2	10	-
R3	2	-
R4	1	1
R5	5	4
R6	2	1
R7	1	1
R8	2	1
R9	1	1
R10	5	4
R11	2	2
R12	4	-
R13	4	-
R14	3	4
R15	4	-
R16	3	-

A referência R2 é aquela que requer um maior número de cartões no caso da placa ondulada (10 cartões) e no caso do tubo oval são as referências R5, R10 e R14 (4 cartões).

Naturalmente, estas são as referências com maior procura. O número total de cartões *kanban* necessários para as placas onduladas e para os tubos ovais é, respetivamente, 52 e 21.

As regras de funcionamento do sistema *kanban* das placas onduladas e do tubo oval depois da lavadora são as seguintes:

- Um operador de uma das máquinas de tubos híbridos ao começar a produzir uma referência de tubos híbridos irá necessitar de um carrinho de placas onduladas e outro de tubos ovais para iniciar a produção. Ao retirar um carrinho deste supermercado coloca o cartão *kanban* no local apropriado para o efeito à beira do supermercado. Um local é para colocar os cartões correspondentes às placas e outro para os tubos ovais. Os cartões têm que ser colocados pela ordem pela qual foram retirados do supermercado. O mesmo se aplica no caso das referências que vão para Vigo sempre que se retira um carrinho.
- O operador responsável por recolher os cartões, irá pegar nos mesmos e colocar no local reservado para isso à beira das respetivas máquinas, máquina de tubo oval ou máquinas de placa ondulada. No caso das referências de tubo oval que são produzidas na linha de soldadura laser, os cartões devem ser colocados junto da mesma.
- Os operadores que estão nessas máquinas, quando acabam uma tarefa têm que ir pegar no próximo cartão para saberem o que têm de produzir a seguir e em que quantidades, e logo iniciam a troca de referência.
- Quando acabam de produzir as quantidades requeridas, colocam o carrinho com o respetivo cartão em FIFO para que as peças sejam lavadas quando chegar a sua vez.
- Quando os operadores da lavadora acabam de por a quantidade de peças referente a um *kanban* nas bandejas para entrarem na lavadora, o cartão *kanban* tem que passar para a saída da lavadora de modo a que o operador que coloca as peças lavadas nas respetivas embalagens coloque o cartão com em cima do carrinho e vá repor no supermercado.

Na figura 17 tem-se um exemplo de um cartão *kanban* de placas onduladas de uma determinada referência.

Placa Ondulada DL	Referência R2	
E3880018925A0		
Peças por caixa:	750	
Tipo de embalagem: Multipack 6		
Peças por carrinho:	7500	1 / 6

Figura 17 – Exemplo de um cartão *kanban* de placas onduladas

Todos os cartões *kanban*, independentemente da etapa do processo produtivo a que dizem respeito, possuem as mesmas informações. O que difere cada etapa e cada produto é a cor do

cartão, um cartão de placas onduladas tem cores diferentes conforme o local onde se encontra: antes ou depois da lavadora. No caso das placas onduladas depois da lavadora a cor correspondente é lilás.

A figura 18 representa o cartão *kanban* no caso do tubo oval depois da lavadora para a referência R2.

Tubo Oval DL	Referência R2	
E1140012458		
Peças por caixa:	5790	
Tipo de embalagem: Contendor		
Peças por carrinho:	5790	1 / 7

Figura 18 – Exemplo de um cartão *kanban* de tubos ovais depois da lavadora

O tubo oval depois da lavadora é identificado por cartões azuis e as informações que contém são as mesmas que todos os outros como, por exemplo, o tipo de produto, a referência, o número de peças por caixa e número de peças por carrinho (quantidade de peças por cartão *kanban*).

O supermercado depois da lavadora ocupa, aproximadamente, 35,45 m². Com a implementação do supermercado com sistema *kanban*, essa área ocupada passaria a ser cerca de 20 m², o que diz respeito a uma diminuição de 15,45 m².

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Após a análise dos dados do OEE relativos à área de produção dos tubos híbridos e porque a empresa já tinha medidas em curso para os outros problemas, a mesma decidiu que seria importante abordar o problema da ocorrência da falta de componentes para a montagem do produto final e dimensionar um sistema *kanban* entre as diversas fases do processo de produção de um tubo híbrido. Desta forma, foi importante conhecer a área de produção dos tubos híbridos e a forma como as coisas acontecem no chão de fábrica. Isto permitiu ter uma noção de como a produção trabalha diariamente e perceber que, regra geral, os operadores demonstram alguma resistência à mudança. Por esse motivo, muitas vezes torna-se complicado conseguir que alguns deles colaborem sempre que se necessita de obter alguma informação ou opinião da parte deles.

A implementação do sistema *kanban* irá permitir uma maior facilidade de planeamento da produção, uma fácil gestão de *stocks*, diminuição da área ocupada pelos supermercados comparativamente à situação atual, melhoria na passagem da informação entre as várias etapas do processo produtivo, produção mais adequada às necessidades do cliente e maior facilidade na identificação dos problemas devido à melhor gestão visual.

Devido às constantes mudanças consideradas prioritárias na área de produção dos tubos híbridos nos últimos quatro meses, não foi possível que a implementação do sistema *kanban* fosse realizada até ao presente mês de janeiro. Essas mudanças dizem respeito, por exemplo, à chegada de novas máquinas e tudo o que é necessário para que fiquem a funcionar da forma desejada, mudança do layout devido ao aumento do número de máquinas que fez com que as máquinas de montagem dos tubos híbridos tivessem que passar para outra parte da fábrica que anteriormente pertencia a outra linha, mas tiveram que disponibilizar para os tubos híbridos devido à expansão atual e prevista desta área de produção. Sendo assim, prevê-se que a implementação irá ser feita nos próximos meses depois de chegarem todas as máquinas que estão previstas e quando todos os processos estiverem estabilizados.

Quando se iniciar o processo de implementação do sistema *kanban*, de forma a envolver os operadores na mudança pretendida e para que os mesmos a aceitem percebendo a sua importância, é importante que se crie um programa de formação dos mesmos para entenderem as regras de funcionamento, os conceitos subjacentes ao *kanban* e para que sejam explicadas as razões e as vantagens das mudanças tanto para eles como para a empresa.

Após a implementação do *kanban*, é importante que se analise os resultados obtidos para efetuar melhorias do mesmo até se obter o número de cartões *kanban* considerado ótimo. Um dos parâmetros mais importantes para analisar é o tempo de espera do cartão *kanban*, pelo facto de não haver uma forma objetiva de o calcular. Assim, seria fundamental que aquando da implementação se retirasse os tempos de espera dos diferentes cartões *kanban* nas diferentes etapas do processo produtivo e com eles se fizesse um estudo dos melhores valores para esta variável e se ajustasse esses valores àquilo que estaria a acontecer na realidade. Com esta análise vai-se ajustando o sistema às necessidades do cliente, reduzindo o stock de segurança definido pela empresa. Esta análise deve ser feita constantemente para que o

sistema esteja sempre de acordo com a procura, uma vez que é normal que esta vá sofrendo pequenas alterações.

A estabilização dos processos, nomeadamente as diminuições dos tempos de troca de referência, serão importantes para que se possa reduzir os coeficientes de segurança definidos pela empresa e que não sejam necessários 2 dias de stock para as referências mais frequentes e 5 dias de stock para as restantes referências. Com a estabilização, estas últimas, cuja procura semanal é inferior a 8000, deviam ser apenas produzidas quando houvesse pedidos do cliente e apenas nas quantidades pedidas e não seria necessário estarem em *stock* durante tanto tempo com quantidades superiores ao necessário.

O cálculo das capacidades dos diferentes equipamentos que operam na área de produção de tubos híbridos, permitiu chegar à conclusão que a lavadora não tem capacidade suficiente para lavar todas as peças que vêm das máquinas de tubo oval e de placa ondulada. Desta forma, é de extrema importância que a empresa invista em novos equipamentos deste tipo para resolver o problema de falta de capacidade da área de produção de tubos híbridos.

Referências

- Andersson, C. e M. Bellgran. 2011. "Managing Production Performance with Overall Equipment Efficiency (OEE) - Implementation Issues and Common Pitfalls".
- Ben-Daya, M. 2000. "You May Need RCM to Enhance TPM Implementation". *Journal of Quality in Maintenance Engineering*.
- Chase, R., F. Jacobs e N. Aquilano. 2006. *Operations Management for Competitive Advantage*. 11th ed ed.: McGraw-Hill.
- Coetzee, R., K. van der Merwe e L. van Dyk. 2016. "Lean Implementation Strategies: How Are the Toyota Way Principles Addressed?". *South African Journal of Industrial Engineering* no. 27 (3):79-91.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=120289510&lang=pt-br&site=ehost-live&scope=site>.
- Hopp, W. e M. Spearman. 2000. *Factory Physics*. Second ed ed.: McGraw-Hill.
- Minardi, R. 2017. "Muda: The 7 Deadly Wastes: Eliminating Common Sources of Unnecessary Excess". *LabTalk*:16-22.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=125322186&lang=pt-br&site=ehost-live&scope=site>.
- Nakajima, S. 1988. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*.
- Rahman, N., S. Sharif e M. Esa. 2013. "Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation". *Procedia Economics and Finance* no. 7 (Supplement C):174-180.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567113002323>.
- Sugimori, Y., K. Kusunoki, F. Cho e S. Uchikawa. 2007. "Toyota Production System and Kanban System. Materialization of Just-In-Time and Respect-For-Human System". *International Journal of Production Research*.
- Womack, J. e D. Jones. 2003. *Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*.
- Womack, J., D. Jones e D. Roos. 1990. *The Machine that Changed the World*.

ANEXO A: Fotografias do supermercado de tubos híbridos

Na figura 1 encontra-se o supermercado de tubos híbridos onde é possível ver a divisão do espaço por referências. Os cartões que se vê em cima das caixas servem apenas para identificar as referências e a quantidade em cada carrinho.



Figura 1 – Divisão por referências no supermercado de tubos híbridos

Na figura 2 tem-se um exemplo de uma referência com a quantidade em *stock* superior ao *stock* máximo definido (linha vermelha). Os contentores cinzentos em cima dos carrinhos cor-de-laranja ultrapassam a linha vermelha definida como *stock* máximo.



Figura 2 – Exemplo de uma referência acima do *stock* máximo

Na figura 3 tem-se a situação oposta: uma referência abaixo do *stock* máximo.



Figura 3 – Exemplo de uma referência abaixo do *stock* mínimo

ANEXO B: Armazenamento do tubo oval e da placa ondulada depois da lavadora

Nas figuras 1 e 2 pode ver-se algumas fotografias da forma como as placas onduladas e os tubos ovais ficam em *stock* depois de serem lavados.



Figura 1 – Carrinhos de tubo oval e placa ondulada depois de saírem da lavadora



Figura 2 – Carrinhos de tubo oval e placa ondulada depois de saírem da lavadora

ANEXO C: Supermercado antes da lavadora

Nas figuras 1 e 2 é possível ver o supermercado de tubos ovais e placas onduladas de alta cadência antes da lavadora.



Figura 1 – Supermercado antes da lavadora das placas e dos tubos ovais de maior cadência



Figura 2 – Supermercado antes da lavadora das placas e dos tubos ovais de maior cadência