Melhoria do controlo de produção numa empresa de componentes aeronáuticos

Ana Filipa Moreira de Sousa

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Paulo Osswald

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2019-07-01

Aos meus pais e irmão

Resumo

A elevada exigência do setor aeronáutico reflete-se no processo produtivo das várias empresas que o integram e na busca interminável de melhores práticas, adotando uma política de melhoria contínua e *lean*, para desta forma eliminar desperdícios e melhorar o desempenho sempre que possível. Assim, surgiu o projeto de apoiar o desenvolvimento de metodologias que auxiliem o departamento de planeamento e controlo da produção de componentes para estrutura de aviões ao nível do chão de fábrica, melhorando o controlo da produção em cada posto de trabalho, tendo em conta o planeamento semanal. A empresa fabrica peças, tanto em materiais metálicos como compósitos, sendo que ao longo do processo produtivo das peças em material compósito existe uma forte componente de mão de obra.

No decorrer do projeto foram estudadas as várias etapas do processo produtivo, bem como o modo como o controlo ao nível do chão de fábrica era realizado, com o intuito de identificar oportunidades de melhoria nesse processo. Foram identificadas falhas de organização e de controlo da produção no chão de fábrica, com impacto direto no desempenho das equipas, que se traduziam em grandes quantidades de desperdício, em termos de WIP, que, consequentemente, se traduziam também em *lead times* excessivos. A acumulação de WIP excessivo resultava também numa dificuldade por parte das equipas na identificação do trabalho.

No âmbito da gestão visual, com o intuito de melhorar o fluxo das peças de grande porte, facilitando o controlo da produção e, em simultâneo, aumentar a produtividade dos operadores, foi feita a identificação de todos os carros de suportes de peças nas zonas da inspeção. Assim, atualmente todos os carros de suporte estão devidamente identificados, estando cada peça no carro correspondente à operação correta.

De forma a melhorar e facilitar o controlo da produção ao nível do chão de fábrica, foi desenvolvida uma nova metodologia. Esta nova metodologia baseou-se na definição de cadências *standard* para cada posto de trabalho, que não existiam, com impacto direto ao nível da produtividade, como também ao nível dos *lead times*, quantidades de WIP e identificação de trabalho.

Foram também implementados quadros destinados ao controlo das quantidades produzidas diariamente em cada posto de trabalho. O objetivo principal foi *standardizar* a forma como este controlo era realizado ao longo de todo o processo produtivo, facilitando também a interpretação desses dados a todos os colaboradores. Para além disso, facilitou também a identificação de trabalho, sequenciamento de tarefas, aumentou a produtividade dos operadores, em termos de quantidade de peças por dia, e permitiu uma melhor organização das equipas de cada posto de trabalho.

A maior dificuldade encontrada ao longo deste projeto foi a resistência à mudança por parte dos operadores, uma vez que cada um possui hábitos já enraizados que, naturalmente exigem esforço adicional para serem alterados.

Com este projeto tornou-se possível passar a controlar os valores de WIP, bem como os *lead times* de cada programa, diminuindo assim os desperdícios. Para além disso, o controlo das quantidades produzidas é realizado de igual forma em todos os postos de trabalho, estando este normalizado.

Production control improvement in an aeronautical components company

Abstract

The high requirements of the aeronautical sector are reflected in the productive process of the companies that comprise it and in the endless search for better practices, adopting a policy of continuous improvement and lean, in order to eliminate waste and improve its performance whenever possible. Thus, the project to support the development of methodologies that assist the production planning and control department of the production in the control of production of components for aircrafts structures at the shopfloor level, improving the control of production in each job station, taking into account the weekly planning was idealized. The company manufactures parts in both metallic and composite materials, and throughout the production process there is a strong component of labor.

During this project, the different stages of the production process were studied, as well as how the production control at the shopfloor was done, in order to identify possible aspects to improve and, thus, improve that process. It was possible to identify that there was, in fact, a lack of organization and lack of production control at the shopfloor level, which had a direct impact on the performance of the teams. It was translated into large amounts of waste, in terms of excess of WIP, which, consequently, lead to excessive lead times. The accumulation of excessive WIP also resulted in a difficulty by the teams in the identification of the work in each workstation.

On the visual management scope, in order to improve the large parts flow and, facilitating the production control and at the at the same time, increase the operator's productivity, it was made the identification of all the parts support cars in the inspection zones. Thus, currently all the support cars are properly identified, and each part is in the support car of the respective operation.

In order to improve and ease the production control at the shopfloor it was developed a new methodology. This new methodology was based in the definition of standard cadences for each workstation, which did not exist, having a direct impact on productivity, as well as on lead times, WIP quantities and work identification.

There were also set up boards to control the daily produced quantities in each workstation. The main goal was to standardize the way this control was done throughout the production process, easing the interpretation of this data to all the employees. In addition, it has also eased the work identification, task sequencing, increasing the productivity of the operators, in terms of number of parts per day, and allowed also a better organization of the teams of each workstation.

The main obstacle faced during this project was the workers changing resistance, as each one has habits already rooted that, of course, require an extra effort to change.

With this project is now possible to control the WIP values as well as the lead times of each program, thus reducing wastes. In addition, the control of the produced quantities, which is standardized, is done in the same way in all workstations.

Agradecimentos

Ao Engenheiro Tiago Moutinho pela oportunidade e orientação dada durante toda a realização do projeto.

Ao Professor Paulo Osswald pela ajuda e orientação prestada na realização da dissertação.

Ao Pedro Santos por todo o conhecimento transmitido e pelo acompanhamento constante durante todo o estágio.

A todos os colaboradores da CAER pela sua contribuição para o trabalho realizado e pela forma como me receberam.

À minha família e amigos, em particular aos meu pais e irmão, por todo o apoio ao longo destes anos e por sempre acreditarem em mim.

Índice de Conteúdos

1 Introdução 1
1.1 Enquadramento do projeto e motivação 1
1.2 Grupo Salvador Caetano 1
1.3 Caetano Aeronautic (CAER) 2
1.4 Objetivos do projeto 3
1.5 Método seguido no projeto 3
1.6 Estrutura da dissertação 4
2 Revisão Bibliográfica 5
2.1 Planeamento e Controlo de Produção 5
2.2 Theory of constraints (TOC) 5
2.2.1 Conceitos de capacidade e restrições 5
2.2.2 Processo de melhoria contínua 6
2.2.3 Drum-Buffer-Rope (DBR) 7
2.3 Lean Manufacturing 8
2.4 Kaizen 9
2.4.1 Gemba 10
2.4.2 Muda, mura e muri 10
2.5 Gestão Visual 11
2.5.1 Sistema de avaliação do desempenho 11
2.6 Kanban 11
2.7 Standard Work 12
2.8 Ciclos PDCA e SDCA 13
3 Apresentação do problema 14
3.1 Produção de peças em materiais compósitos 14
3.2 Programas 15
3.3 Processo produtivo 15
3.4 Planeamento da produção 18
3.4.1 Restrições 21
3.4.2 Tempos de execução 22
3.5 Controlo da produção 24
3.6 Cumprimento do planeamento 28
4 Sugestões de melhoria 31
4.1 Identificação dos carros de suporte nas zonas de inspeção 31
4.2 Nova metodologia para controlo do fluxo produtivo 33
4.2.1 Implementação da nova metodologia no programa BBSS 34
4.2.2 Implementação de procedimentos *standard* 38
4.3 Quadros de controlo da produção diária por posto de trabalho 40
5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro 44
Referências 46
ANEXO A: Fluxo produtivo 49
ANEXO B: *Line of Balance* do programa 2.24 50
ANEXO C: Exemplo de planeamento dos programas 2.08 e 2.24 51
ANEXO D: Tempos de execução dos programas 2.24, Neo e Falcon 52
ANEXO E: Valores de WIP *standard* por centro de trabalho para cada um dos programas 55
ANEXO F: *Template* para instruções de trabalho 56
ANEXO G: Quadros de controlo da produção do programa BBSS 57

Siglas

ADS - *Airbus Defence and Space*

CAER – Caetano Aeronautic

DBR – *Drum – Buffer - Rope*

FIFO – *First in, First Out*

LE – *Lean Enterprise*

LM – *Lean Manufacturing*

LOB – *Line of Balance*

LP – *Lean Production*

MTS – *Make to Stock*

OP – Ordem de Produção

PCP – Planeamento e Controlo da Produção

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

SDCA – *Standardize-Do-Check-Act*

TOC – *Theory of Constraints*

TPS – *Toyota Production System*

WIP– *Work in Progress*

Índice de Figuras

Figura 1 - Presença do Grupo Salvador Caetano no mundo 2
Figura 2 - Organograma da CAER..... 3
Figura 3 - Tipos de restrições que condicionam um sistema (Baseado em Watson *et al.* (2007))..... 6
Figura 4 - Mecanismo DBR (Fonte: (Qiao e Wu 2013)) 8
Figura 5 - Volume médio de produção diário em cada mês de 2018..... 14
Figura 6 - Fluxo das peças do programa BBSS 15
Figura 7 - Peças do programa Neo embaladas 18
Figura 8 - Previsão de entregas de 2019 18
Figura 9 - Plano de produção macro 19
Figura 10 - Número de peças pendentes de disposição por semana 20
Figura 11 - Tempos de execução e *takt-times* do programa BBSS..... 23
Figura 12 - Tempos de execução e *takt-times* do programa 2.08..... 24
Figura 13 - Quadro de indicadores..... 25
Figura 14 - Quadro de problemas..... 26
Figura 15 - Quadro de controlo da produção diária 27
Figura 16 - Taxa de cumprimento do planeamento entre as semanas 1 e 12 de 2019 29
Figura 17 - Carro para peças do programa Neo pendentes de inspeção visual e dimensional e ultrassons antes da melhoria..... 31
Figura 18 - Carro para peças do programa NEO pendentes de inspeção visual e dimensional e ultrassons depois da melhoria 32
Figura 19 - Folha de registos do carro BBSS..... 35
Figura 20 - Caixa identificada do programa BBSS..... 36
Figura 21 - Número de caixas BBSS por centro de trabalho 36
Figura 22 - Evolução do valor de WIP do programa BBSS..... 37
Figura 23 - Quadro de controlo da produção diária para o posto de trabalho de desmolde do programa BBSS..... 41
Figura 24 - Quadro de controlo da produção diária para o posto de trabalho de corte do programa BBSS..... 42

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Número de conjuntos de moldes para cada programa 22
Tabela 2 - Valores de WIP (número de peças) por programa da semana 19 28
Tabela 3 - Valores de WIP *standard* 38
Tabela 4 - Impacto nos valores de WIP 38

1 Introdução

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A presente dissertação foi realizada na Caetano Aeronautic, SA, mais precisamente no departamento de planeamento e controlo da produção da secção de componentes em material compósito. A empresa opera no setor aeronáutico e pertence ao Grupo Salvador Caetano.

No setor aeronáutico, setor em que as restrições de peso e características mecânicas são cada vez maiores, a procura e utilização de peças em material compósito está a crescer cada vez mais. No entanto, as principais estruturas dos produtos aeroespaciais exigem a fiabilidade dos componentes metálicos. Assim, a empresa produz componentes metálicos, mas também, mais recentemente, iniciou-se na produção de componentes em materiais compósitos.

A entrada no mercado da construção de componentes em materiais compósitos de grande porte constituiu e continua a constituir um desafio, parte por ter sido iniciada há relativamente poucos anos, mas principalmente por ser um setor inovador em Portugal, em que não existe muita tradição nem *know-how*.

Nesse sentido, a melhoria do controlo da produção contribuiu para o objetivo da empresa de melhorar o seu nível de serviço, tornando o processo mais eficiente e contribuindo simultaneamente para a *standardização* de processos e melhoria contínua.

1.2 Grupo Salvador Caetano

O Grupo Salvador Caetano, atualmente concentrado numa holding designada por Grupo Salvador Caetano, SGPS, SA, foi fundado em 1946 a partir da empresa Martins, Caetano & Irmão, Lda.

Atualmente, conta com um valor de 2,3 mil milhões de euros de vendas agregadas, sendo responsável por mais de 6000 postos de trabalho distribuídos por 36 países e 2 continentes (Europa e África), como pode ser observado na Figura 1. Assim, o grupo está focado no contexto exigente da União Europeia e da globalização dos mercados.

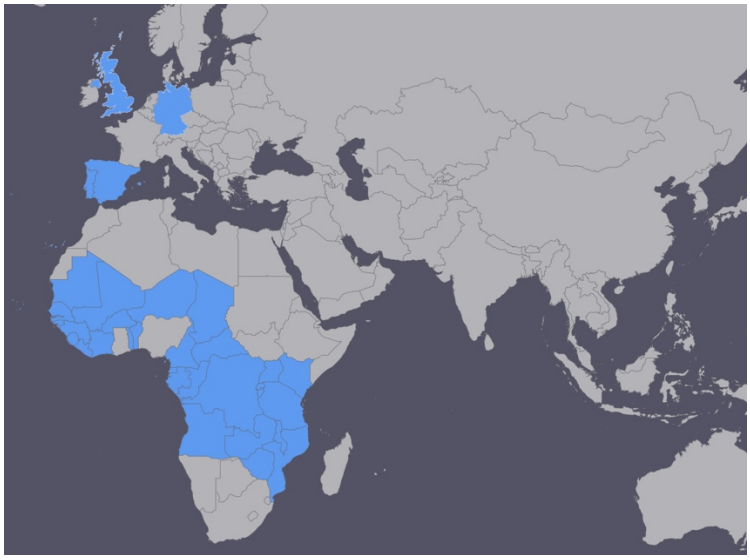


Figura 1 - Presença do Grupo Salvador Caetano no mundo

O grupo coordena todas as atividades de negócio e atualmente desenvolve a sua atividade em 4 diferentes unidades de negócio:

1. Indústria, que agrega o negócio de desenvolvimento e produção de carroçarias de autocarros, bem como a respetiva comercialização para diversos mercados. Agrega também uma unidade fabril responsável pela produção de componentes para a indústria automóvel. Mais recentemente, apostou no setor aeronáutico, produzindo componentes para aviões.
2. Distribuição, iniciada pela importação e representação da marca Toyota e, posteriormente, da marca Lexus em Portugal. Desde então, representa uma área estratégica de negócio, tendo vindo a reforçar-se e a diversificar-se nos mercados de atuação e nos produtos e marcas representadas.
3. Retalho, onde desenvolve a atividade de retalho de várias marcas nos mercados português, espanhol e africano.
4. Serviços, que engloba as áreas de investimento, tecnologias de informação, comunicação e publicidade.

1.3 Caetano Aeronautic (CAER)

A Caetano Aeronautic, SA foi fundada em 2012, através de uma *Joint Venture* entre o Grupo Salvador Caetano e a Aciturri, um dos maiores fornecedores de componentes para o setor aeronáutico na Europa. Encontra-se situada em Vila Nova de Gaia.

É uma empresa dedicada à fabricação e comercialização de componentes em materiais metálicos e compósitos destinados à indústria aeronáutica. Para além disso, dedica-se também à montagem de estruturas de pequena e média dimensão.

Assume como sua missão ser exigente com a melhoria contínua dos processos e tecnologias, promovendo o desenvolvimento dos seus profissionais para assim satisfazer as necessidades dos clientes de forma competitiva e sustentada. O objetivo é ser uma empresa de referência no setor aeronáutico, especializada na fabricação de componentes metálicos e compósitos.

As atuais instalações permitem empregar cerca de 170 trabalhadores, organizados segundo a estrutura organizacional representada na Figura 2. O presente projeto foi desenvolvido no departamento de planeamento e controlo de produção.

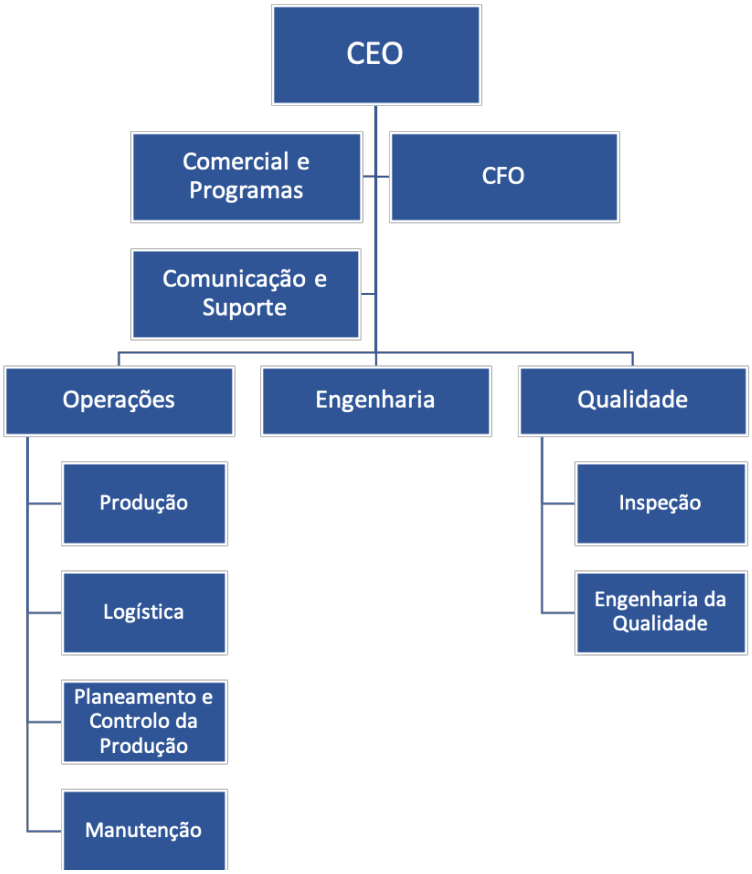


Figura 2 - Organograma da CAER

1.4 Objetivos do projeto

Este projeto de dissertação teve como objetivo a melhoria do controlo de produção ao longo do processo de produção de componentes em material compósito na CAER.

O projeto surgiu perante a necessidade de melhorar o controlo da produção ao nível do chão de fábrica, para potenciar o sequenciamento de tarefas, reduzir o *work in progress* (WIP) e maximizar os recursos, minimizando ao máximo atrasos.

Para atingir estes objetivos era necessário diminuir a variabilidade na realização das tarefas realizadas no processo produtivo de matérias compósitos através da criação de procedimentos *standard*. Naturalmente, de forma a ser bem-sucedido e obter melhorias visíveis, é crucial a partilha de informação entre as várias equipas, bem como a realização de todas as tarefas tendo em conta a melhor prática conhecida.

De modo a atingir as melhorias desejadas, foram definidos os seguintes objetivos intermédios:

- Encontrar melhores práticas entre as várias equipas da produção;
- Criar e *standardizar* metodologias de modo a potenciar o sequenciamento das tarefas;
- Melhorar práticas já existentes;
- Formar os operadores para uma implementação com sucesso das metodologias desenvolvidas.

1.5 Método seguido no projeto

O projeto iniciou-se com o acompanhamento dos vários processos, de forma a assimilar o máximo conhecimento possível relativo ao funcionamento da fábrica e do processo de

produção de peças em materiais compósitos. Esta fase, para além de permitir a anteriormente referida aprendizagem, permitiu também uma maior integração nas várias equipas, o que se tornou crucial no desenrolar do projeto.

Na etapa seguinte, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de forma a conhecer a visão de diferentes autores em relação aos conceitos relevantes aplicáveis ao longo da realização deste projeto.

Depois de elaborada a pesquisa bibliográfica, procedeu-se ao levantamento do estado atual do processo produtivo e, mais concretamente, do sistema de controlo da produção e às suas lacunas, identificando-se assim as oportunidades de melhoria. Este levantamento foi realizado recorrendo ao mapeamento das várias etapas do processo produtivo e ao acompanhamento dos operadores na realização das suas tarefas. Simultaneamente, foram realizadas diversas análises de dados, de forma a ajudar na identificação dos problemas.

A fase seguinte da dissertação foi a proposta de metodologias relevantes, de forma a melhorar o atual controlo de produção. Todos os procedimentos foram propostos seguindo uma ótica de melhoria contínua, detetando e eliminando desperdícios sempre que possível nas diversas tarefas realizadas. Tal como referido anteriormente, parte do projeto consistiu na implementação de *standard work*, de forma a existirem dados credíveis para o planeamento e para o controlo diário da produção, baseado nesse planeaments e no avanço das peças ao longo dos processos.

1.6 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

Neste primeiro capítulo é apresentado o grupo a que a empresa pertence, bem como a empresa em si mesma. Para além disso, é ainda referida a motivação e as razões que levaram à realização do projeto.

No segundo capítulo é realizado um enquadramento teórico, no qual é feita uma revisão dos temas abordados e relevantes ao longo da dissertação.

No capítulo três é descrita a situação encontrada na empresa, nomeadamente o fluxo produtivo, o planeamento e consequente controlo da produção existente.

Após descrição da situação atual, no capítulo quatro são apresentadas as propostas de melhoria implementadas e a implementar, de forma a atingir os objetivos mencionados anteriormente.

No quinto e último capítulo tecem-se as principais conclusões obtidas após a realização deste projeto, bem como as perspetivas de trabalho futuro.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Planeamento e Controlo de Produção

Numa realidade altamente competitiva, em que as empresas competem cada vez mais em tempo e qualidade para satisfazer ao máximo as expectativas dos clientes, os sistemas de planeamento e controlo de produção (PCP) constituem ferramentas essenciais para o desempenho do sistema produtivo, no que diz respeito ao cumprimento das exigências dos clientes. Segundo Stevenson *et al.* (2005), um sistema de PCP é constituído por funções como requisições de materiais, gestão da procura, planeamento da capacidade e programação e sequenciamento de tarefas, para que os operadores ou máquinas operem em concordância com o que é pretendido.

O planeamento da produção é responsável por traduzir os pedidos dos clientes em ordens de produção (OP), conciliando para isto o fluxo de pedidos com a capacidade disponível, o que resulta num plano de produção (Meyr *et al.* 2008). É essencial que os planos de produção não dependam apenas de situações ideais, ou seja, devem ser robustos o suficiente para serem capazes de lidar com a dinâmica inerente às execuções e com a incerteza subjacente à informação (Gyulai *et al.* 2017).

De acordo com Stevenson *et al.* (2005), os principais objetivos que se pretende atingir com as funções que compõem o sistema PCP são a redução do WIP, minimização dos tempos de produção e *lead time*, redução dos custos de inventário, melhoria na capacidade de resposta a possíveis alterações da procura e uma maior precisão nas datas de entrega.

Considerando os objetivos acima referidos, a escolha da abordagem representa uma decisão estratégica de elevada importância. Com o passar dos anos, inúmeras abordagens foram surgindo, o que torna a escolha da mesma complicada. Por um lado, existe um elevado número de alternativas, por outro lado, nem todas as alternativas são aplicáveis a todos os casos, sendo necessário e pertinente estudar a aplicabilidade da abordagem escolhida.

2.2 Theory of constraints (TOC)

2.2.1 Conceitos de capacidade e restrições

A TOC surge por volta de 1980, desenvolvida por Eliyahu Goldratt e explanada através de uma situação de produção do quotidiano no seu livro *The Goal*.

É uma das abordagens clássicas ao PCP orientada para os gargalos dos processos produtivos. Gundogar *et al.* (2016) afirmam que num sistema que esteja sujeito à existência de um gargalo de produção, existe sempre algo, como um processo, uma máquina, uma tarefa, que limita a produção e, por isso, define a capacidade de todo o sistema. Qualquer alteração realizada num ponto do sistema que não no gargalo de produção não contribuirá para um aumento do volume de produção (Goldratt e Cox 2004). Segundo Chapman (2006), na maioria dos casos existe apenas um processo que limita a capacidade do sistema inteiro e as

operações que não são consideradas como restritivas, devem ser geridas de modo a fornecer o máximo suporte possível às que limitam o sistema, uma vez que num sistema produtivo todos os processos estão relacionados com o antecessor e sucessor, no caso de existirem. A TOC baseia-se no princípio de que a capacidade de um sistema não é mais alta que a do seu elo mais fraco (Gundogar *et al.* 2016), ou seja, que a do seu gargalo. Mesmo que o resto do sistema tenha a capacidade de processar a uma velocidade superior à do gargalo de produção, não deve ser libertada produção a um ritmo que a operação restritiva não consiga processar.

Análises realizadas em fábricas onde a TOC foi aplicada mostram que, de facto, as empresas beneficiaram da aplicação da TOC, através da redução de, por exemplo, o prazo de entrega e tempo de ciclo e através do aumento das receitas (Mabin e Balderstone 2003).

Rahman (1998), resume o conceito da TOC em duas ideias principais:

- **Num sistema deve existir pelo menos uma restrição** - Se não existir nenhuma restrição numa fábrica, por exemplo, esta irá produzir ilimitadamente.
- **A existência de restrições representa oportunidades para melhorias** – A TOC encara as restrições como algo positivo. Como estas determinam o desempenho de um sistema, uma melhoria gradual das mesmas significa uma consequente melhoria da performance do sistema.

Existem vários tipos de restrições que condicionam um sistema. Watson *et al.* (2007) consideram 3 tipos de restrições. A Figura 3 resume os tipos de restrições e o que as caracteriza em termos de capacidade do sistema:

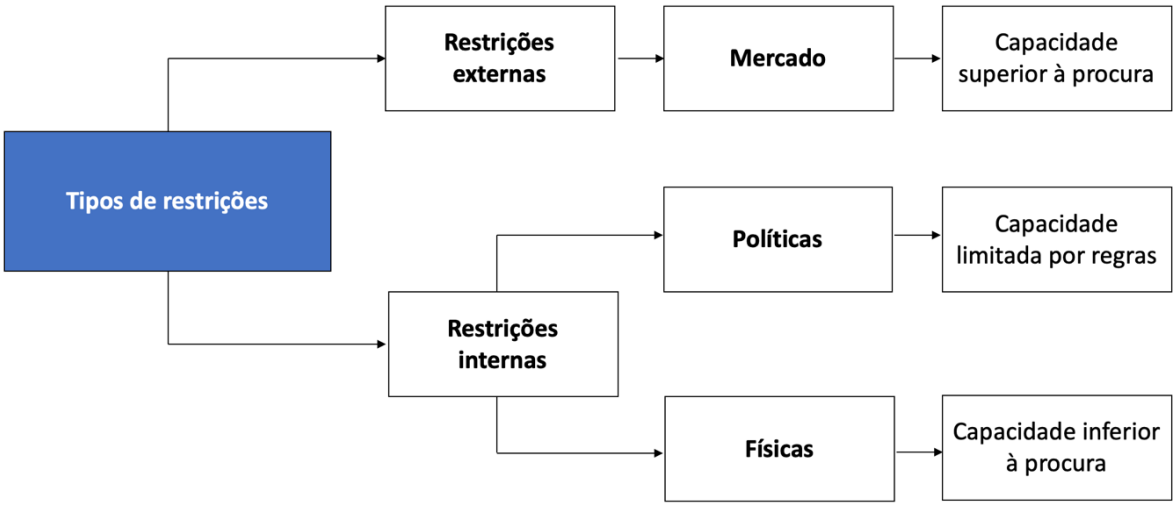


Figura 3 - Tipos de restrições que condicionam um sistema (Baseado em Watson *et al.* (2007))

Uma restrição interna entende-se como uma restrição do sistema que está localizada dentro da organização. As restrições físicas são mais fáceis de localizar e ultrapassar, uma vez que o seu efeito pode ser observado diretamente ou então através de discussão com os operadores. As restrições políticas podem ser quaisquer características derivadas de aspetos organizacionais, como por exemplo a política de ter só um turno, limitando a capacidade à desse turno. No caso das restrições de mercado, externas à organização, a empresa deve estabelecer o foco em tirar proveito dessa vantagem competitiva.

2.2.2 Processo de melhoria contínua

A TOC é focada num processo de melhoria contínua que, segundo Goldratt e Cox (2004), deve assentar num ciclo composto por cinco passos:

1. **Identificar as restrições** – As restrições podem ser físicas (máquinas, materiais, pessoas, nível da procura) ou então podem ser administrativas (políticas, procedimentos, métodos, regras) (Goldratt 1990).
2. **Decidir como explorar as restrições** – Se a restrição for física, o objetivo é tornar o sistema o mais eficaz possível. Contudo, se for, por exemplo, uma política, esta não deve ser explorada, mas sim eliminada e substituída por uma política nova que possibilitará um aumento do rendimento.
3. **Subordinar tudo o resto no sistema à decisão anterior** – Todos os componentes do sistema que não sejam identificados como uma restrição devem ser ajustados de modo a suportar a máxima eficácia da restrição. Dado que o rendimento de um sistema é ditado pela capacidade da restrição, se os recursos não restritivos forem utilizados para além da capacidade produtiva da restrição, não estarão a contribuir para um aumento do rendimento do sistema, mas sim para um aumento desnecessário do *stock*.
4. **Elevar as restrições do sistema** – Se as restrições previamente identificadas continuarem a ser as mais críticas do sistema, esforços de melhoria sobre essas restrições melhorarão o seu desempenho e, consequentemente, o desempenho total do sistema.
5. **Se em algum dos pontos anteriores uma restrição for quebrada, voltar ao primeiro passo. Não permitir que a inércia se torne uma restrição** – Este ponto ilustra o carácter de melhoria contínua do processo. Assim, é essencial para as organizações identificar as mudanças e, consoante as mesmas, adaptar as soluções. Este ponto indica que se a restrição for resolvida satisfatoriamente, aumentando a sua capacidade, esta deixa de ser o gargalo, que passa a estar no que era até então o segundo processo mais lento.

2.2.3 Drum-Buffer-Rope (DBR)

Baseada na TOC, *Drum-Buffer-Rope* (DBR) é um exemplo metafórico também desenvolvido por Eliyahu Goldratt no seu livro *The Goal* (Goldratt e Cox 2004), cujo nome deriva das metáforas desenvolvidas pelo autor ao longo do seu livro.

A metodologia foca-se em lidar com as restrições críticas dos sistemas, sendo por isso aplicável a problemas de planeamento e sequenciamento de sistemas complexos e em larga escala. Assim, contrariamente às outras metodologias, a DBR é aplicável também a sistemas com fluxo de reentrada (Qiao e Wu 2013), ou seja, sistemas em que o mesmo item passa pela mesma operação mais do que uma vez, o que torna o fluxo de produção bastante mais complexo de analisar e de trabalhar.

Os três principais componentes da DBR são:

1. ***Drum*** – É o planeamento detalhado das restrições do sistema, servindo assim de ponto de controlo do sistema.
2. ***Buffer –*** É um mecanismo de proteção, para evitar que o gargalo do processo sofra de falta de inputs, devido às flutuações dos tempos dos processos. Segundo Ye e Han (2008), existem três tipos de *buffers* que podem ser utilizados com a metodologia DBR: de restrição, de montagem e de envio.
3. ***Rope*** - É o termo utilizado para o *feedback* dado aos processos não restritivos, de modo que estes produzam, no máximo, quantidades que o gargalo possa produzir. Assim, impede que inventário não necessário entre em produção e chegue ao gargalo.

A Figura 4 ilustra o mecanismo DBR e respetivos componentes, incorporados num sistema produtivo composto por vários processos.

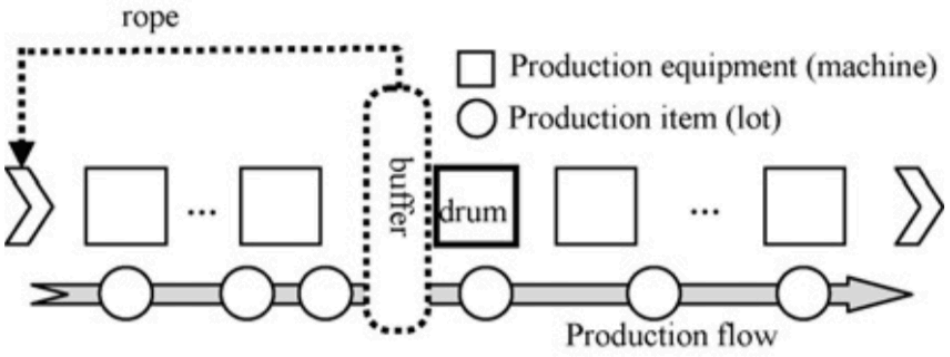


Figura 4 - Mecanismo DBR (Fonte: (Qiao e Wu 2013))

Daniel e Guide Jr (1997) provaram que a ferramenta DBR tem sucesso nas áreas de planeamento, sequenciamento e controlo de operações em diversos ambientes fabris. Outras aplicações da DBR foram provadas como bem sucedidas, desde o fabrico de mobília (Woo *et al.* 2009) a sistemas *job shop*, isto é, sistemas de produção de menor dimensão (Chakravorty 2001).

Num sistema DBR, os esforços são direcionados ao gargalo do processo produtivo, de modo a tentar aumentar a sua eficiência, mesmo que isso implique a diminuição da eficiência de outras operações.

2.3 Lean Manufacturing

Popularizada por Henry Ford e Alfred Sloan durante a Primeira Guerra Mundial, a produção em massa resultou no domínio da economia mundial por parte dos Estados Unidos da América (Jasti e Kodali 2014). Caracterizada por produções em grande escala de produtos *standardizados*, este método de produção não era capaz de oferecer a flexibilidade necessária para responder a alterações nos requisitos dos clientes, que começaram a exigir melhor qualidade e serviço. Para além disso, a produção em massa não era aplicável em mercados que não tivessem a capacidade de absorver as grandes quantidades produzidas. Assim, após a Segunda Guerra Mundial, desenvolve-se o *Toyota Production System* (TPS) liderado por Taiichi Ohno da *Toyota Motor Company* (Ohno 1988). Mais tarde, já com um elevado entendimento do TPS, desenvolveu-se a filosofia *Lean Manufacturing* (LM), que se tornou uma parte integrante da indústria nas últimas décadas. Tendo sido estendido não só à indústria, mas também aos serviços, passou a usar-se comummente apenas o termo *lean* ou *Lean Thinking.*

Segundo Womack *et al.* (1990), a filosofia *lean,* em comparação com a produção em massa, exige menos inventário no local de produção e produz uma melhor qualidade de produtos.

Também conhecida pelo termo de *Lean Production* (LP), a filosofia *Lean Thinking* tornou-se uma parte integrante da indústria nas últimas quatro décadas (Shah e Ward 2007) e apesar de inicialmente ter sido aplicada apenas em empresas dedicadas à produção de bens de consumo, a necessidade de uma filosofia com as características *lean* veio-se a verificar em diversos setores económicos (Jasti e Kodali 2014). Tudo isto, resultou na integração do conceito de *Lean Thinking* em todo o processo produtivo, desde os fornecedores até ao cliente, dando origem ao conceito *Lean Enterprise (LE)*, sistema de gestão com o objetivo de desenvolver processos e procedimentos através da eliminação contínua de desperdícios (Womack e Jones 1994).

Womack e Jones (1996) definiram como principal princípio da filosofia *Lean Thinking* o valor. Não se foca apenas na redução dos desperdícios e custos ao nível do *shopfloor*, mas

também na constante melhoria do valor oferecido/percebido ao/pelo cliente, adicionando características ao produto ou serviço e eliminando atividades que não adicionam qualquer valor (Hines *et al.* 2004).

Com os objetivos assentes na diminuição de custos, zero defeitos, zero inventários e uma grande variedade de produtos, os produtores *lean* procuram continuamente a perfeição. Assim, segundo Womack e Jones (1996), existem 5 princípios a serem cumpridos para caminhar no sentido da eliminação do desperdício:

- **Valor** – Definido pelo cliente, por aquilo que o mesmo pretende. Cabe às empresas identificar oportunidades de melhoria, sempre que o produto ou serviço entregue ao cliente não vai de encontro às suas expectativas.
- **Cadeia de Valor** – Todas as ações necessárias para acrescentar o valor antes identificado. Estudar e eliminar processos que não acrescentam qualquer valor para o cliente.
- **Fluxo** – Necessário proporcionar um fluxo de material e informação entre cada processo que cria valor, de modo a que o produto/serviço chegue ao cliente sem grandes paragens.
- **Sistema Puxado (*Pull*)** – Consiste em sincronizar a produção com a procura e assim evitar a acumulação de stocks desnecessários. É o cliente que deve comandar a velocidade de produção e lançamento de encomendas.
- **Perfeição** – O processo de redução de tempos e de custos, entre outros desperdícios, nunca termina. Pressupõe-se a adoção de uma mentalidade de melhoria contínua (*kaizen)*, procurando continuamente meios para criar valor e eliminar desperdícios.

Apesar do *lean* poder constituir a filosofia de uma empresa, pode também ser aplicado a apenas algumas áreas ou processos da organização (Liker e Morgan 2006).

Liker e Morgan (2006) entendem que num sistema *lean*, com um fluxo de material e informação devidamente nivelado, a eliminação de desperdícios permite uma melhor qualidade ao menor preço, num intervalo de tempo inferior, com máxima segurança, empenho e motivação de todos os trabalhadores.

2.4 Kaizen

Resultante da junção de duas palavras em japonês *Kai* (Mudar) e *Zen* (Para melhor), *Kaizen* significa melhoria contínua com todas as pessoas, todos os dias, em todas as áreas. Atualmente, é considerado um importante pilar da estratégia competitiva das organizações (Institute).

Para corretamente implementar uma filosofia *kaizen* é necessário identificar que atividades requerem melhorias e, segundo Imai (2012), a resposta, ou seja, as funções a melhorar, são sempre:

- Qualidade;
- Custos;
- Serviço;
- Motivação.

Segundo Rodrigues (2014), adotar uma filosofia *kaizen* significa adotar uma filosofia orientada a pequenas e contínuas melhorias nos processos atuais ao longo do tempo, todas elas consistentes.

2.4.1 Gemba

De acordo com a definição em japonês, o *Cambridge Business English Dictionary* foi uma das primeiras fontes a definir *gemba* como o local onde as coisas acontecem na produção.

Segundo Imai (2012) é no *gemba* que ocorrem as atividades que acrescentam valor, aos olhos do cliente, ao produto ou serviço final. Para uma gestão com sucesso do processo produtivo, torna-se essencial estar no terreno, ou seja, estar onde as atividades ocorrem realmente, para poder observar, identificar possíveis desperdícios e consequentes propostas de melhoria. Para além disso, a comunicação pessoal com as equipas é um aspeto positivo, pois permite ter a perceção real das dificuldades dos trabalhadores e também ganhar a sua confiança para possíveis alterações de hábitos.

Existem 5 regras de ouro que devem ser seguidas obrigatoriamente (Imai 2012):

- Quando surge um problema, ir primeiro ao *gemba*;
- Verificar os objetos relevantes;
- Tomar medidas temporárias no local, enquanto não existe solução permanente;
- Descobrir a causa raiz do problema;
- Propor e testar uma solução que elimine a causa raiz.
- Normalizar para prevenir que o mesmo problema ocorra novamente.

2.4.2 Muda, mura e muri

O principal objetivo da filosofia *lean* é a eliminação total dos desperdícios. Ohno (1988) define desperdício como tudo o que não seja a quantidade mínima de equipamentos, materiais, peças e tempo de trabalho necessários para acrescentar valor ao produto e serviço. Em japonês, *muda* significa desperdício, ou seja, faz referência a qualquer atividade que gere desperdício, não acrescente valor ou que não seja produtiva. Ohno (1988) classificou os desperdícios em 7 categorias:

1. **Excesso de produção** – produção superior à necessária, ou seja, superior à procura;
2. **Inventários** – materiais, produtos em curso e finais que não estão a ser processados;
3. **Defeitos** – tempo e materiais perdidos na produção de peças defeituosas que não serão aceites pelo cliente;
4. **Transporte** – movimentação de produtos não necessária ao processo;
5. **Movimento** – movimentação de pessoas ou equipamentos para além do necessário para a realização dos processos;
6. **Sobreprocessamento** – processos dispensáveis para a concretização do valor pretendido, causando excesso de trabalho;
7. **Espera** – situações em que os operadores não podem avançar no trabalho por falta de informação, materiais, ferramentas, entre outras causas.

A palavra *mura* é também originária do Japão e tem o significado de variação. Num processo produtivo existe *mura* sempre que o fluxo de trabalho é interrompido nas tarefas de um trabalhador, no fluxo de partes, de equipamentos ou de produção. Também existe *mura*, resultante de variações, quando os operadores seguem metodologias diferentes.

O termo *muri* significa "condições extremas" tanto para os trabalhadores e equipamentos como para os processos de trabalho. Imai (2012) exemplifica uma situação onde se cria *muri*: atribuição do trabalho de um veterano a um recém-contratado com formação insuficiente,

criando a possibilidade de o trabalhador desenvolver a tarefa mais lentamente e ainda cometer mais erros.

2.5 Gestão Visual

A gestão visual é uma das ferramentas utilizadas pelo *Lean Thinking* e consiste na utilização de meios visuais para a transmissão da informação, que permitem a perceção imediata do estado das operações e facilitam o processo de tomada de decisão. A informação deve ser de fácil compreensão, de modo a expor os problemas existentes e impulsionar a sua solução.

Um dos principais desafios que as empresas enfrentam é como tornar eficaz a passagem da informação para os trabalhadores (Bilalis *et al.* 2002). Um aspeto chave da gestão visual é a medição do desempenho ao longo do processo produtivo, acompanhada pela exibição de alguns indicadores no *gemba* para visibilidade de todos os trabalhadores. Estes indicadores devem ser criados, monitorizados, controlados e percetíveis pelos operadores na área (Feld 2001).

Galsworth (2005) afirma que a gestão visual proporciona às organizações não só um aumento da produtividade, mas também impacta custos, qualidade, tempos de entrega, *stocks* e fiabilidade de equipamentos.

2.5.1 Sistema de avaliação do desempenho

Também conhecidas por *Performance Management System*, as reuniões PMS, dizem respeito às reuniões *kaizen* que se realizam diariamente entre equipas.

É necessário gerir o desempenho dentro de uma organização e para isso nas reuniões PMS deve ser discutida informação de caracter relevante, específico e atual, para servirem de suporte para a tomada de decisões. Normalmente são constituídas por um quadro, que serve como controlo visual, onde são indicados indicadores de desempenho e comunicados problemas. Assim, consegue-se controlar diariamente a produção, definir ações para resolver as dificuldades encontradas e datas para a sua conclusão. Daqui se conclui que pode ser um elemento relevante no controlo da produção.

2.6 Kanban

Num sistema *pull*, o fluxo de informações segue a direção oposta ao fluxo de materiais (Bonney *et al.* 1999). Cada posto de trabalho "puxa" o posto anterior para retomar a produção e reabastecer a quantidade que falta, que foi consumida. Enquanto um sistema *push* utiliza as previsões e programações para definir o fluxo de produção, num sistema *pull* os materiais são puxados para o posto seguinte somente quando realmente necessários. Assim, este sistema resulta numa coordenação entre operações e evita excessos de produção, uma vez que apenas são produzidas as quantidades necessárias (Russell e Taylor 2008).

O sistema de controlo *kanban*, uma abordagem de um sistema *pull*, é um dos principais elementos do TPS e constitui um dos mais simples sistemas de controlo de operações. Funciona através da utilização de um cartão ou sinal para indicar a necessidade de um dado material. Através dessa informação visual, desencadeia-se um processo de abastecimento do material em falta. É necessário definir que quantidade de *stock vai* acionar este processo de abastecimento e que quantidade vai ser reposta. Isto é o mesmo que dizer que é necessário dimensionar o *kanban*. Estas duas quantidades juntas têm que garantir que o processo produtivo nunca pára devido à falta de materiais. É importante referir que, aquando de uma reposição de material despoletado por um *kanban*, este mesmo material deverá ser consumido cumprindo o método *First In, First Out* (FIFO), para garantir que os materiais que estão em inventário há mais tempo são consumidos primeiro.

O ciclo *kanban* inicia-se na localização do *stock* de produto destinado ao consumo do cliente. Assim que o *stock* do componente atinge o nível mínimo estabelecido, significa que o mesmo deve ser reabastecido. Segundo Coimbra (2013), esse nível mínimo é baseado na soma da procura durante o *lead time* de reabastecimento e o *stock* de segurança.

Existem 2 principais tipos de *kanban*, dependendo do tipo de informação que contêm (Ohno 1988):

1. ***Kanban* de transporte** – cartão ou sinal que autoriza a movimentação do material de um supermercado para uma estação de trabalho. Cada cartão opera apenas entre um par de localizações e é através do mesmo que o material passará para a estação seguinte (Bicheno 2004).
2. ***Kanban* de produção** – cartão que autoriza a estação de trabalho a que está associado a iniciar a quantidade estabelecida de produção.

As funções desempenhadas por um *kanban* são (Ohno 1988):

- Fornecer instruções de quando e quanto produzir, ou seja, representar uma ordem de produção;
- Fornecer informação de quando levantar e transportar materiais entre estações de trabalho;
- Evitar sobreprodução e transporte excessivo, mantendo assim o controlo do inventário de produto acabado;
- Revelar problemas existentes e prevenir produtos defeituosos.

2.7 Standard Work

Numa filosofia *lean*, em que se busca a perfeição através de redução ou eliminação da variabilidade e instabilidade dos processos, torna-se imperativo simplificar e tornar *standard* a forma como o trabalho é realizado ao longo do processo produtivo. O *standard work* é uma ferramenta que desempenha um papel importante uma vez que proporciona às organizações processos mais estáveis, menos variáveis e uma potencial diminuição dos custos. O resultado pretendido é que os processos sejam conduzidos exatamente da mesma forma, independentemente do trabalhador que os execute (Antoniolli *et al.* 2017).

Segundo Ismail et al. (2019), a *standardização* de processos pode prevenir defeitos durante o processos produtivo. Para além disso, procedimentos adicionais para evitar erros que possam ter influência na produção diária podem ser incluídos no *standard.* Assim, para além de definir como cada processo deve ser executado, na tentativa de ser mais eficiente, é uma ferramenta que ajuda na identificação de práticas para uma melhor realização do trabalho. O objetivo é seguir detalhadamente os passos estabelecidos e assim realizar o trabalho bem à primeira, evitando erros e consequências indesejáveis nos indivíduos e no ambiente. Sempre que existe uma melhoria num dos procedimentos, o novo *standard* torna-se a linha de base para futuras melhorias (Mlkva *et al.* 2016).

Segundo Shimbun (1991), o objetivo do *standard work*, ou trabalho normalizado, é otimizar a utilização das pessoas, em vez de se focar apenas na otimização das máquinas, constituindo, portanto, uma forma fácil, mais eficiente e segura de realizar cada tarefa.

O trabalho normalizado é definido por 3 elementos distintos (Ismail *et al.* 2019):

- **Tempo de ciclo normalizado** – tempo necessário para um operador de uma estação realizar cada peça, sendo medido entre a conclusão de duas peças consecutivas;

- **Sequência de trabalho normalizada** –sequência em que os passos de cada tarefa são realizados, o que permite reduzir a variabilidade do tempo de ciclo, ou seja, do tempo entre duas peças consecutivas;
- **Inventário de *work in progress* (WIP)** – quantidade mínima de inventário necessário para sustentar o ritmo de produção, sem que existam tempo de paragem.

2.8 Ciclos PDCA e SDCA

Criado por Deming, o ciclo PDCA (*Plan – Do – Act – Check*) constitui uma ferramenta de melhoria contínua de processos e produtos. O objetivo é ajudar as empresas a tornarem os seus processos mais eficientes e manter esses resultados. Através de uma implementação sistemática deste ciclo, o objetivo é melhorar continuamente os processos recorrendo a pequenas melhorias que vão sendo verificadas, analisadas e ajustadas, de modo a seguir a busca de perfeição.

O ciclo, que é composto por 4 etapas, garante a continuidade da filosofia *kaizen* (Imai 2012):

- *Plan* – estabelecer o objetivo para melhoria e desenhar o plano para a ação de melhoria;
- *Do* – implementar o plano previamente estabelecido;
- *Check* – verificar se a implementação decorre como planeado e se trouxe a melhoria planeada;
- *Act* – implementar e *standardizar* novos procedimentos para evitar que o problema atacado volte a ocorrer, ou definir objetivos para novas melhorias.

A base deste ciclo assenta na ideia de nunca estar satisfeito com o estado atual, pensando sempre o que pode ser melhorado e através de que procedimentos. Inicialmente, antes de aplicar o ciclo PDCA é necessário estabilizar um processo. Para isto, recorre-se ao ciclo SDCA (*Standardize – Do – Check – Act*). Assim, o ciclo SDCA normaliza e estabiliza os processos, enquanto que o ciclo PDCA tem o objetivo de os melhorar (Imai 2012).

3 Apresentação do problema

Nas secções subsequentes será apresentado o processo de produção na secção de compósitos, o fluxo que as peças seguem ao longo desse processo e a forma como a produção é controlada, identificando os principais problemas encontrados.

3.1 Produção de peças em materiais compósitos

Os operadores da produção de peças em materiais compósitos estão divididos em equipas que trabalham em turnos de 8 horas, 5 dias por semana. Consoante a procura, podem existir 2 ou 3 turnos de 8 horas por dia.

Por não se tratar de um produto sazonal, a produção não deveria ser muito variável ao longo do ano. Contudo, através dos dados de 2018 presentes na Figura 5 pode ser comprovado que o volume médio de produção de compósitos em cada mês varia ao longo do ano. Este valor médio para cada mês foi calculado dividindo o volume total de produção do mês pelo número de dias úteis.

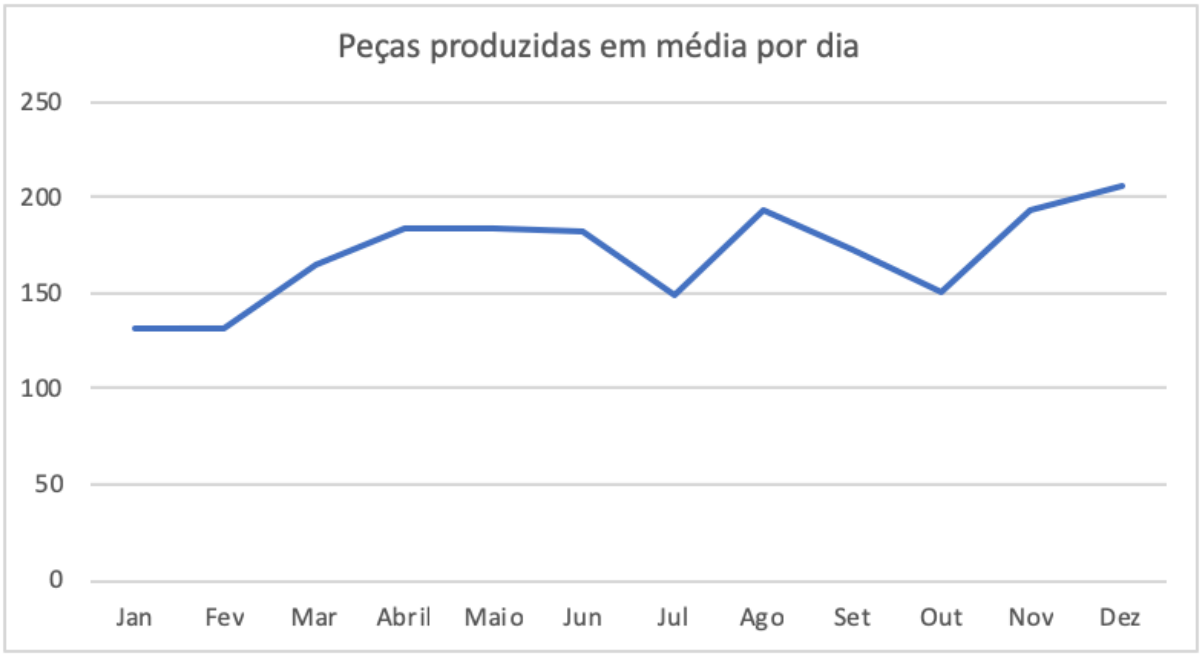


Figura 5 - Volume médio de produção diário em cada mês de 2018

De facto, como se pode observar na Figura 5, no máximo produziram-se em média 206 peças por dia, que corresponde à produção de Dezembro, e no mínimo 131 peças por dia no mês de Janeiro. Esta variação ocorre devido aos programas de menor cadência, para os quais existem poucas encomendas ao ano, resultando em picos de produção.

3.2 Programas

Atualmente, a CAER fabrica peças em materiais compósitos para 2 clientes, garantindo, no total, 8 programas diferentes. Os clientes são:

- Aciturri;
- ADS (*Airbus Defence and Space*).

enquanto que os programas se resumem a:

- A320 2.08;
- A320 2.24;
- A320 BBSS;
- A320 Neo;
- Falcon;
- A400M CC;
- A400M NCC;
- A400M Ductos.

Neste trabalho não serão abordados os 3 programas do A400M, uma vez tratarem-se de programas que diferem bastante dos restantes. Têm uma cadência bastante reduzida, o próprio processo de produção é diferente, o que resulta em muitas diferenças ao longo do processo produtivo. Definiu-se assim focar apenas os restantes 5 programas (A320 2.08, A320 2.24, A320 BBSS, A320 Neo e Falcon). Desta secção em diante, de modo a facilitar a identificação, vai ser feita referência aos 5 programas alvo de estudo apenas pela última denominação, isto é, 2.08, 2.24, BBSS, Neo e Falcon.

3.3 Processo produtivo

De modo a entender o processo produtivo mais ao detalhe e o fluxo que as peças seguem ao longo do mesmo, foi realizado um esquema com as várias fases do processo.

Dependendo do programa, existem operações que podem ser realizadas externamente, numa empresa subcontratada, ou podem mesmo não ser necessárias ao produto final. Assim, na Figura 6, está representado o esquema do fluxo do processo produtivo para as peças do programa BBSS, uma vez que é o único programa que, atualmente, está totalmente internalizado, ou seja, as operações são todas realizadas internamente, sem recorrer a empresas subcontratadas.

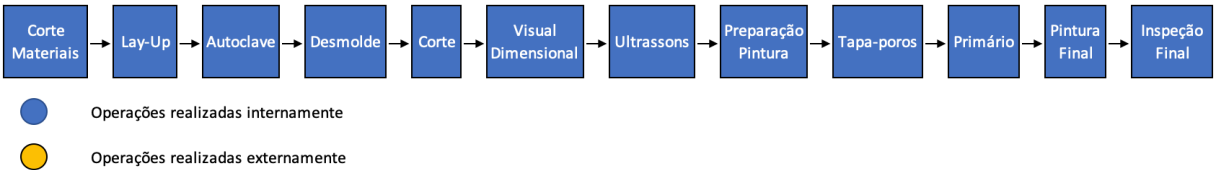


Figura 6 - Fluxo das peças do programa BBSS

Os fluxos das peças dos restantes programas podem ser consultados no Anexo A.

De seguida são apresentadas e descritas cada uma das operações do processo produtivo, desde o corte das matérias primas até ao produto final.

1 - Corte de Materiais

As matérias primas, como por exemplo fibra de carbono e fibra de vidro, são fornecidas sob a forma de tela pré-impregnada em rolos que são mantidos armazenados numa arca frigorífica a cerca de -18ºC. Antes de poderem ser cortados, têm que descongelar à temperatura ambiente numa zona de ambientação.

Face ao planeamento de produção, as matérias primas necessárias à produção são cortadas de modo a criar *kits* de material. Um *kit* é o conjunto de materiais necessários para preencher um molde. Atualmente existe uma máquina de corte automático para realizar esta operação. Após o corte, os *kits* podem ser abastecidos diretamente para a sala limpa, sala com condições extremamente controladas, ou então ser armazenados na mesma arca frigorífica onde se encontram os rolos de matéria prima.

2 - Lay-Up

O *lay-up* manual é um método utilizado para a produção de peças com geometria complexa, através da aplicação manual de telas pré-impregnadas (cortadas na operação anterior) no respetivo molde. Um molde corresponde a uma peça ou a uma placa que, mais tarde, através de uma operação de corte, irá resultar em mais do que uma peça. Tanto esta operação como a anterior (corte de materiais) são realizadas na sala limpa.

3 - Autoclave

Após a aplicação das telas nos moldes, os moldes têm de passar pelo autoclave para realizar o processo de cura. Atualmente existem 2 autoclaves. Consoante a peça a ser fabricada, o ciclo de autoclave varia em termos de pressão, temperatura e vácuo.

Existem peças que, por requererem uma resistência extrema, são constituídas por um núcleo no meio das telas ou ainda por um estabilizado. Este estabilizado, que para a sua produção requer um núcleo, é uma peça que depois servirá de molde para a peça final. Existe um ciclo próprio só para a cura dos estabilizados. As peças que não necessitam de um estabilizado, mas que requerem núcleo na sua composição, são denominadas de *sandwich* e possuem também elas um ciclo próprio de cura em autoclave. As peças que não necessitam nem de estabilizado, nem de núcleo, são peças monolíticas e o ciclo de cura em autoclave é diferente dos estabilizados e das peças *sandwich*. No total existem 8 ciclos de cura diferentes.

4 - Desmolde

Após o processo de cura, as peças são retiradas dos moldes seguindo uma norma. Para poder desmoldar as peças é necessário aplicar um desmoldante que pode atuar à temperatura ambiente, ou então numa estufa, o que permite acelerar o processo.

Para além de desmoldar as peças, é também necessário realizar uma preparação dos moldes para que estes possam entrar novamente na sala limpa e serem utilizados novamente na produção de novas peças.

5 – Inspeção Prévia

A fase da inspeção prévia é a fase em que se faz a análise dos ciclos de cura em autoclave, isto é, faz-se a verificação dos parâmetros de ciclo e identificação de possíveis fugas de pressão. Nesta operação faz-se também uma verificação prévia à peça para identificação de possíveis defeitos identificáveis a olho nu.

6 – Corte

Inicialmente as peças são fabricadas com uma margem, não correspondendo à geometria final. É então necessário proceder a uma operação de corte na qual se obtêm as geometrias finais. Tal operação consiste na remoção de excesso de material em termos de perímetro exterior, mas também em termos de aberturas (furos). Atualmente, internamente, esta operação é feita manualmente, não existindo máquinas CNC para o efeito. Por isso, algumas

peças, devido à sua complexidade e dimensão, não são cortadas internamente, recorrendo-se a uma empresa subcontratada para o efeito.

7 – Inspecção Visual e Dimensional

Após a realização do corte, é necessário que as peças passem por uma verificação visual e dimensional, de modo a garantir que as mesmas cumprem os requisitos impostos pelos clientes e pela regulação do setor aeronáutico, tanto a nível de deformações identificáveis a olho nu, como a nível dimensional.

8 – Ultrassons

Na fase anterior, as peças são verificadas exteriormente, quer em termos visuais como de dimensão. No entanto, é essencial verificar o interior das peças. Para isso, recorre-se aos ensaios não-destrutivos, como os ultrassons. A CAER adquiriu recentemente uma máquina automática de ultrassons que irá permitir tornar este processo muito mais eficiente. No entanto, a verificação é também ainda realizada manualmente.

9 – Preparação da pintura

Apenas passam por esta operação as peças que necessitam de ser pintadas (BBSS, 2.24 e Falcon), uma vez que estamos perante uma operação de preparação da pintura. Aqui, as peças são seladas, lixadas para ativar a superfície e, ainda, mascaradas nas zonas que não vão ser pintadas.

10 – Aplicação de tapa-poros

Após preparação da pintura, verifica-se se a peça apresenta porosidades e é aplicada uma camada de tapa-poros para, tal como o nome sugere, corrigir eventuais porosidades.

11 – Aplicação de primário

Depois de as peças estarem devidamente preparadas para serem pintadas, é aplicada uma camada de primário. Depois de aplicada, as peças têm de secar, existindo para o efeito uma estufa com ligação à cabine de pintura. É ainda realizada uma verificação desta aplicação de primário para garantir que as peças se encontram nas condições desejadas para seguirem para a próxima operação.

12 – Pintura final

Realizados estes procedimentos prévios, as peças são finalmente pintadas. Depois de serem aplicadas as camadas de tinta especificadas, as peças têm de secar novamente, seguindo para a estufa usada na operação anterior. Tal como na aplicação de primário, é necessária uma verificação da pintura.

13 – Inspeção final

Por fim, existe ainda uma operação pela qual as peças cujo cliente é a ADS necessitam de passar, designada por inspeção final. Para o efeito, nas instalações da CAER existe um inspetor homologado pela ADS. Todas as peças do programa A320 Neo, programa cujo cliente é a ADS, não podem ser enviadas para o cliente sem antes serem verificadas por este inspetor.

Depois de passarem por estas 13 operações as peças estão prontas para serem devidamente embaladas e enviadas ao cliente.

É importante referir que, por se tratar de uma empresa inserida no setor aeronáutico, grande parte das especificações das peças resultam de normas. Até para a aparentemente simples operação de embalar as peças, ilustrada na Figura 7, existem instruções de trabalho específicas para cada peça, que devem ser rigorosamente seguidas pelos operadores.

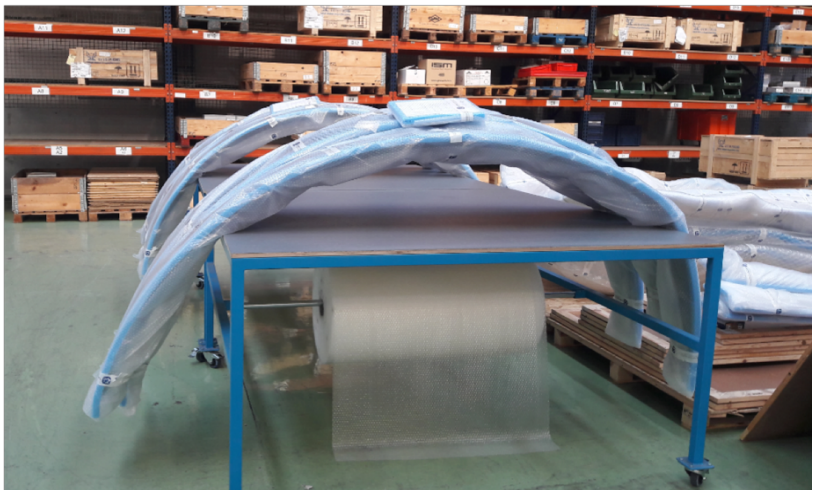


Figura 7 - Peças do programa Neo embaladas

3.4 Planeamento da produção

Explicado o processo produtivo, torna-se essencial descrever o modo como o planeamento e controlo da produção é realizado. Neste subcapítulo será explicado como o planeamento é realizado, desde as previsões dos clientes até à produção diária.

No início do ano é feito um plano de produção macro, tendo em conta as previsões de encomendas dos clientes. Na Figura 8 é possível observar a previsão fornecida pelos clientes para o ano de 2019. Posteriormente, o cliente terá que converter estas previsões em pedidos, com a antecedência suficiente para ser possível cumprir a entrega.

FORESCAST - PROGRAMA 2.08												
Jan-19	Fev-19	Mar-19	Abril-19	Maio-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Out-19	Nov-19	Dez-19	Total
68	65	62	55	65	65	61	31	68	75	65	46	**726**

FORESCAST - PROGRAMA BBSS												
Jan-19	Fev-19	Mar-19	Abril-19	Maio-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Out-19	Nov-19	Dez-19	Total
11	11	12	12	13	13	13	6	13	15	13	9	**141**

FORESCAST - PROGRAMA FALCON												
Jan-19	Fev-19	Mar-19	Abril-19	Maio-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Out-19	Nov-19	Dez-19	Total
2	2	2	3	2	2	3		3	4	3	2	**28**
3	2	2	3	2	2	3		3	3	4	1	**28**
3	2	3	2	2	2	3		3	3	3	2	**28**
3	2	2	3	2	2	3	1	3	3	2	1	**27**

FORESCAST - PROGRAMA 2.24												
Jan-19	Fev-19	Mar-19	Abril-19	Maio-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Out-19	Nov-19	Dez-19	Total
28	29	29	30	32	31	35	16	32	36	32	22	**352**

FORESCAST - PROGRAMA NEO												
Jan-19	Fev-19	Mar-19	Abril-19	Maio-19	Jun-19	Jul-19	Ago-19	Set-19	Out-19	Nov-19	Dez-19	Total
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	**240**

Figura 8 - Previsão de entregas de 2019

Face a esta previsão de encomendas é feito um plano de produção macro. Para isso, tendo em conta a quantidade total anual prevista, contabiliza-se o número de dias úteis de cada mês. Para além dos dias úteis, também entra como fator de segurança a taxa de qualidade. Esta taxa é calculada através de dados históricos de peças que foram dadas como *scrap*, isto é, que têm um defeito e que, segundo o cliente, não cumprem com os requisitos, não podendo seguir o fluxo normal. Na Figura 9 é possível observar este plano de produção para cada um dos programas.

A320 Neo	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Planned	26,6	23,4	22,2	18,7	25,7	19,9	26,9	11,7	24,5	26,9	23,4	8,2	258

*Considering a quality rate of: 89%

A320 2.08	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Planned	76,2	69,3	65,8	55,4	76,2	58,9	79,7	34,7	72,8	79,7	69,3	24,3	762

*Considering a quality rate of: 95%

A320 BBSS	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Planned	14,7	13,3	12,7	10,7	14,7	11,3	15,3	6,7	14,0	15,3	13,3	4,7	147

*Considering a quality rate of: 96%

A320 2.24	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Planned	36,3	33,0	31,3	26,4	36,3	28,0	37,9	16,5	34,6	37,9	33,0	11,5	363

*Considering a quality rate of: 97%

Falcon	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Planned	2,9	2,6	2,5	2,1	2,9	2,2	3,0	1,3	2,7	3,0	2,6	0,9	29

*Considering a quality rate of: 98%

Figura 9 - Plano de produção macro

Este plano pode ainda ser desdobrado à semana, tendo em conta, uma vez mais, os dias úteis de cada semana, obtendo-se assim um plano de produção semanal. Face a essa necessidade de produção, estabelece-se uma quantidade *standard* a planear para cada semana. Por semana é possível produzir conjuntos de peças para um número de aviões igual ao produto do número de conjuntos de moldes pelo número de dias úteis, isto porque entre as operações de *lay-up*, autoclave e desmolde, operações em que os moldes são utilizados, ocorre um dia. Não é possível ter no mesmo dia, no *lay-up*, um número de peças iguais superior ao número de moldes. Na operação de desmolde as peças são retiradas dos moldes, estando estes disponíveis para serem novamente utilizados.

É a partir deste plano de produção macro feito no início do ano que é gerido o planeamento ao longo do ano. O planeamento efetivo é revisto semanalmente, normalmente no fim de cada semana. Faz-se uma análise da obra em curso atual através de uma ferramenta denominada *Line of Balance* (LOB). No Anexo B está representado um LOB exemplificativo, neste caso do programa 2.24. Esta análise é feita individualmente com um LOB para cada um dos programas. Para construir o LOB extrai-se informação relativamente à obra em curso, peças não conformes e *stock* de produto acabado de SAP. Por norma, também se identificam, na parte superior do LOB, o número de aviões a entregar nas semanas seguintes, para se ter uma maior visibilidade do estado da encomenda. Para além disso, em cada LOB é possível verificar uma coluna que está identificada a laranja e que corresponde ao stock de segurança objetivo para o programa em questão. Constitui, por isso, uma ferramenta visual bastante útil e intuitiva para a análise do estado da obra em curso.

Dependendo do programa, o cliente pode exigir que as entregas sejam feitas por avião completo, isto é, uma entrega corresponde ao conjunto de todas as referências constituintes

desse programa, ou então pode fazer pedidos de apenas algumas referências do programa. Atualmente, apenas o programa Falcon não implica entregas de aviões completos. Para todos os outros programas, uma encomenda corresponde a um avião completo.

O objetivo é ter uma obra em curso o mais balanceada possível, ou seja, ter o número mais aproximado possível de todas as referências em curso. No entanto, devido a problemas que ocorrem ao longo da produção, surgem não conformidades nas peças. E quando aberta uma não conformidade é necessário esperar pelo *feedback* do cliente para poder tomar uma decisão. Até lá, as peças ficam retidas, numa zona chamada quarentena. Só depois de dada a confirmação pelo cliente é que se sabe se as peças são *scrap*, se podem ser recuperadas com uma ligeira reparação ou se podem seguir em curso sem necessidade de retrabalho. É maioritariamente devido às peças retidas na quarentena que se torna extremamente complicado manter a obra em curso balanceada. Para além da espera pela resposta do cliente, é também necessário tempo por parte da equipa da qualidade para abrir não conformidades, isto é, carregar no sistema as não conformidades. Como se pode verificar na Figura 10 através da evolução dos dados recolhidos entre a semana 7 e a semana 16 de 2019, as peças retidas nestas semanas variaram entre 773 e 1265, o que corresponde a um número de 20,9 e 34,1 aviões equivalentes, respetivamente. Estes dados englobam apenas os programas 2.08, 2.24, BBSS e Falcon, uma vez serem os programas com números mais relevantes para esta análise. O Neo é um programa em que cada avião é composto por apenas 6 peças, pelo que não existem muitas peças neste estado.

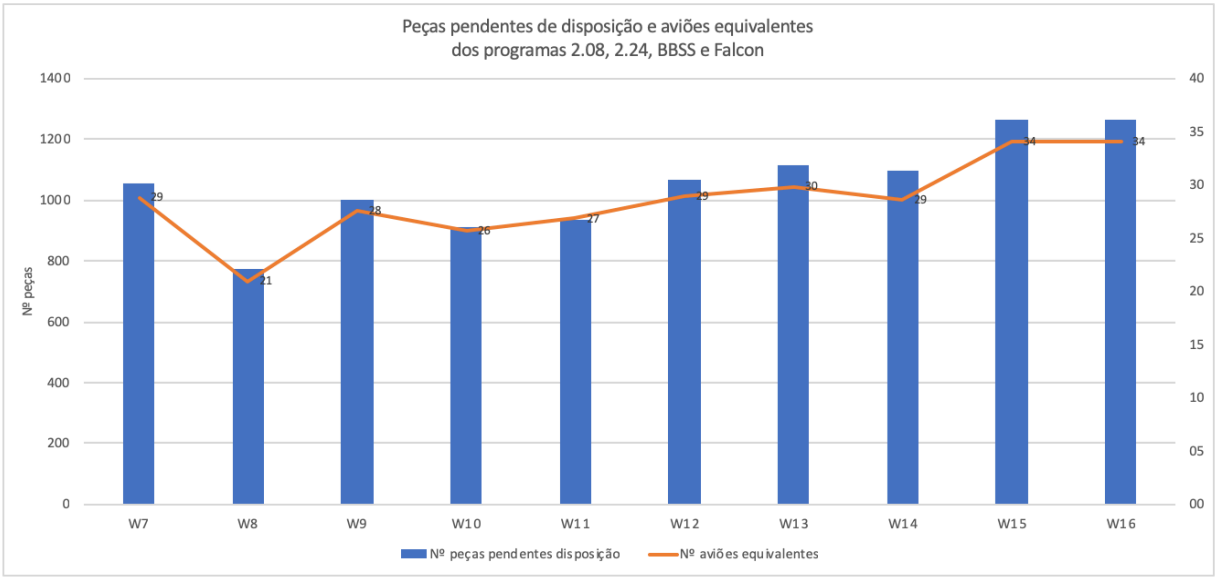


Figura 10 - Número de peças pendentes de disposição por semana

É natural que a cada semana que passa mais não conformidades sejam abertas, no entanto é necessário que se tente dar seguimento às que já estão nesse estado há mais tempo, tentando seguir uma lógica FIFO. A existência de um elevado número de peças impedidas de seguir o fluxo normal torna o papel de quem realiza o planeamento da produção ainda mais complicado, por não saber com o *stock* com que pode contar na semana seguinte.

Tendo analisado a obra em curso, o *stock* existente e o que é necessário entregar nas semanas seguintes, faz-se o planeamento da semana seguinte. Como já foi referido anteriormente, existe um *stock* de segurança objetivo para amortecer a variabilidade na produção, na logística e eventualmente na procura. Apesar do cliente fornecer uma previsão de encomendas no início do ano posteriormente convertida em pedidos, pode ainda fazer pedidos adicionais que não estavam comtemplados inicialmente. É com base nas previsões dos clientes que o *stock* de segurança objetivo é definido. O objetivo é garantir cerca de um mês de entregas em *stock* de produto acabado. Assim, para os programas 2.08, BBSS, Falcon e 2.24 o *stock* de produto

acabado objetivo é de 64, 15, 3 e 24 aviões, respetivamente. Num futuro próximo, o objetivo será internalizar totalmente os programas que ainda realizam operações em empresas subcontratadas. Para isso, é importante conseguir-se atingir estes valores de *stock* de produto acabado. Atualmente, apenas está totalmente internalizado o processo produtivo do programa BBSS.

No planeamento indica-se a quantidade que tem de ser produzida de cada referência em cada dia da semana. No Anexo C está representado o planeamento da semana 11 de 2 dos programas existentes. Como se pode observar, o programa 2.08 é um programa de alta cadência e por isso, normalmente, o planeamento não é alterado de semana para semana, produzindo-se sempre 4 unidades de cada referência, o que, ao final do dia, corresponde a 4 aviões, totalizando uma produção total de 20 aviões por semana. O outro exemplo ilustrado no Anexo B, referente ao programa 2.24, apresenta um planeamento diferente, uma vez que, devido a problemas de qualidade, a obra em curso encontra-se muito desequilibrada. Daí o planeamento ser diferente para cada referência. O objetivo atual para esse programa é tentar balancear a obra em curso. É importante referir que o sábado conta como dia extra, sendo por isso importante estar assinalado o que está planeado apenas no sábado e justificar a necessidade de pagar essas horas extra.

Uma vez finalizado o planeamento, e apesar de ficar disponível na rede, o mesmo é lançado apenas para os centros de trabalho de corte de materiais e *lay-up*, uma vez que é nestas operações que o processo produtivo se inicia. É o *lay-up* que, consoante o que está planeado, dita o que é lançado em curso. Do mesmo modo, se o corte não abastecer devidamente a zona de *lay-up*, não é possível avançar com a produção. No entanto, por norma, quando o planeamento não é cumprido, não se deve à falta de material cortado, a não ser que a informação do que é necessário cortar, ou seja, o planeamento, não seja lançado com a devida antecedência. Por isso é que o planeamento é lançado na semana anterior e não apresentado apenas no primeiro dia de cada semana.

3.4.1 Restrições

Naturalmente, o planeamento nunca terá uma taxa de cumprimento elevada se não se atender às restrições subjacentes ao processo produtivo. Convém referir que estas restrições se aplicam somente à operação de *lay-up*, que é onde ocorre a produção das peças.

1. **Colaboradores por turno**

Na operação de *lay-up*, existem equipas de operadores específicas para cada um dos programas, sendo que há programas que partilham recursos.

Atualmente existem 40 operadores na operação de *lay-up*, distribuídos pelos vários programas. Embora existam equipas dedicadas a cada um dos programas, existe um absentismo quase diário nesta operação. Por vezes, isto obriga à realocação dos operadores de um dos programas de menor cadência para o programa em falta, ficando a faltar recursos no programa do qual o operador foi retirado.

2. ***Lasers***

A segunda restrição diz respeito aos *lasers*. Existem peças que necessitam de uma projeção *laser* para indicar a posição em que as telas sevem ser colocadas no molde. Estes *lasers* detetam a posição do molde, ajustando de seguida a projeção. É uma restrição física, imposta pelo número limitado de *lasers*, porque em termos de tempo não significa um tempo adicional na produção da peça. Ou seja, enquanto que em algumas peças as telas são aplicadas sem a ajuda do laser, outras, devido à complexidade, têm uma projeção para auxiliar a mesma operação.

No total existem 5 *lasers* na sala limpa e 4 programas que exigem a utilização dos mesmos, sendo eles o Neo, A400M CC, A400M NCC e A400M Ductos. Para o Neo, todas as 6 referências que o constituem exigem a utilização dos lasers, enquanto as referências dos outros 3 programas não necessitam. Os 4 programas não referidos não utilizam o *laser* para a fabricação de nenhuma referência.

Atualmente, a divisão dos *lasers* está feita do seguinte modo: dos 5 *lasers*, 1 está sempre disponível para o Neo e os restantes 4 estão atribuídos aos 3 programas do A400M, constituindo, portanto, uma restrição política.

3. **Moldes**

Tal como explicado anteriormente, para a produção das peças procede-se à aplicação de telas de material compósito sobre o molde respetivo. Para cada programa existe um certo número de conjuntos de moldes. Na Tabela 2 está apresentada a quantidade de conjuntos de moldes existentes para cada um dos programas.

Tabela 1 - Número de conjuntos de moldes para cada programa

Programa	Nº de conjuntos de moldes
2.08	4
2.24	2
BBSS	1
Falcon	1
NEO	1

O número de moldes corresponde ao número de peças que podem ser feitas por dia, uma vez que, desde a operação de *lay-up* até à desmoldagem ocorre um dia. Por exemplo, para o programa 2.08 existem 4 conjuntos de moldes, isto significa que é possível produzir 4 aviões completos sem ter que reciclar os moldes, ou seja, é possível produzir 4 aviões simultaneamente ou sem ter que desmoldar outro avião para o efeito.

4. **Placas**

Tal como já foi referido aquando da explicação da operação de *lay-up,* uma peça pode ser produzida individualmente, isto é, o molde corresponde apenas a uma peça, ou então uma execução pode resultar em mais do que uma peça. Este último caso corresponde às placas. Quando se fala em placa, está a ser feita referência aos casos em que um molde corresponde a mais do que uma peça, podendo estas ser várias peças iguais, ou então várias peças com referências diferentes. Ou seja, quando se planeia a execução de uma das referências dessa placa, tem que se planear também as outras peças constituintes da placa ou, no caso de resultar em várias peças iguais, tem que se contar que o planeamento de uma peça só é possível em múltiplos dessa peça.

3.4.2 Tempos de execução

Para além das restrições acima enunciadas, outra questão a ter em conta no planeamento são os tempos de execução. Não é viável realizar um correto planeamento sem se atender à capacidade do sistema.

Na Figura 11 é possível observar a cadência diária necessária do programa BBSS para atender à procura do cliente, tendo em conta a taxa de qualidade anteriormente referida. Para além disso, é também possível constatar não só os tempos de cada operação para 1 avião BBBS (cadência diária), mas também o *takt-time* por operação, ou seja, o tempo por avião de modo a cumprir a cadência diária necessária.

É importante referir que não existem equipas dedicadas a cada um dos programas, exceto na operação de *lay-up*. Isto implica que por vezes sejam necessários 2 ou 3 turnos, mesmo com tempos inferiores a 7,5 horas. Por exemplo, a operação de corte de materiais do programa BBSS demora 2,9 horas. No entanto, a equipa dedicada a esta operação trabalha 3 turnos, uma vez que

Para além disso, é importante realçar que os tempos de mão de obra direta e de máquina são complementares.

BBSS	**Procura Cliente** (Aviões/ano)	**Dias úteis** (dias)	**Eficiência processo** (%)	**Cadência diária com inificiência do processo** (Aviões/dia)
	141	220	96%	**1,0**

	Mão de obra direta (1 avião) h.	**T. Máq. (1 avião)** h.	**Turno** 7,5h. / turno	**Takt-time seção** h./ avião	**Nr. Máquinas ou Moldes** unid.
Corte de materiais	1,9	1	3	22,5	1,0
Layup	15	n/a	2	15,0	1
Autoclave	2	7	3	22,5	2,0
Desmolde	5,7	n/a	3	22,5	n/a
Corte	7,5	n/a	2	15,0	n/a
Inspeção VD	6	n/a	2	15,0	n/a
Inspeção UT automático	1,5	1,5	2	15,0	1
Preparação pintura	2,46	1	2	15,0	1
Tapa-poros	1,62	1	2	15,0	1
Primário	2,87	6	2	15,0	1
Pintura final	4,11	6	2	15,0	1
Inspeção Final	3,00	n/a	2	15,0	n/a
Logística					

Gargalo

Figura 11 - Tempos de execução e *takt-times* do programa BBSS

A cadência diária dos programas em que as entregas são feitas por aviões completos foi arredondada, uma vez que o objetivo é ter sempre em *stock* aviões completos, prontos para entregar ao cliente final. De facto, não só a cadência necessária para cumprir a procura do cliente corresponde a 1 avião por dia, como a capacidade do sistema se traduz em 1 avião por dia. A operação de *lay-up* não tem capacidade de produzir mais do que isso, não só em termos de tempo de execução, mas também porque atualmente existe apenas 1 conjunto de moldes.

No caso do programa 2.08, a cadência diária necessária de modo a atender à procura do cliente são 4 aviões. Na Figura 12 podem-se observar os tempos de execução de 1 avião 2.08, bem como os *takt-times* de cada operação.

2.08	Procura Cliente (Aviões/ano)	Dias úteis (dias)	Eficiência processo (%)	Cadência diária com inificiência do processo (Aviões/dia)
	726	220	95%	4

	Mão de obra direta (1 avião) h.	T. Máq. (1 avião) h.	Turno 7,5h. / turno	Takt-time seção h./ avião	Nr. Máquinas ou Moldes unid.	Envios dia
Corte de materiais	1,3	1	3	5,6	1,0	
Layup	5,6	n/a	3	5,6	4	
Autoclave	2	7	3	5,6	2,0	
Desmolde	4,5	n/a	3	5,6	n/a	
Inspeção Prévia	0,5	n/a	2	3,8	n/a	
Envio a subc.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Sub - Corte	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Sub - IN VD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Sub - IN UT	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Recep. Logistica	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1

Gargalo

Figura 12 - Tempos de execução e *takt-times* do programa 2.08

Tal como no programa BBSS, a operação que limita a produção do 2.08 é, uma vez mais, o *lay-up*, essencialmente pela existência de apenas 4 conjuntos de moldes, mas também devido aos tempos de execução.

Os tempos dos restantes 3 programas (2.24, Neo e Falcon) podem ser consultados no Anexo D.

3.5 Controlo da produção

Uma tarefa de elevada importância, para além de planear o que produzir, é controlar se de facto o que foi planeado está a ser cumprido. Para isto, recorre-se às reuniões de avaliação do desempenho feitas diariamente, sempre às 9:30h, e que estão programadas para ter uma duração de cerca de 30 minutos. Quando não existe nenhum problema para debater, acabam por ter uma duração menor. Nesta reunião deve estar presente o responsável de cada operação e se, por alguma razão, este não puder estar presente, deve indicar alguém da sua equipa para o substituir. Por norma esta reunião é conduzida por um dos membros responsáveis pelo planeamento e controlo de produção.

Estas reuniões têm como principal objetivo a transmissão de informação entre as várias equipas e acompanhamento de indicadores de desempenho de forma intuitiva e visual. Discutem-se problemas que surjam ao longo do processo produtivo, tenta-se detetar as suas causas e, se possível, delinear uma linha de ação. Para além disso, e mais importante, verifica-se se o que está planeado para cada centro de trabalho foi realizado e, no caso de não ter sido, discute-se porquê.

Em cada uma destas reuniões recorre-se a dois quadros diferentes:

1. Quadro de indicadores

O quadro de indicadores, presente na Figura 13, é o primeiro a ser abordado nas reuniões. Contém indicadores de desempenho identificados como sendo importantes de seguir, como por exemplo o valor de faturação, valor de vendas, número de acidentes de trabalho, entre outros.



Figura 13 - Quadro de indicadores

2. Quadro de problemas

O quadro de problemas, que pode ser observado na Figura 14, serve para assinalar problemas que são referidos na reunião e que não têm solução imediata. Está dividido por centro de trabalho e ainda em 3 colunas, que correspondem a 3 tipos de problemas. A primeira coluna corresponde a problemas de material, a segunda a problemas relacionados com métodos de

produção, processos ou ainda com os roteiros. A terceira e última coluna está reservada a problemas relacionados com máquinas.

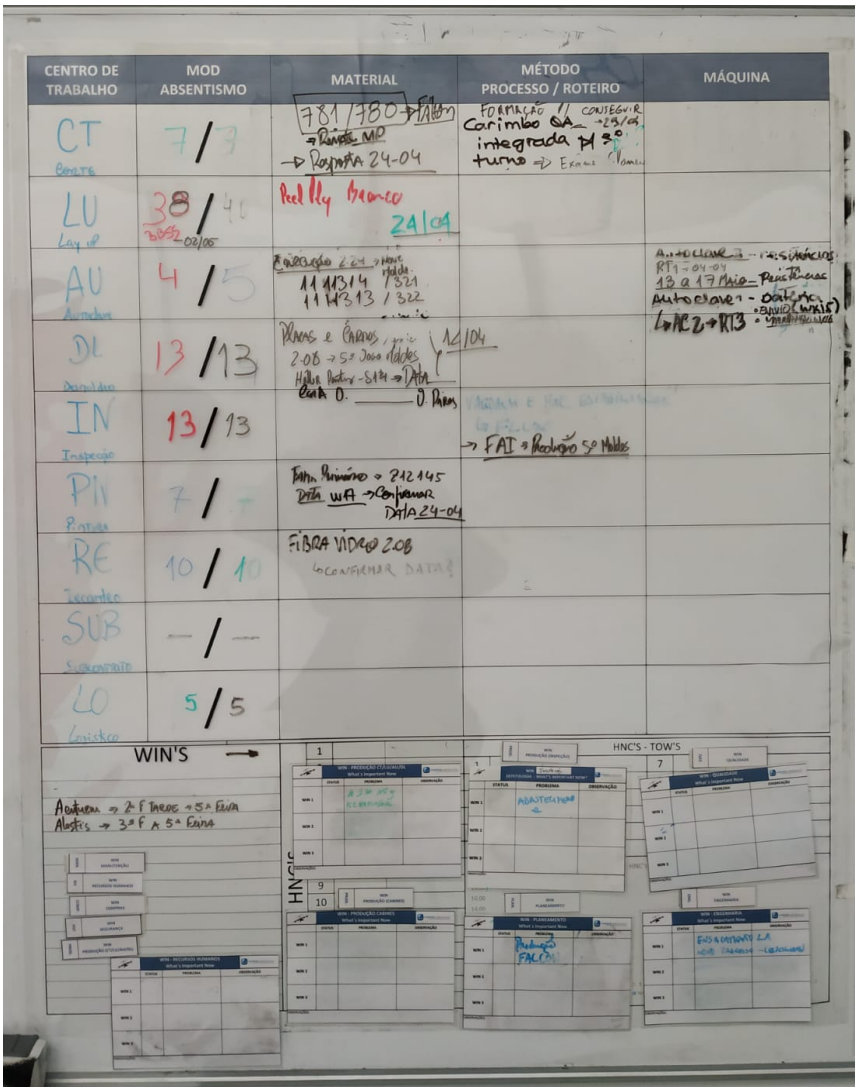


Figura 14 - Quadro de problemas

Por baixo desta tabela destinada ao registo de problemas sem solução imediata, encontra-se uma área reservada apenas para os WIN (*What's important now*). Existem 7 divisões, sendo elas:

- Recursos humanos;
- Corte de materiais, *lay-up*, autoclave e desmolde;
- Cabines (pintura e corte);
- Inspeção;
- Planeamento;
- Qualidade;
- Engenharia.

O objetivo é utilizá-las para registar, se existir, algum ponto relacionado com cada uma das divisões que mereça atenção especial.

3. Quadro de controlo da produção diária

É neste quadro, presente na Figura 15, que se verifica o que de facto foi produzido no dia anterior, em comparação com o que foi planeado. As quantidades planeadas correspondem às cadências diárias de cada programa. Neste quadro, as quantidades objetivo são preenchidas pelo responsável pelo planeamento e o que foi realmente produzido é preenchido pelo responsável de cada operação.



Figura 15 - Quadro de controlo da produção diária

No caso de as quantidades produzidas não corresponderem ao planeado, discute-se nesta mesma reunião as causas e, no caso de haver algum problema, tenta-se definir como resolvê-lo.

Neste controlo diário, existem programas que são controlados por número de aviões produzidos, como é o caso dos 3 primeiros: 2.08, BBSS e Neo. Os outros programas em análise, 2.24 e Falcon, são controlados por número de peças. Esta diferença ocorre, no caso do programa Falcon, por não se fazerem entregas de aviões completos, pelo que também não se planeiam aviões completos diariamente. No caso do 2.24 ocorre porque atualmente não se estão a planear aviões completos, por se estar a balancear a obra em curso. Atualmente existe uma dificuldade em manter o controlo da produção dos programas que são controlados por

peças. De facto, é possível observar que, nesses casos, apenas se faz o controlo em alguns centros de trabalho.

Para além de se fazer este controlo na reunião diária, controlar a produção implica uma constante presença no *gemba* para controlar se as peças se encontram onde deveriam em cada momento e se as operações decorrem sem problemas. Contudo, por o planeamento não existir para além da operação de *lay-up*, é impossível saber se, de facto, as peças estão onde deveriam estar.

Consoante a operação, o controlo no chão de fábrica é realizado de diversas maneiras, decididas pelos responsáveis de cada operação. Por exemplo, há operações que controlam a produção de um programa por número de placas realizadas, enquanto que outras operações controlam por peças ou por aviões completos. Há ainda responsáveis de operações que não fazem de modo algum este tão importante controlo no chão de fábrica.

Para além de ser essencial realizar este controlo em cada operação, é fundamental que esse processo esteja uniformizado e otimizado de igual modo para cada uma das operações ao longo do processo produtivo. O facto de não existir a *standardização* deste processo de controlo próprio por parte da produção faz com que, por diversas vezes, se perca informação entre a produção e as reuniões de avaliação do desempenho realizadas diariamente.

Para além disso, a ausência de um controlo ao nível do chão de fábrica, aliado à inexistência de um planeamento concreto orientado para cada um dos centros de trabalho, resulta muitas vezes em grandes quantidades de WIP. Na Tabela 2 é possível observar esses valores de WIP relativos à semana 19, em termos de números de peças, para cada um dos programas. Nestes valores estão incluídas todas as peças em curso, ou seja, desde a operação de *lay-up* até ao *stock* de produto final, exclusive.

Tabela 2 - Valores de WIP (número de peças) por programa da semana 19

Quantidade de WIP na semana 19	
Peças do programa 2.08	2073
Peças do programa 2.24	503
Peças do programa BBSS	388
Peças do programa Falcon	503
Peças do programa NEO	72
Total	3539

Esta acumulação de trabalho, traduzida nos valores de WIP, ocorre porque, na maioria dos centros de trabalho, ao contrário do que acontece na operação de *lay-up*, não existem equipas de operadores dedicadas a cada um dos programas, o que constitui uma restrição política. Isto implica que exista um planeamento definido para cada um dos programas, ou seja, é essencial que as prioridades estejam previamente definidas e não sejam os próprios operadores a decidir aleatoriamente as quantidades de cada programa a trabalhar, nem seja necessário estar a definir prioridades em cima da hora, por falta desse controlo diário.

3.6 Cumprimento do planeamento

Para estudar a eficácia do planeamento da produção, recorreu-se ao cálculo da taxa de cumprimento do mesmo desde a semana 1 até à semana 12 de 2019. Este indicador permite avaliar a capacidade da produção de responder ao planeamento. A taxa para cada um dos programas foi calculada pelo quociente entre o número total de peças produzidas desse

mesmo programa e o número total de peças planeadas para o mesmo. Foi decidido calcular esta taxa para cada um dos programas em estudo, para avaliar quais os programas onde residem os maiores problemas. É importante referir que a taxa de cumprimento do planeamento é referente apenas à operação de *lay-up* e que, no caso de incumprimentos, estes não transitam automaticamente para a semana a seguir, uma vez que, por se seguir uma estratégia *make to stock* (MTS), incumprimentos não significam atrasos nas entregas.

Na Figura 16 é possível observar que o programa com taxas de cumprimento mais reduzidas ao longo das 12 semanas analisadas é Falcon. Isto ocorre não só porque por vezes se produz acima da capacidade que a operação de *lay-up* tem para produzir peças, mas na maioria dos casos este incumprimento ocorre porque, quando existe absentismo num dos outros programas, desloca-se quase sempre operadores deste programa para cobrir esse absentismo e tentar garantir a produção dos outros programas de maior cadência. Contrariamente ao que é desejado, existe absentismo na operação de *lay-up* quase diariamente, o que afeta diretamente a capacidade da operação e, consequentemente, o cumprimento do planeamento.

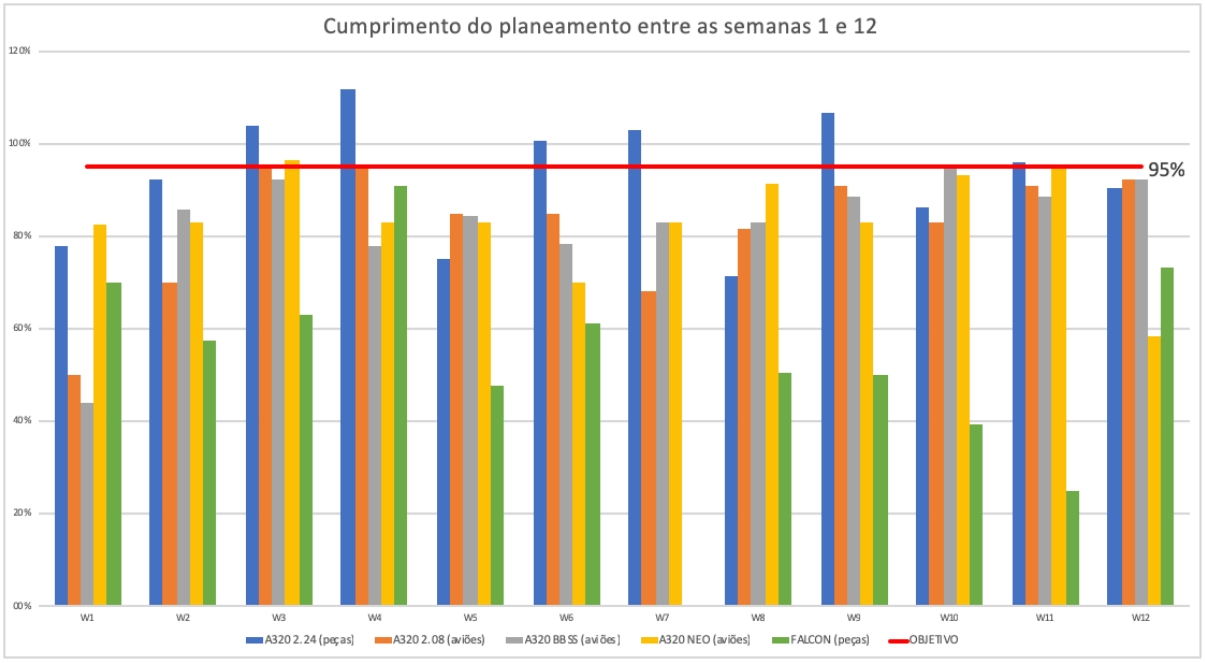


Figura 16 - Taxa de cumprimento do planeamento entre as semanas 1 e 12 de 2019

Para além disso, nestas 12 semanas de análise, vários programas tiveram taxas de cumprimento de planeamento consideravelmente abaixo da taxa objetivo, que corresponde a um cumprimento de 95%. É importante referir que estas taxas inferiores ao objetivo não se traduzem diretamente em atrasos nas entregas. Como a empresa segue uma estratégia de produção de MTS, a cadência diária que se reflete no planeamento não corresponde ao número exato de peças a entregar ao cliente, mas reforça a vontade de atingir os *stocks* de segurança de produto acabado.

Contudo, para que de facto não existam atrasos nas entregas é imperativo que seja feito um controlo ao nível do chão de fábrica, de forma a garantir que as peças seguem o devido fluxo e que chegam a *stock* de produto acabado quando devem. Garantir que cada centro de trabalho cumpre com o devido *cycle time*, não só para que não existam atrasos nas entregas, mas também para não acumular WIP desnecessário, que num fluxo produtivo representa desperdício.

O cumprimento do planeamento é calculado de acordo com o número de peças produzidas no centro de trabalho do *lay-up*, contudo é necessário controlar se, de facto, a cadência diária desse centro de trabalho é mantida nos restantes, potenciando o sequenciamento das tarefas,

maximizando recursos e minimizando gastos e desperdícios. Atualmente, como foi referido anteriormente, esse controlo não é realizado eficientemente.

Posto isto, é importante ter em mente que mesmo uma taxa de cumprimento do planeamento elevado não significa necessariamente que as peças vão chegar ao fim do fluxo atempadamente.

4 Sugestões de melhoria

4.1 Identificação dos carros de suporte nas zonas de inspeção

Com o intuito de melhorar o fluxo dentro da fábrica e, consequentemente, facilitar o controlo da produção das peças do programa Neo, que são de grande dimensão, foi decidido identificar e organizar os carros onde as mesmas são colocadas nas zonas de inspeção, tanto visual e dimensional, como ultrassons e ainda inspeção final.

Nos carros da inspeção visual e dimensional e ultrassons, existem 6 suportes, no entanto, antes da melhoria proposta, não existia um suporte do carro alocado a cada uma das diferentes referências deste programa, sendo estas posicionadas sem qualquer critério, umas peças em cima das outras, podendo estar no mesmo suporte peças com referências diferentes.

Na Figura 17 está representado o carro para peças pendentes de inspeção visual e dimensional e ultrassons. Como se pode constatar, de facto, não existia qualquer tipo de identificação do carro. Quem não pertencesse aos postos de trabalho em questão não sabia a finalidade do carro. Para além disso, mesmo os operadores responsáveis pelas inspeções visual e dimensional e ultrassons, sempre que necessitassem de uma das peças colocadas no carro, tinham de pegar nas OP's para procurarem a referência das peças, desperdiçando demasiado tempo nessa tarefa.

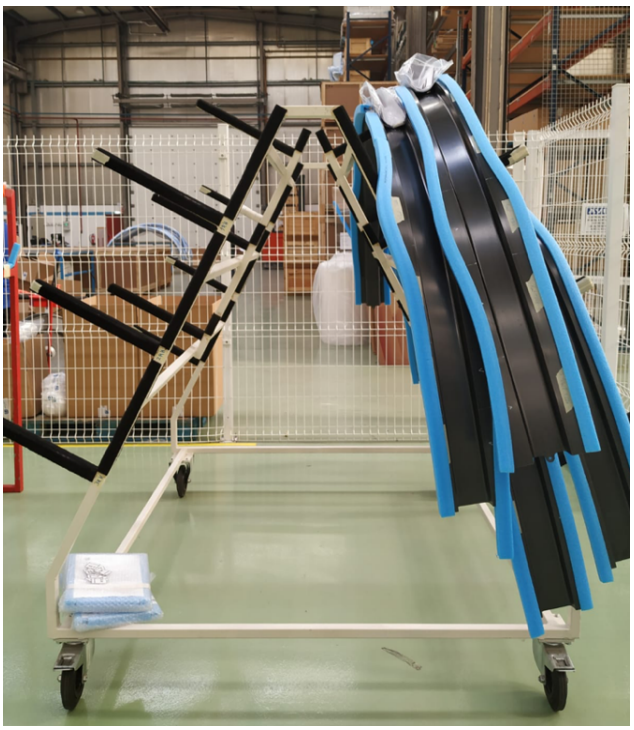


Figura 17 - Carro para peças do programa Neo pendentes de inspeção visual e dimensional e ultrassons antes da melhoria

Tal como acima referido, o carro representado na Figura 17 possui 6 suportes. Com a nova identificação dos carros proposta, os 6 suportes foram alocados um para cada uma das 6 referências constituintes do programa Neo, sendo que em cada suporte cabem 2 peças sem estarem empilhadas. A identificação realizada permitiu tornar mais rápido e fácil, ou seja, mais eficiente o processo de pegar nas peças quando necessário, uma vez que os operadores já não têm que procurar pela referência que necessitam. Consequentemente, melhora a produtividade dos operadores.

Na Figura 18 pode-se observar o carro já devidamente identificado. Cada um dos suportes foi também identificado com uma etiqueta, na qual consta cada uma das 6 referências.



Figura 18 - Carro para peças do programa NEO pendentes de inspeção visual e dimensional e ultrassons depois da melhoria

Permitiu também facilitar e tornar mais eficiente o processo de abastecimento por parte da logística às zonas de inspeção. As peças deste programa, depois de realizada a operação de inspeção prévia, são enviadas para uma empresa subcontratada, onde é realizada a operação de corte. Posteriormente são enviadas novamente para a CAER, onde a logística as recebe. Seguidamente, voltam à zona de inspeção para que possam seguir o fluxo e ser submetidas às operações de inspeção visual dimensional e ultrassons. Com os carros corretamente identificados e com posições alocadas para cada uma das referências, como se pode observar na Figura 18, o operador da logística, ao olhar para o carro das peças pendentes de inspeção já sabe onde colocar corretamente cada uma das referências.

Na zona de inspeção final, que é realizada pelo inspetor homologado pela ADS, é de elevada relevância saber as peças que lá se encontram e as respetivas ordens de produção, uma vez que é nesta zona que os motores (as peças deste programa são todos para a zona do motor do avião) são "montados", isto é, só depois de ter um conjunto de 6 referências aceites pelo inspetor é que o mesmo pode ser enviado para o cliente.

Depois de discutir o processo com a operadora da CAER responsável pela inspeção final juntamente com o inspetor homologado pela ADS, para identificação de possíveis melhorias, procedeu-se à elaboração de um documento para registos colocado, posteriormente, no carro de suporte da inspeção final.

No papel de registos criou-se um campo para identificar se a ordem de produção já foi comprada. Este campo pode ser preenchido tanto pelo inspetor da ADS como pela operadora da CAER que o auxilia na operação. Utiliza-se o termo "comprada" para fazer referência às peças que foram aceites pelo inspetor da ADS e podem, por isso, ser vendidas ao cliente quando o conjunto das 6 peças for aceite. Existe a necessidade deste campo de "compra", porque neste carro estão as peças aceites pelo inspetor e, por isso, prontas para envio, mas também existem peças que estão ainda à espera de serem inspecionadas. Neste carro existem peças já aceites pelo inspetor e peças ainda por inspecionar, uma vez que o inspetor não permite que as peças avancem para *stock* de produto final sem ter o conjunto das 6 peças aceites. Antes desta melhoria, era necessário procurar pelo carimbo do inspetor para saber se a peça já estava verificada. Mais uma vez, tornou a interpretação da informação no chão de fábrica mais eficiente.

Tal como acima descrito, esta melhoria ao nível da gestão visual foi realizada em toda a zona da inspeção para o programa Neo, ou seja, desde que as peças chegam da empresa subcontratada até serem enviadas para o cliente final. Permitiu tornar mais eficiente os processos de inspeção e, para além disso, tornou a informação mais visível e percetível não só para todos os operadores, mas também para quem circula no chão de fábrica. Para além do claro aumento da eficiência das operações de inspeção, a melhoria proposta permitiu uma redução substancial das margens de erro na identificação das peças. Antes de realizada esta identificação dos carros e nova alocação das peças nos carros, como as várias referências estavam misturadas, o operador podia enganar-se e pegar numa referência pensando que era outra.

4.2 Nova metodologia para controlo do fluxo produtivo

Como já foi referido anteriormente, o planeamento era apenas lançado para os postos de trabalho de corte de materiais e *lay-up*. Os restantes postos de trabalho não seguiam qualquer planeamento, processando peças sem critérios, ou seja, cada centro de trabalho acabava por escolher aleatoriamente peças para trabalhar. Isto resultava numa grande quantidade de WIP em espera, o que equivale a grandes valores de *stocks* intermédios não programados e completamente desnecessários. Esta falta de planeamento, e consequente falta de controlo resultava num incumprimento do suposto *cycle time* por posto de trabalho, traduzido num incumprimento do *lead time* total e, tal como apresentado no capítulo 3, em quantidades de WIP elevadíssimas.

Com o objetivo de garantir um fluxo constante e evitar a acumulação de WIP em espera desnecessário, desenvolveu-se uma nova metodologia para controlar o fluxo produtivo dos diversos programas.

Esta nova metodologia foi desenvolvida como forma de atingir os seguintes objetivos:

- Potenciar o sequenciamento de tarefas;
- Garantir um fluxo constante das peças;
- Facilitar a rastreabilidade das peças ao nível do chão de fábrica;
- Diminuir a quantidade de WIP em espera;
- *Standardizar* a carga de trabalho das várias equipas em cada centro de trabalho.

A cadência diária de cada programa deverá ser igual para todas as operações, ou seja, cada centro de trabalho tem que processar diariamente a quantidade produzida na operação de *lay-up*. Isto quer dizer que, por exemplo, se a cadência diária do *lay-up* para um determinado programa for 1 avião, a cadência nos restantes centros de trabalho deverá ser a mesma. Com isto, tenta-se garantir que a quantidade produzida diariamente no *lay-up* chega toda ao mesmo

tempo ao *stock* de produto acabado. Não há interesse em que chegue a *stock* apenas 1 peça do avião produzido, mas sim o avião completo, isto se não for detetada nenhuma não conformidade a meio do fluxo.

Para isto, definiu-se que, no caso dos programas em que a cadência diária são aviões completos, a partir do momento em que as peças de 1 avião completo são desmoldadas, as mesmas são colocadas num carro. As peças irão seguir neste carro até chegarem a *stock*. Devem ser retiradas desse carro apenas se detetada uma não conformidade e houver necessidade de as reter e, por isso, retirá-las do fluxo. Caso contrário, as peças de 1 avião completo devem chegar a *stock* de produto acabado todas ao mesmo tempo.

Cada carro deverá ser identificado com uma cor, consoante o dia em que foi desmoldada. Com este código de cores, cada centro de trabalho saberá que peças deve trabalhar em cada dia da semana. Torna o processo muito mais intuitivo, não havendo margem para erros na identificação do trabalho em cada posto de trabalho.

4.2.1 Implementação da nova metodologia no programa BBSS

Inicialmente, decidiu-se aplicar esta nova metodologia apenas no único programa que está totalmente internalizado, programa em que todas as operações são realizadas internamente, não dependendo de nenhuma empresa subcontratada, ou seja, aplicou-se no programa BBSS.

Tal como foi referido no capítulo 3, para este programa a cadência diária para cumprir com a procura do cliente deve ser de 1 avião completo, o que corresponde a 18 peças. Isto significa que todas as operações devem processar 18 peças por dia. Como este controlo vai ser realizado a partir da operação de desmolde, foram definidos 7 centros de trabalho:

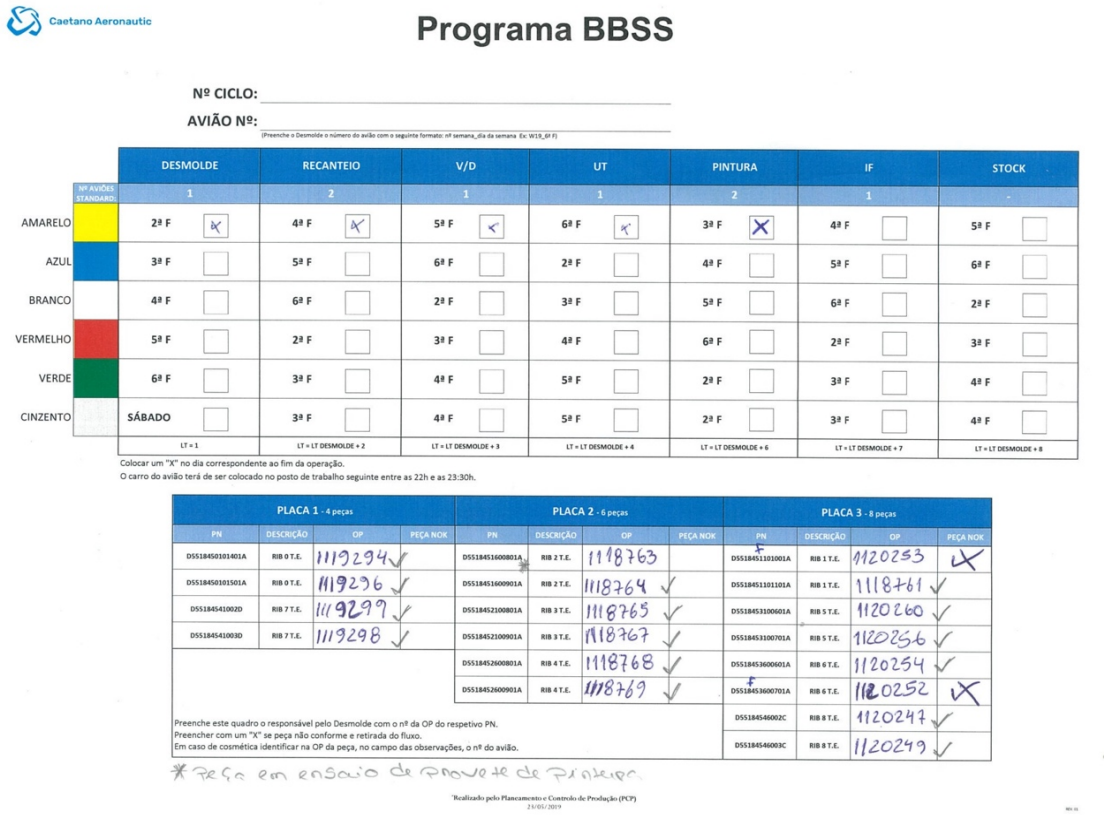
- Desmolde;
- Corte;
- Visual e Dimensional;
- Ultrassons;
- Pintura;
- Inspeção Final;
- *Stock.*

Agregaram-se as operações de preparação da pintura, aplicação de tapa-poros, aplicação de primário e pintura final numa só, denominada de pintura, uma vez que são realizadas no mesmo centro de trabalho. Para além disso, a inspeção prévia não foi considerada, porque como o processo está totalmente internalizado, a análise do ciclo é realizada na operação de inspeção visual e dimensional, enquanto que nos restantes programas, existe a necessidade de realizar uma verificação visual prévia, antes das peças serem enviadas para as empresas subcontratadas.

Com o intuito de garantir que o fluxo produtivo é sempre garantido, definiu-se um stock intermédio de 1 avião na operação de corte, a seguir ao desmolde. Isto foi feito para salvaguardar a produção caso a máquina de corte de materiais tenha algum problema e não possa cortar matérias primas, ou então se um dos autoclaves ou mesmo os dois estiverem parados. Ou seja, é um *stock* de segurança para garantir o abastecimento dos restantes centros de trabalho. O *cycle time* de cada centro de trabalho deve ser de 1 avião/dia, isto significa que um carro (1 avião completo) deverá estar 1 dia em cada centro de trabalho. No caso do centro de trabalho considerado de pintura, que agrega 4 operações realizadas todas de seguida no mesmo posto de trabalho, irão existir sempre 2 aviões na secção a serem processados. No entanto o *cycle time* da pintura é na mesma 1 avião/dia, uma vez que sai 1 avião por dia dessa

secção. Tendo todos os centros de trabalho um *cycle time* de 1 avião/dia, ou seja, sai um avião por dia de cada secção e, tal como referido anteriormente neste parágrafo, foi definido um *stock* de segurança na secção de corte de 1 avião e, para além disso, existem sempre 2 aviões na secção da pintura, o *lead time* é aumentado em 2 dias. O que irá suceder no posto de trabalho da pintura é que, enquanto um avião está em preparação da pintura, outro já estará na operação da pintura final.

Tal como acima foi referido, cada carro deverá circular devidamente identificado, isto é, deverá ter um cartão colorido respetivo ao dia em que as peças que o constituem foram desmoldadas e uma folha onde são feitos alguns registos e que permite ainda ver se o *cycle time* definido está a ser devidamente cumprido em cada centro de trabalho. Na Figura 19 pode-se observar uma folha de registos para este programa.



Caetano Aeronautic

Programa BBSS

Nº CICLO: _____

AVIÃO Nº: _____

(Preencher o Desmolde o número do avião com o seguinte formato: nº semana_dia da semana Ex: W19_6F F)

Nº AVIÕES STANDARD		DESMOLDE	RECANTEIO	V/D	UT	PINTURA	IF	STOCK
		1	2	1	1	2	1	-
AMARELO		2ª F X	4ª F X	5ª F X	6ª F X	3ª F X	4ª F	5ª F
AZUL		3ª F	5ª F	6ª F	2ª F	4ª F	5ª F	6ª F
BRANCO		4ª F	6ª F	2ª F	3ª F	5ª F	6ª F	2ª F
VERMELHO		5ª F	2ª F	3ª F	4ª F	6ª F	2ª F	3ª F
VERDE		6ª F	3ª F	4ª F	5ª F	2ª F	3ª F	4ª F
CINZENTO		SÁBADO	3ª F	4ª F	5ª F	2ª F	3ª F	4ª F
		LT = 1	LT = LT DESMOLDE + 2	LT = LT DESMOLDE + 3	LT = LT DESMOLDE + 4	LT = LT DESMOLDE + 6	LT = LT DESMOLDE + 7	LT = LT DESMOLDE + 8

Colocar um "X" no dia correspondente ao fim da operação.
O carro do avião terá de ser colocado no posto de trabalho seguinte entre as 22h e as 23:30h.

PLACA 1 - 4 peças				PLACA 2 - 6 peças				PLACA 3 - 8 peças			
PN	DESCRIÇÃO	OP	PEÇA NOK	PN	DESCRIÇÃO	OP	PEÇA NOK	PN	DESCRIÇÃO	OP	PEÇA NOK
D5518450101401A	RIB 0 T.E.	1119294 ✓		D5518451600801A	RIB 2 T.E.	1118763		D5518451101001A	RIB 1 T.E.	1120253	X
D5518450101501A	RIB 0 T.E.	1119296 ✓		D5518451600901A	RIB 2 T.E.	1118764 ✓		D5518451101101A	RIB 1 T.E.	1118761 ✓	
D5518454102D	RIB 7 T.E.	1119297 ✓		D5518452100801A	RIB 3 T.E.	1118765 ✓		D5518453100601A	RIB 5 T.E.	1120260 ✓	
D5518454103D	RIB 7 T.E.	1119298 ✓		D5518452100901A	RIB 3 T.E.	1118767 ✓		D5518453100701A	RIB 5 T.E.	1120256 ✓	
				D5518452600801A	RIB 4 T.E.	1118768 ✓		D5518453600601A	RIB 6 T.E.	1120254 ✓	
				D5518452600901A	RIB 4 T.E.	1118769 ✓		D5518453600701A	RIB 6 T.E.	1120252	X
								D5518454602C	RIB 8 T.E.	1120247 ✓	
								D5518454603C	RIB 8 T.E.	1120249 ✓	

Preenche este quadro o responsável pelo Desmolde com o nº da OP do respetivo PN.
Preencher com um "X" se peça não conforme e retirada do fluxo.
Em caso de cosmética identificar na OP da peça, no campo das observações, o nº do avião.

* Peça em ensaio de Aprovação de Primeiro

Realizado pelo Planeamento e Controlo de Produção (PCP)
23/05/2019

Figura 19 - Folha de registos do carro BBSS

As 18 peças do avião correspondente à folha da Figura 19 foram desmoldadas segunda feira, pelo que o carro que as transportava foi identificado com o cartão amarelo. Como é possível perceber através da folha de registos, este carro amarelo deverá então ser desmoldado segunda-feira e, de acordo com os *cycle times* e *stocks* de segurança acima referidos, cortado na quarta-feira, passar a inspeção visual e dimensional na quinta-feira e por aí em diante, chegando ao *stock* de produto acabado na quinta-feira da semana seguinte. O operador deve assinalar com uma cruz o dia em que terminou a operação. Com esta nova metodologia, os operadores sabem que têm que realizar a operação correspondente a tudo o que estiver dentro do carro com a cor correspondente ao dia da semana em questão. Por exemplo, às quintas-feiras o centro de trabalho da inspeção final sabe que tem que processar tudo o que estiver em carros com o cartão azul. Assim, evita-se que fiquem peças esquecidas durante dias nos vários centros de trabalho, acumulando WIP desnecessário. Deste modo é bastante percetível que apenas deve estar um carro por centro de trabalho, exceto no corte e pintura, tal como já foi explicado anteriormente.

Inicialmente, como não existiam os carros apropriados ao programa BBSS, decidiu-se implementar o processo em caixas de cartão. Os únicos carros que existiam na empresa eram demasiado grandes para as 18 peças em questão. O objetivo é implementar em carros, mas atualmente ainda se está na fase de contactar diversos fornecedores. A implementação em caixas de cartão foi possível porque, para o programa BBSS, 1 avião são apenas 18 peças de reduzida dimensão, ou seja, cada caixa apenas transportará no máximo 18 peças. Na Figura 20 é possível observar uma caixa exemplificativa. Tal como foi referido, a identificação passa por um cartão colorido e uma folha de registos, apresentada na Figura 19.

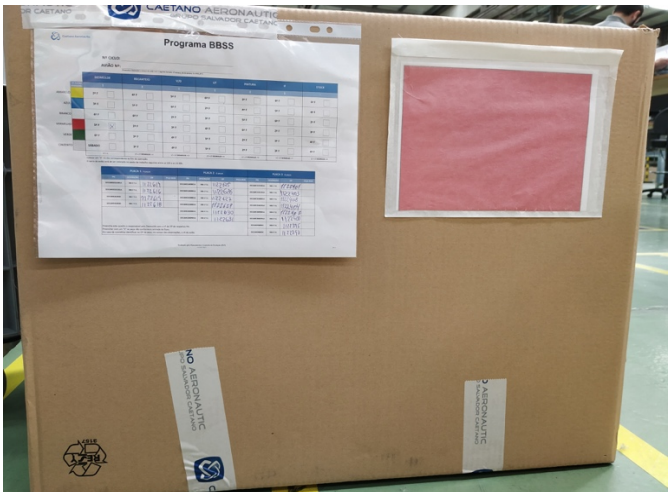


Figura 20 - Caixa identificada do programa BBSS

De acordo com os *stocks* intermédios definidos, o número de caixas *standard* que deverá existir por centro de trabalho pode ser observado na Figura 21. Ou seja, não incluindo a caixa que deverá chegar todos os dias a *stock*, deverão existir 8 caixas em curso, perfazendo 144 peças no total. Se, por algum razão extraordinária se vier trabalhar ao sábado, irá existir mais uma caixa em curso. É de referir que esse dia de trabalho extra abrange apenas as secções de *lay-up*, autoclave e desmolde e servirá apenas para repor a produção de peças que, por alguma razão, falhou ao longo da semana e que sejam realmente necessárias. Assim sendo, pode existir mais uma caixa, mas não significa a existência em curso de mais peças do que as 144 definidas.

	Desmolde	Corte	V/D	UT	Pintura	Inspeção Final	Stock
							
TOTAL	1 caixa	2 caixas	1 caixa	1 caixa	2 caixas	1 caixa	1 caixa

Figura 21 - Número de caixas BBSS por centro de trabalho

O impacto desta alteração foi sentido de imediato após a sua implementação. Desde então o valor de WIP tem vindo a diminuir todas as semanas. Esta nova metodologia foi implementada na semana 20. Se se considerar a semana 23 de 2019, por exemplo, a quantidade de WIP registada deste programa foi de 190 peças, valor inferior em 198 peças

(valor equivalente a 11 aviões) ao que foi registado na semana anterior à implementação desta nova metodologia, tal como se pode observar na Figura 22.

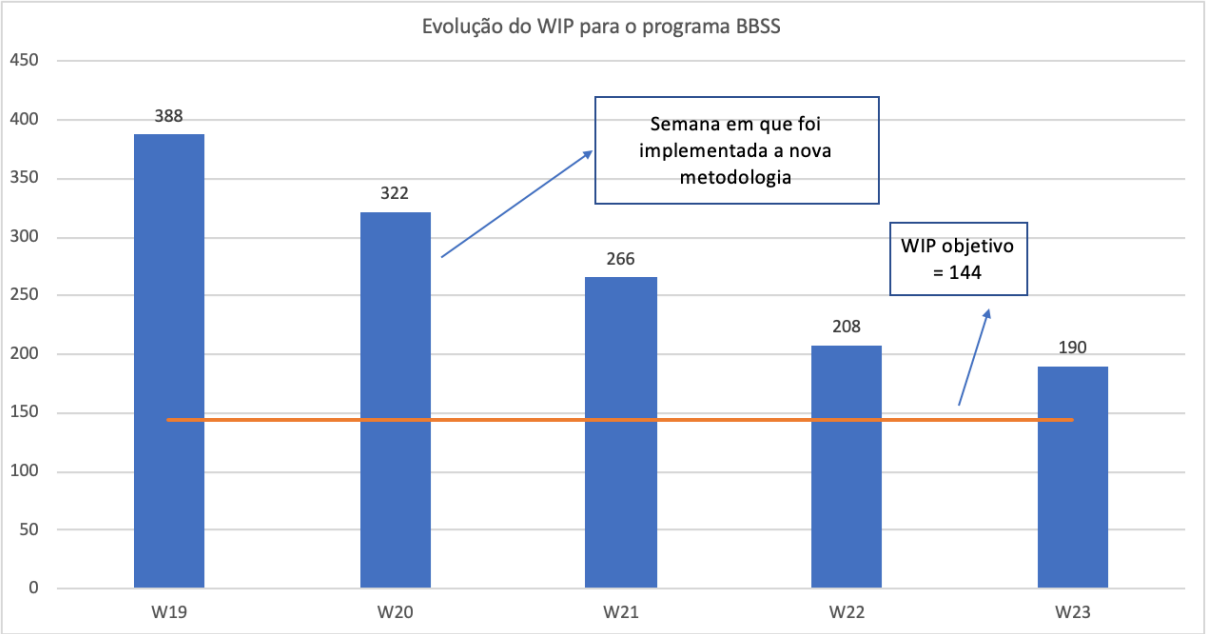


Figura 22 - Evolução do valor de WIP do programa BBSS

Não se atingiu a quantidade de WIP objetivo porque existiam muitas peças paradas nos vários centros de trabalho, peças estas que têm vindo a ser incorporadas diariamente no fluxo produtivo juntamente com as caixas, até se conseguir ter em curso apenas as caixas. Para além disso, ainda ocorrem alguns erros por parte dos operadores, resultantes de dúvidas que vão surgindo. No entanto, como se pode observar na Figura 22, a situação atual já se encontra bastante próxima da situação objetivo, que corresponde a um valor de 144 peças. É importante referir que esta melhoria foi obtida mantendo o mesmo ritmo do *lay-up*, que segundo a teoria de Goldratt é o *drum* do processo, mas os postos a jusante do *lay-up* tiveram que aumentar o ritmo para conseguirem processar as peças a mais que têm vindo a ser limpas de *stocks* intermédios desnecessários. Ou seja, diminui-se o WIP, mas manteve-se o ritmo de produção do *lay-up*.

Em relação aos restantes programas, a implementação não foi realizada por falta de tempo e também porque se torna mais complicado por se realizarem várias operações externamente. A empresa tem como objetivo conseguir internalizar todos os programas num futuro próximo. Irá ser um processo gradual, mas quando todos os programas estiverem internalizados, apesar de uma maior carga de trabalho, irá ser mais fácil conseguir controlar o fluxo das peças.

Contudo, é possível implementar esta metodologia de controlo por conjunto de peças, através dos carros, criando um fluxo até ser enviado para o subcontratado e outro depois de chegar do subcontratado. Assim, para os restantes 4 programas, atendendo à cadência diária necessária, definiu-se as quantidades *standard* apresentadas por centro de trabalho, que podem ser consultadas no Anexo E. Os valores por centro de trabalho equivalem à cadência diária, exceto no centro da logística, uma vez que se realizam envios de 2 em 2 dias, pelo que deve existir em WIP o dobro da cadência diária. Para além da logística, no subcontratado deve existir em WIP 7 vezes o valor da cadência diária, uma vez que o *lead time* das empresas subcontratadas é de 5 dias e gastam-se mais 1 dia de envio para a empresa subcontratada e 1 dia de envio para a CAER, o que corresponde a um total de 7 dias. Na Tabela 3, podem-se observar a síntese dos valores totais de WIP, por programa, possíveis de atingir com a nova metodologia, estando também incluído o programa BBSS.

Tabela 3 - Valores de WIP *standard*

Valores de WIP *Standard*	
BBSS	144
2.08	1936
2.24	364
Neo	84
Falcon	169

Comparando os valores de WIP *standard* com os valores registados na semana 19 de 2019, verifica-se que, quando implementado, irá corresponder a uma diminuição total de cerca de 842 peças. É possível constatar essa diferença na Tabela 4.

Tabela 4 - Impacto nos valores de WIP

Impacto da melhoria nos valores de WIP	
Impacto no número de peças do BBSS	-244
Impacto no número de peças de 2.08	-137
Impacto no número de peças de 2.24	-139
Impacto no número de peças de Falcon	-334
Impacto no número de peças de Neo	12
Impacto no número de peças total	-842

De facto, o impacto é bastante considerável, especialmente tendo em consideração que todas as peças que existem a mais em curso representam desperdício, uma vez que se encontram paradas ao longo do fluxo. No caso do programa Neo, neste momento existe obra em curso a menos porque recentemente surgiu um problema nas peças deste programa, o que originou uma quantidade enorme de peças não conformes que foram dadas como *scrap*. Atualmente, existe um esforço para conseguir aumentar o WIP e também o *stock* de produto acabado.

A ideia é utilizar a mesma lógica para todos os programas, mantendo a folha de registos e o código de cores. Nos programas de menor cadência irá ser bastante notória a melhoria. Devido ao facto de se produzirem poucas peças diariamente, muitas vezes os centros de trabalho não processam peças por serem poucas, o que resulta nos já referidos elevados valores de WIP. Se se conseguir manter sempre a mesma cadência, potenciando o sequenciamento de tarefas sem margens para erros, a obra em curso irá ser muito mais balanceada.

4.2.2 Implementação de procedimentos *standard*

Após implementação da proposta de melhoria referida no ponto anterior, mesmo depois de ser dada formação a cada um dos responsáveis dos vários centros de trabalho e respetivos operadores, foram sendo detetados erros resultantes de dúvidas por parte dos operadores.

O principal ponto que dava origem a dúvidas ocorria quando havia necessidade de retirar peças do fluxo por não conformidades. Os operadores sabiam que tinham que retirar as peças do fluxo. No entanto, no caso de após avaliação serem dadas como conformes, os operadores

não sabiam o que fazer com essas peças. Uns colocavam as peças numa caixa sem qualquer identificação, outros voltavam a colocar as peças no carro a que pertenciam e havia ainda quem não soubesse o que fazer e deixasse as peças paradas, criando WIP desnecessário. Em relação aos que colocavam as peças nas caixas a que pertenciam, pode resultar em erros, porque as restantes peças provavelmente já realizaram mais operações do que as estiveram retidas.

É de uma importância vital garantir que os elementos das várias equipas sejam capazes de realizar todas as tarefas operacionais, sem dúvidas e sem comprometer a qualidade das peças. A este facto acresce a necessidade de ter instruções de trabalho de fácil perceção para garantir que todas as pessoas a operar tenham meios para realizar o seu trabalho da forma mais eficiente. Para além disso, todos os processos devem estar normalizados e formalizados para, quando entrarem novos operadores para as diversas equipas, servirem como base à sua formação.

De forma a suprimir este problema foram criados procedimentos normalizados para as tarefas relacionadas com a proposta de melhoria apresentada nos pontos anteriores. De forma a documentar estes procedimentos *standard* recorreu-se ao *template* para instruções de trabalho utilizado internamente pela empresa, que pode ser consultado no Anexo F.

A criação e implementação de procedimentos *standard* foi dividida em 3 fases:

1. Definição das tarefas a realizar

Nesta primeira fase definiram-se os procedimentos que os operadores têm que realizar para cumprir a nova metodologia de controlo de produção. Para isso, foi essencial a presença no chão de fábrica a acompanhar os operadores nas diversas operações.

2. Definição de melhor prática para cada operação

Após a definição das diferentes tarefas a realizar, foi feita a descrição detalhada de cada procedimento. Nesta fase, ainda mais do que na primeira foi essencial o acompanhamento e discussão com operadores para melhor perceção da melhor prática a definir.

3. Implementação dos procedimentos

Após a definição dos vários procedimentos, estes foram detalhados e disponibilizados a todos os centros de trabalho. Nesta última fase, para além de disponibilizar os documentos para utilização, tornou-se essencial a formação dos operadores e chefes de equipa para que estes executem os procedimentos segundo a forma normalizada, em substituição da antiga forma de as realizar.

Após a implementação, é de extrema importância aplicar continuamente as práticas de melhoria contínua, para identificar, sempre que possível, formas de tornar o processo mais eficiente. Na prática, isto corresponde à aplicação dos ciclos PDCA e SDCA, segundo os quais é sempre possível melhorar o estado atual, sendo o ponto principal destes ciclos nunca parar de procurar melhores práticas, melhores formas de realizar os diferentes processos.

O resultado final da implementação dos procedimentos *standard* são detalhadas instruções de trabalho feitas de forma clara.

Os procedimentos, para os quais se definiu uma forma *standard* de os realizar foram:

- Tarefas relacionadas com os carros para controlo de produção;
- Reintrodução no fluxo dos carros das peças retidas na quarentena.

4.3 Quadros de controlo da produção diária por posto de trabalho

Tal como referido no capítulo 3, o controlo da produção, em termos de quantidades produzidas, é realizado de diversas maneiras consoante o posto de trabalho no chão de fábrica. Os operadores e os responsáveis de cada operação foram definindo os respetivos métodos de registo que pensam ser mais adequados, consoante a experiência adquirida ao longo do tempo. No entanto, esta diferença nas várias operações levava a discrepâncias aquando das reuniões diárias de acompanhamento de desempenho, dificultando a comparação de resultados. Para além disso, é essencial que a informação relativa ao mesmo tópico, neste caso quantidade produzida, esteja coerente ao longo do processo produtivo. Do mesmo modo, a forma como essa informação é registada deve estar *standardizada*, de modo a tornar a operação o mais eficiente possível.

Tendo em conta o planeamento feito semanalmente, é de elevada relevância controlar a produção em cada um dos postos de trabalho, de modo a verificar o cumprimento do mesmo. No sentido de reduzir a variabilidade entre as várias equipas em cada posto de trabalho, é necessário nivelar o desempenho das mesmas através da procura das melhores práticas, melhorando os processos sempre que possível. O objetivo foi não só aproximar o volume de trabalho feito diariamente em cada operação, como também *standardizar* como o fazer, ou seja, definir objetivos e tornar mais eficiente o processo.

Um dos problemas que ocorria devido a esta falta de controlo era a acumulação de trabalho nos vários postos de trabalho. Ocorria essencialmente devido à falta de controlo, mas também devido à falta de objetivos diários definidos para cada posto de trabalho. Isto porque, como já foi referido anteriormente, o planeamento era relativo à operação de *lay-up*, sendo que as restantes operações não tinham visibilidade das quantidades que deviam processar por dia. Isto, aliado à restrição política de não existirem equipas dedicadas a cada um dos programas, resultava, muitas vezes, na acumulação de peças, interrompendo por isso o fluxo.

Para colmatar isso, desenvolveu-se a proposta apresentada no ponto anterior, os carros de controlo da produção. No entanto, no sentido de complementar essa já definida metodologia, pensou-se ser importante normalizar quando o trabalho é realizado. Ou seja, pode estar definido que um posto de trabalho tem que processar, por exemplo, 1 avião completo de BBSS, mas devido à restrição política de não existirem equipas dedicadas a cada programa, nem sempre são realizados na mesma altura do dia.

O objetivo desta proposta de melhoria é definir horas objetivo, para aproximar a eficiência das várias equipas, isto é, para que, mesmo que o número dos operadores varie de dia para dia, o trabalho seja realizado não só com a mesma cadência, mas também aproximadamente sempre no mesmo horário. Isto vem não só melhorar o controlo que era feito em alguns centros de trabalho, mas vem também controlar e definir objetivos para os centros de trabalho que antes não o faziam.

Para isto, foi necessário ter em conta os tempos de execução para cada programa, mas também se mostrou essencial a presença no *gemba* para perceber como e quando cada centro de trabalho executa as respetivas operações. Ter o *feedback* dos operadores e chefes de equipa constitui uma ajuda essencial para o desenvolvimento e consequente implementação desta melhoria.

Assim, para cada posto de trabalho e cada programa realizou-se um quadro de controlo. Na Figura 23 pode-se observar o modelo dos quadros realizados, neste caso para o programa BBSS, no centro de trabalho do desmolde. É visível que se utilizou o mesmo código de cores definido para os carros de controlo, com o intuito de facilitar aos operadores a rápida identificação do trabalho e para que não existem quaisquer dúvidas em relação a esse aspeto.

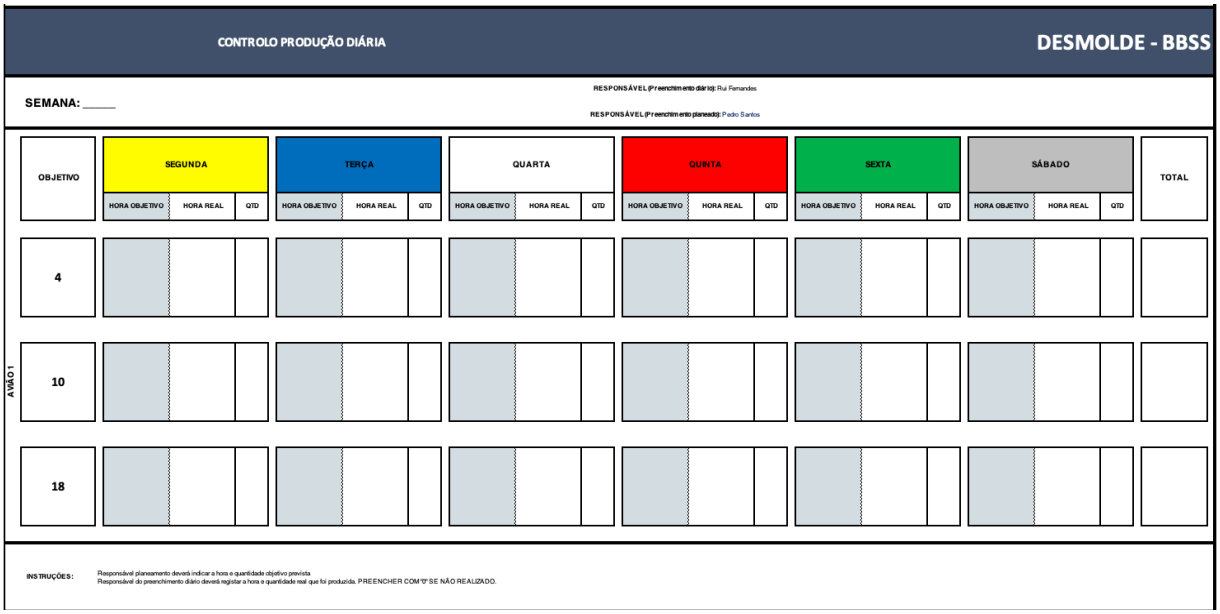


Figura 23 - Quadro de controlo da produção diária para o posto de trabalho de desmolde do programa BBSS

Nestes quadros, o planeamento e controlo da produção define objetivos em termos de quantidades e também metas horárias para cumprir com essa quantidade. Consoante a operação, os objetivos diferem. Por exemplo, na operação do desmolde, cujo quadro pode ser observado na Figura 23, já foram definidos 3 objetivos: ter 4 peças, 10 peças e 18 peças (1 avião completo) desmoldadas, respetivamente. Foram assim definidos, porque, neste programa em específico, as peças saem do autoclave em 3 placas, sendo também desmoldadas separadamente:

- Placa 1: 4 peças;
- Placa 2: 6 peças;
- Placa 3: 8 peças.

São então desmoldadas as placas 1 e 2 primeiro e só depois a placa 3. A hora objetivo foi definida tendo em conta o tempo de execução da operação de desmolde e tendo em conta também que se tem que garantir os moldes novamente no posto de trabalho de *lay-up* no início do turno da manhã. Atualmente, no *lay-up* existem 4 trabalhadores apenas no turno da manhã para o programa BBSS, sendo que 2 deles ficam com a placa 1 e os outros 2 com a placa 2. Quando terminam prosseguem para a placa 3. Posto isto, às 7:30, início do turno da manhã, têm que estar disponíveis os moldes das placas 1 e 2. Assim, definiu-se que a operação de desmolde destas duas placas tem que estar terminada até às 7:00h e a terceira placa até às 11:00h.

Para o centro de trabalho do corte e da pintura, definiu-se o objetivo de ter apenas o avião completo, as 18 peças cortadas e pintadas à mesma hora, uma vez que as operações são realizadas nas 18 peças simultaneamente. Os quadros do corte e da pintura para o programa BBSS podem ser consultados na Figura 24.

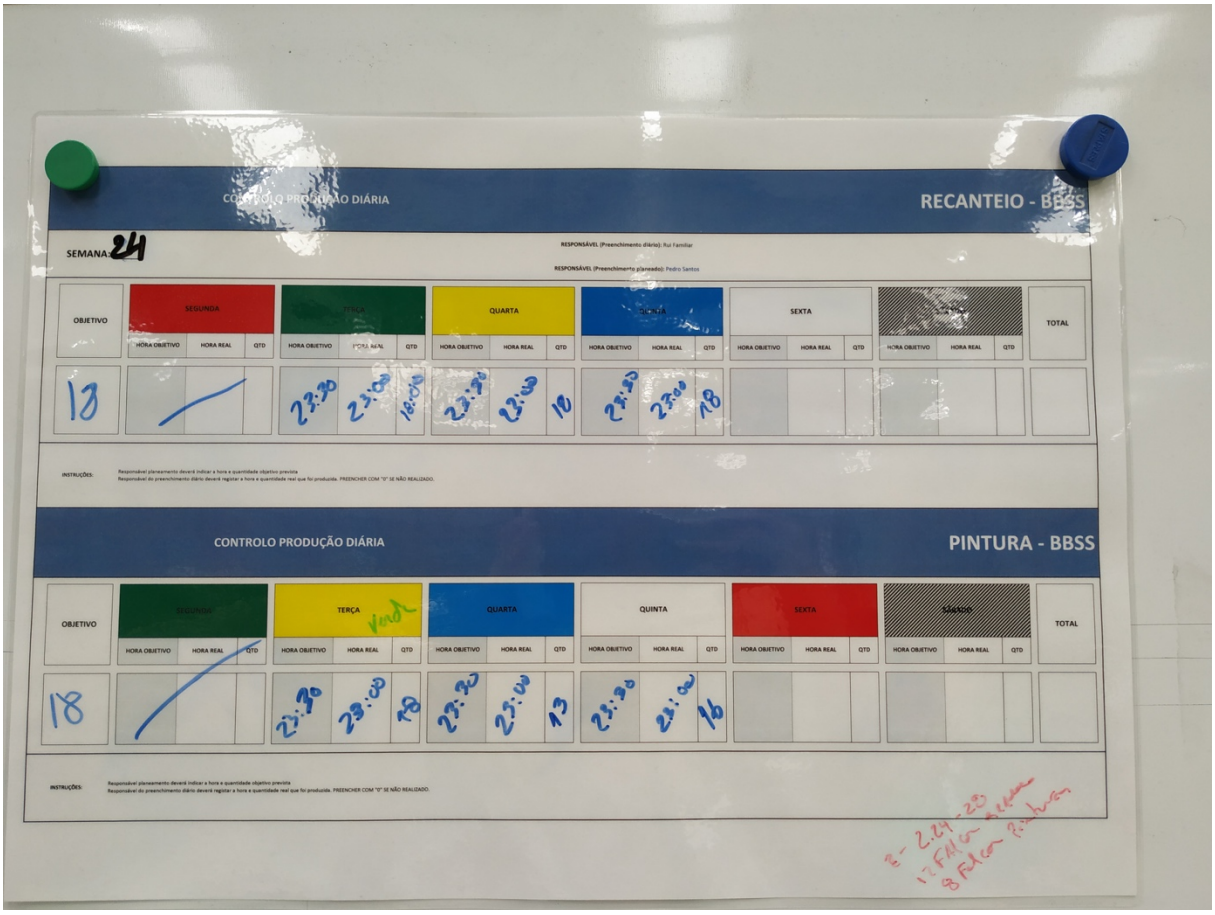


Figura 24 - Quadro de controlo da produção diária para o posto de trabalho de corte do programa BBSS

As diferenças nas quantidades realizadas e definidas como objetivo provavelmente correspondem a peças que ficaram retidas por estarem não conformes. Caso não seja esse o caso, é necessário averiguar o que aconteceu a essas peças.

A operação do corte é das poucas operações em que existe uma equipa dedicada apenas a BBSS, uma vez que também é o único programa que realiza esta operação internamente. Essa equipa troca o turno em que trabalha de semana para semana. Ou seja, numa semana as 18 peças têm que estar todas cortadas no fim do turno da manhã, enquanto que na semana seguinte, as 18 peças já têm que estar terminadas no fim do turno da tarde. Mais uma vez, para ajustar este controlo com o que realmente acontece no *gemba*, foi indispensável o tempo dispensado para acompanhar os processos. Os restantes quadros do programa BBSS podem ser consultados no Anexo G.

Tal como se verificou nestas duas operações em cima apresentadas, os objetivos foram ajustados consoante a operação. O mesmo se passou para os restantes programas e respetivos centros de trabalho por onde as peças passam. Ou seja, os quadros e objetivos foram ajustados a cada programa e a cada operação.

O planeamento e controlo de produção define então a hora objetivo para cada um dos objetivos. Posteriormente, o responsável pelo centro de trabalho deve registar a hora real a que o objetivo foi realizado. Numa fase inicial, colocou-se um campo onde se regista a hora real a que cada objetivo foi cumprido, para ajudar o planeamento e controlo de produção a verificar se as horas objetivos vão de encontro ao que realmente acontece ou se, por alguma razão, existe uma discrepância muito grande entre a hora objetivo e a hora real. Se existir, é necessário rever o processo e ajustar se necessário o objetivo, para que de facto seja alcançável.

Isto permite não só uma melhor visibilidade do que cada posto de trabalho processa ao longo de todo o processo produtivo, mas também define metas diárias, perante as quais habitualmente as pessoas têm tendência a ser mais produtivas. Para além disso, permite uma maior visibilidade do planeamento a longo prazo, isto é, cada chefe de equipa consegue organizar melhor as suas equipas sabendo com o que vai ter que cumprir em cada dia da semana.

Um dos pontos para que este controlo diário contribuiu foi para a sensibilização dos operadores e chefes de equipa em relação à acumulação de WIP. Um não cumprimento do objetivo diário definido traduz-se diretamente em acumulação de WIP desnecessário. Em casos mais extremos o não cumprimento poderá traduzir-se em atrasos nas entregas ao cliente final.

Assim, a implementação desta melhoria permitiu atingir os seguintes principais objetivos:

- Visibilidade do planeamento para cada centro de trabalho;
- *Standardização* do controlo da produção ao longo dos vários centros de trabalho;
- Melhor organização das equipas graças à visibilidade do planeamento da semana toda;
- Aumento da produtividade dos operadores devido à definição de metas.

Com esta melhoria foram introduzidas medidas que, para além de contribuíram para a disciplinação e redução de WIP produzida pela melhoria anterior, mas também permitiram contribuir para o sequenciamento de tarefas, sincronizando a produção entre secções que dependem dos mesmos meios, como é o caso do *lay-up*, autoclave e desmolde, operações onde são utilizados os moldes.

A implementação desta melhoria foi inicialmente dificultada pela resistência à mudança por parte dos operadores. A implementação de qualquer trabalho *standard* surge associada à difícil tarefa de propor aos operadores uma nova forma de realizar uma certa tarefa, uma vez que, normalmente, cada operador afirma ter o método mais eficiente e adequado à tarefa em questão. No entanto, com o decorrer do projeto, os mesmos foram alterando a sua forma de ver e essa nova forma *standard* de controlo de quantidades produzidas foi possível graças à sua valiosa contribuição, claramente em conjunto com alguma insistência para com os mesmos.

5 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

Numa fase inicial, com o conhecimento do processo produtivo e acompanhamento dos colaboradores de forma a adquirir o maior conhecimento possível acerca das operações a realizar para a produção de componentes em material compósito, ficou evidente a dificuldade existente no controlo da produção diária no chão de fábrica. Era visivelmente notável que não existia controlo do que circulava em cada centro de trabalho, da cadência diária e, por isso, existia dificuldade em controlar o *lead time* das peças, desde que eram lançadas em produção até chegarem a *stock* de produto acabado.

Esta fase inicial de conhecimento dos procedimentos existentes no processo produtivo, juntamente com as várias análises de dados realizadas, permitiu chegar à conclusão que, de facto, existia um valor de total de WIP muito elevado, em comparação com a cadência diária de cada programa. Ficou visível que, como o planeamento era só lançado para as operações de corte de materiais e de *lay-up*, os restantes centros de trabalho não tinham visibilidade da quantidade a processar, processando quantidades aleatórias, sem quaisquer quantidades *standard* definidas, não tendo metas em termos de quantidades a atingir, nem *cycle times* a cumprir. Esta falta de controlo da produção ao nível do chão de fábrica, juntamente com as restrições políticas como a inexistência de equipas dedicadas a cada um dos programas e com as restrições técnicas como a quantidade de moldes, originava uma desorganização, não estando as equipas de cada operação a ser produtivas o suficiente. Tudo isto identificado levou à conclusão que existia a necessidade de fazer chegar o planeamento a cada um dos centros de trabalho para ser possível melhorar o controlo no chão de fábrica, através da disciplinação e, se possível, eliminação de algumas das restrições existentes.

A implementação do projeto foi dificultada principalmente pela resistência à mudança por parte dos vários colaboradores. A proposta e posterior implementação de novas metodologias implica diretamente uma mudança por parte dos operadores na forma em como realizam o seu trabalho, uma vez que cada pessoa afirma ter o método mais adequado de o realizar. Contudo, com o decorrer do projeto, os mesmos foram mudando e a sua contribuição foi um aspeto chave no desenvolvimento e implementação das melhorias.

Finalizado este projeto, é possível afirmar que os objetivos propostos foram cumpridos. Atualmente, e contrariamente ao que acontecia antes da realização do projeto, existe um maior conhecimento da produção diária ao nível do chão de fábrica, sendo possível acompanhar melhor o fluxo produtivo e existindo *standards* em termos de quantidades a processar em cada centro de trabalho e *lead times* a cumprir. Ou seja, atualmente cada centro de trabalho tem um planeamento diário, o que anteriormente só era definido para o corte de matérias e *lay-up*. Existe, portanto, uma cadência definida para cada posto de trabalho e os colaboradores não têm qualquer dúvida em identificar o trabalho. Estas melhorias traduziram-se essencialmente nos seguintes aspetos:

- Mais fácil identificação do trabalho por centro de trabalho;
- Sequenciamento de tarefas;

- Melhor organização das equipas;
- Aumento da produtividade das várias equipas;
- Diminuição do WIP;
- Diminuição do *lead time*.

Ao longo da realização deste projeto foi necessário prestar atenção e valorizar o *feedback* dos vários colaboradores, mantendo sempre um espírito crítico, para assim ser possível identificar oportunidades de melhoria nos vários aspetos em estudo. De facto, é essencial salientar a importância que a contribuição dos vários colaboradores, juntamente com a pesquisa bibliográfica, teve na análise da situação e desenvolvimento de propostas de melhoria. Esta contribuição, juntamente com a presença no *gemba* permitiram uma mais fácil integração, que se revelou essencial para o desenrolar do projeto.

A identificação dos carros de suporte do programa Neo na zona de inspeção foi realizada e concluída. Contrariamente ao que existia antes da realização da identificação, todas os carros e respetivas estantes estão devidamente identificados não existindo margem para dúvidas, permitindo uma visível melhor organização dos carros e maior eficiência nas tarefas relacionadas com o manuseamento das peças desse programa.

A implementação da nova metodologia proposta de controlo da produção através dos carros, apesar de já implementada, não pode ser dada por concluída. Só foi possível implementar em um dos programas existentes, no programa BBSS, sendo que este deve servir de exemplo para implementação nos restantes programas. Para além disso, mesmo no programa em que já está implementada, é necessário continuar a formação dos colaboradores para que seja possível sustentar a implementação já realizada. Apesar de ainda não concluída já foi possível obter resultados mensuráveis através de uma diminuição considerável do WIP do programa BBSS. Para os restantes, apesar de não implementado, acredita-se que existem condições para se conseguir atingir também uma diminuição do WIP atual.

Para além da nova metodologia de controlo da produção, e servindo como complemento à mesma, foram também implementados com sucesso os quadros de controlo da produção diária nos vários postos de trabalho. Apesar de já estarem em utilização, o processo deve ser acompanhado diariamente para que se possa beneficiar ao máximo dos mesmos.

Agora que existem dados estatísticos da duração de cada tarefa, existem os meios necessários para serem desenvolvidas ações de melhoria, começando pelas operações mais lentas, com vista à eliminação de *muda* e *standardização* da própria operação, dentro de cada posto de trabalho.

Referências

Antoniolli, I., P. Guariente, T. Pereira, L. Pinto Ferreira, e F. J. G. Silva. 2017. "Standardization and optimization of an automotive components production line." *Procedia Manufacturing* 13:1120-1127.

Bicheno, J. 2004. "The new lean toolbox: towards fast flexible flow."

Bilalis, N., G. Scroubelos, A. Antoniadis, D. Emiris, e D. Koulouriotis. 2002. "Visual factory: basic principles and the 'zoning' approach." *International Journal of Production Research* 40 (15):3575-3588. doi: 10.1080/00207540210140031.

Bonney, M. C., Zongmao Zhang, M. A. Head, C. C. Tien, e R. J. Barson. 1999. "Are push and pull systems really so different?" *International Journal of Production Economics* 59 (1-3):53-64.

Chakravorty, Satya S. 2001. "An evaluation of the DBR control mechanism in a job shop environment." *Omega* 29 (4):335-342. doi: 10.1016/S0305-0483(01)00028-7.

Chapman, S.N. 2006. "The fundamentals of production planning and control."

Coimbra, E. 2013. "Kaizen in logistics and supply chains."

Daniel, V., e R. Guide Jr. 1997. *International Journal of Production Economics* 53 (1):101-116. doi: 10.1016/S0925-5273(97)00097-2.

Feld, William M. 2001. "Lean manufacturing tools, techniques, and how to use them."

Galsworth, Gwendolyn D. 2005. "Visual Workplace - Visual Thinking." 37.

Goldratt, E.M. 1990. "What is This Thing Called Theory of Constraints and How Should it be Implemented?".

Goldratt, Elitahu M., e J. Cox. 2004. "The Goal: A process of ongoing improvement."

Gundogar, Emin, Murat Sari, e Abdullah Kokcam. 2016. "Dynamic bottleneck elimination in mattress manufacturing line using theory of constraints." *SpringerPlus* 5 (1):1-15. doi: 10.1186/s40064-016-2947-1.

Gyulai, D., A. Pfeiffer, e L. Monostori. 2017. "Robust production planning and control for multi-stage systems with flexible final assembly lines." *International Journal of Production Research* 55 (13):3657-73. doi: 10.1080/00207543.2016.1198506.

Hines, Peter, Matthias Holwe, e Nick Rich. 2004. "Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking." *International Journal of Operations & Production Management* 24 (10):994-1011. doi: 10.1108/01443570410558049.

Imai, M. 2012. "Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to Continous Improvement."

Institute, Kaizen. "O que é Kaizen?", accessed 29 March. https://pt.kaizen.com/quem-somos/significado-de-kaizen.html.

Ismail, M. Z. M., A. H. Zainal, N. I. Kasim, e M. A. F. M. Mukhtar. 2019. "A mini review: lean management tools in assembly line at automotive industry." *1st International Postgraduate Conference on Mechanical Engineering (IPCME2018), 31 Oct. 2018* 469:012086 (11 pp.). doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012086.

Jasti, N. V. K., e R. Kodali. 2014. "A literature review of empirical research methodology in lean manufacturing." *International Journal of Operations & Production Management* 34 (8):1080-122. doi: 10.1108/IJOPM-04-2012-0169.

Liker, Jeffrey K., e James M. Morgan. 2006. "The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development." *Academy of Management Perspectives* 20 (2):5-20. doi: 10.5465/amp.2006.20591002.

Mabin, Victoria, e Steven Balderstone. 2003. "The performance of the theory of constraints methodology : Analysis and discussion of successful TOC applications." 23:568-595. doi: 10.1108/01443570310476636.

Meyr, H., M. Wagner, e J. Rohde. 2008. "Structure of Advanced Planning Systems." *Supply Chain Management and Advanced Planning*. doi: 10.1007/978-3-540-74512-9_6.

Mlkva, M., V. Prajova, B. Yakimovich, A. Korshunov, e I. Tyurin. 2016. "Standardization - one of the tools of continuous improvement." *International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, Icmem 2016* 149:329-332. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.674.

Ohno, T. 1988. "Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production."

Qiao, Fei, e Qidi Wu. 2013. "Layered Drum-Buffer-Rope-Based Scheduling of Reentrant Manufacturing Systems." *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing* 26 (2):178-187. doi: 10.1109/TSM.2013.2248763.

Rahman, S. U. 1998. "Theory of constraints: a review of the philosophy and its applications." *International Journal of Operations & Production Management* 18 (4):336-55. doi: 10.1108/01443579810199720.

Rodrigues, M.V. 2014. "Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Sistemas De Produção Lean Manufacturing."

Russell, R.S., e B.W Taylor. 2008. "Operations management along the supply chain."

Shah, R., e P. T. Ward. 2007. "Defining and developing measures of lean production." *Journal of Operations Management* 25 (4):785-805. doi: 10.1016/j.jom.2007.01.019.

Shimbun, Nikkan Kogyo. 1991. "The Factory Management Notebook Series: Mixed-Model Production."

Stevenson, M., L. C. Hendry, e B. G. Kingsman. 2005. "A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry." *International Journal of Production Research* 43 (5):869-98. doi: 10.1080/00207540420002985 20.

Watson, Kevin J., John H. Blackstone, e Stanley C. Gardiner. 2007. "The evolution of a management philosophy: The theory of constraints." *Journal of Operations Management* 25 (2):387-402. doi: 10.1016/j.jom.2006.04.004.

Womack, James P., e Daniel T. Jones. 1994. "From Lean Production to the Lean Enterprise. (cover story)." *Harvard Business Review* 72 (2):93-103.

Womack, James P., e Daniel T. Jones. 1996. "Lean Thinking : Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation." 48. doi: 10.1038/sj.jors.2600967.

Womack, James P., Daniel T. Jones, D. Roos, e Massachusetts Institute of Technology. 1990. "Machine that Changes the World."

Woo, K., S. Park, e S. Fujimura. 2009. "Real-time buffer management method for DBR scheduling." *International Journal of Manufacturing Technology and Management* 16 (1-2):42-57.

Ye, T., e W. Han. 2008. "Determination of buffer sizes for drum-buffer-rope (DBR)-controlled production systems." *International Journal of Production Research* 46 (10):2827-2844. doi: 10.1080/00207540600922948.

ANEXO A: Fluxo produtivo

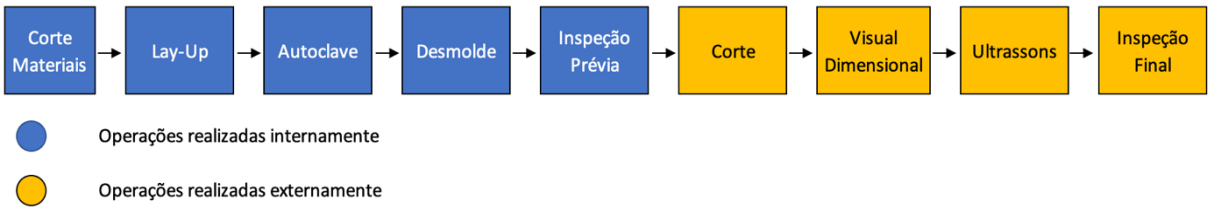


Figura 1- Fluxo das peças do programa 2.08

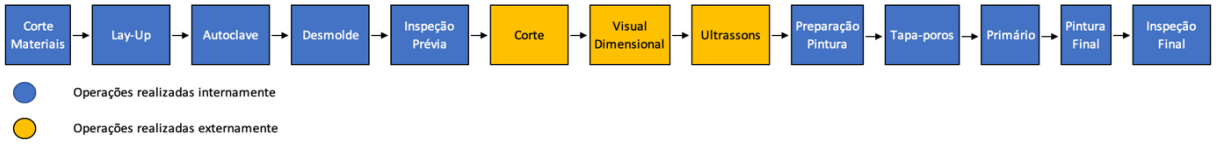


Figura 2 - Fluxo das peças do programa 2.24

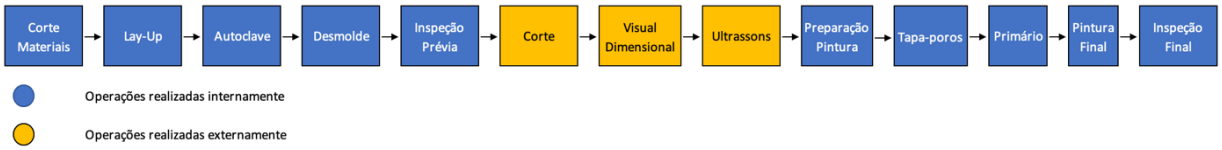


Figura 3 - Fluxo das peças do programa Falcon

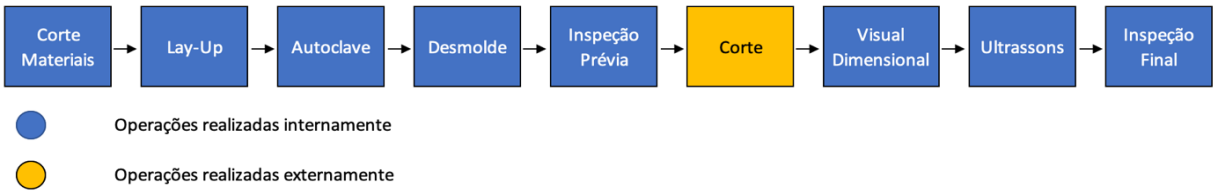


Figura 4 - Fluxo das peças do programa Neo

ANEXO B: *Line of Balance* do programa 2.24

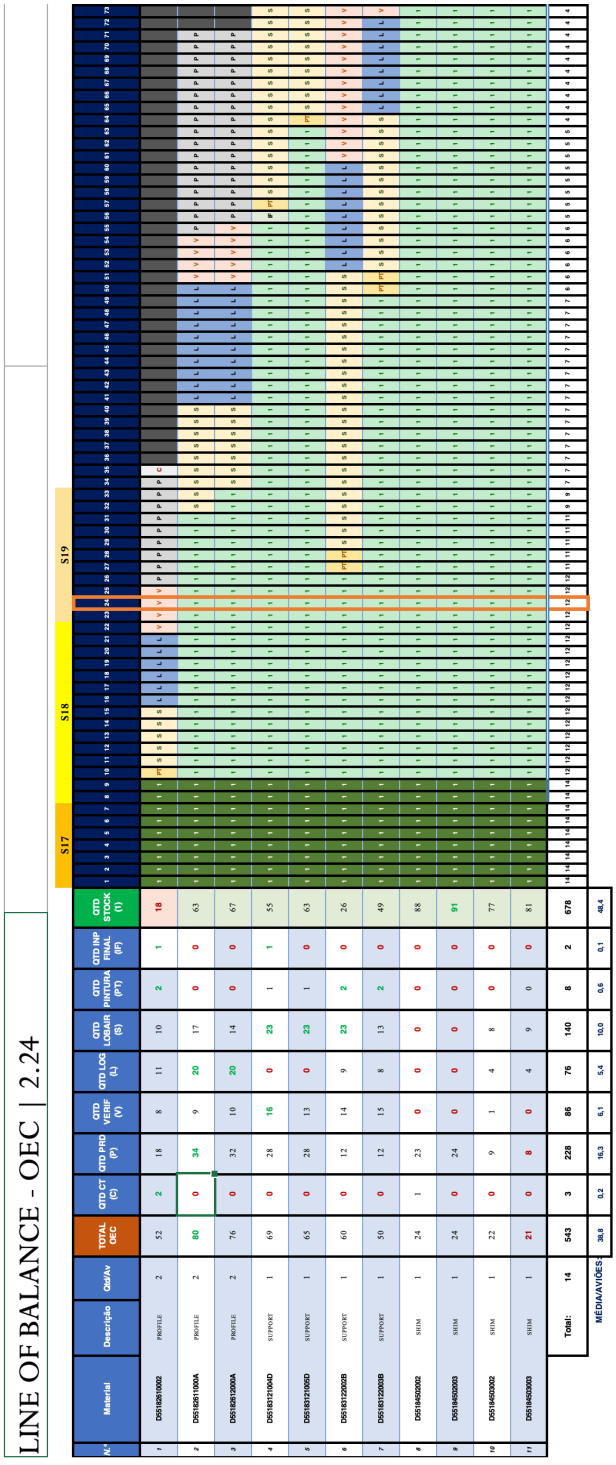


Figura 1 - LOB exemplo do programa 2.24

ANEXO C: Exemplo de planeamento dos programas 2.08 e 2.24

WEEK 11	10/03 - 16/03	2ª Feira		3ª Feira		4ª Feira		5ª Feira		6ª Feira		Sábado		Não Planeado		TOTAL			
Programas	Material	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	Avião	Avião	Qtd/Semana	Qtd dias úteis	sabado	Programa
A320 2.08	D55183325090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183325091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183328090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183328091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183331090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183331091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183334090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183334091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183337090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183337091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183340090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183340091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183343090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183343091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183346090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183346091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183349090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183349091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183352090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183352091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183425090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183425091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183428090D	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183428091D	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183431090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183431091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183434090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183434091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183437090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183437091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183440090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183440091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183443090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183443091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183446090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183446091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183449090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183449091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183452090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183452091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183455090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183455091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183458090C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08
	D55183458091C	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				22	20	2	A320 2.08

Figura 1 - Planeamento da semana 11 para o programa 2.08

WEEK 11	10/03 - 16/03	2ª Feira		3ª Feira		4ª Feira		5ª Feira		6ª Feira		Sábado		Não Planeado		TOTAL				
Programas	Material	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	Avião	Avião	Qtd/Semana	Qtd dias úteis	sabado	Programa	Soma 2ª e 3ª
A320 2.24	D55182610002	1		1		1		1		1		1				12	10	2	A320 2.24	2
	D55182611000A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			24	20	4	A320 2.24	4
	D55182612000A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			24	20	4	A320 2.24	4
	D55183121004D	1	1	1	1	1	1	1	1							32	32	0	A320 2.24	4
	D55183121005D	1	1	1	1	1	1	1	1							32	32	0	A320 2.24	4
	D55183122002B															0	0	0	A320 2.24	0
	D55183122003B															0	0	0	A320 2.24	0
	D55184502002	1	1	1	1	1	1	1	1	1						18	18	0	A320 2.24	4
	D55184502003	1	1	1	1	1	1	1	1	1						18	18	0	A320 2.24	4
	D55184503002	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					20	20	0	A320 2.24	4
	D55184503003	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					20	20	0	A320 2.24	4

Figura 2 - Planeamento da semana 11 para o programa 2.24

ANEXO D: Tempos de execução dos programas 2.24, Neo e Falcon

2.24	**Procura Cliente** (Aviões/ano)	**Dias úteis** (dias)	**Eficiência processo** (%)	**Cadência diária com inificiência do processo** (Aviões/dia)
	352	220	97%	**2,0**

	Mão de obra direta (1 avião) h.	**T. Máq. (1 avião)** h.	**Turno** 7,5h. / turno	**Takt-time seção** h./ avião	**Nr. Máquinas ou Moldes** unid.	**Envios** dia
Corte de materiais	0,6	1	3	11,3	1,0	
Layup	2,9	n/a	2	7,5	2	
Autoclave	2	7	3	11,3	2,0	
Desmolde	2,2	n/a	3	11,3	n/a	
Inspeção Prévia	1,2	n/a	2	7,5	n/a	
Envio a subc.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Sub - Corte	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Sub - Insp. VD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Sub - Insp. UT	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Recep. Logistica	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Preparação pintura	1,50	1	2	7,5	1	
Tapa-poros	0,50	1	2	7,5	1	
Primário	1,00	6	2	7,5	1	
Pintura final	1	6	2	7,5	1	
Inspeção Final	1	n/a	2	7,5	n/a	
Logística						

Gargalo

Figura 1 - Tempos de execução e *takt-times* do programa 2.24

NEO	Procura Cliente (Aviões/ano)	Dias úteis (dias)	Eficiência processo (%)	Cadência diária com inificiência do processo (Aviões/dia)
	240	220	89%	**1,0**

	Mão de obra direta (1 avião) h.	T. Máq. (1 avião) h.	Turno 7,5h. / turno	Takt-time seção h./ avião	Nr. Máquinas ou Moldes unid.	Envios dia
Corte de materiais	1,9	1	3	22,5	1,0	
Layup	15	n/a	2	15,0	1	
Autoclave	2	7	3	22,5	2,0	
Desmolde	3,0	n/a	3	22,5	n/a	
Inspeção Prévia	5,5	n/a	2	15,0	n/a	
Envio a subc.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Sub - Corte	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Recep. Logistica	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Inspeção VD	7	n/a	2	15,0	n/a	
Inspeção UT manual	7	n/a	2	15,0	3	
Inspeção Final	n/a	n/a	2	15,0	n/a	1
Logística						

Gargalo

Figura 2 - Tempos de execução e *takt-times* do programa Neo

Falcon	**Procura Cliente** (Aviões/ano)	**Dias úteis** (dias)	**Eficiência processo** (%)	**Cadência diária com inificiência do processo** (Aviões/dia)
	28	220	98%	**0,13**

	Mão de obra direta (1 avião) h.	**T. Máq. (1 avião)** h.	**Turno** 7,5h. / turno	**Takt-time seção** h./ avião	**Nr. Máquinas ou Moldes** unid.	**Envios** dia
Corte de materiais	7	1	3	173,3	1,0	
Layup	86	n/a	2	115,5	2	
Autoclave	2	7	3	173,3	2,0	
Desmolde	17,0	n/a	3	173,3	n/a	
Inspeção Prévia	1,2	n/a	2	115,5	n/a	
Envio a subc.	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Sub - Corte	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Sub - Insp. VD	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Sub - Insp. UT	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Recep. Logistica	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1
Preparação pintura	2,20	1	2	115,5	1	
Tapa-poros	2,20	1	2	115,5	1	
Primário	2,20	6	2	115,5	1	
Pintura final	4	6	2	115,5	1	
Inspeção Final	1	n/a	2	115,5	n/a	
Logística						

Gargalo

Figura 3 - Tempos de execução e *takt-times* do programa Falcon

ANEXO E: Valores de WIP *standard* por centro de trabalho para cada um dos programas

Programa	Cadência diária	Desmolde	Corte	V/D	UT	Pintura	IF	TOTAL
BBSS	18	18	36	18	18	36	18	144

Programa	Cadência diária	Desmolde	IP	Logística	Subcontratado	TOTAL
2.08	176	176	176	352	1232	1936

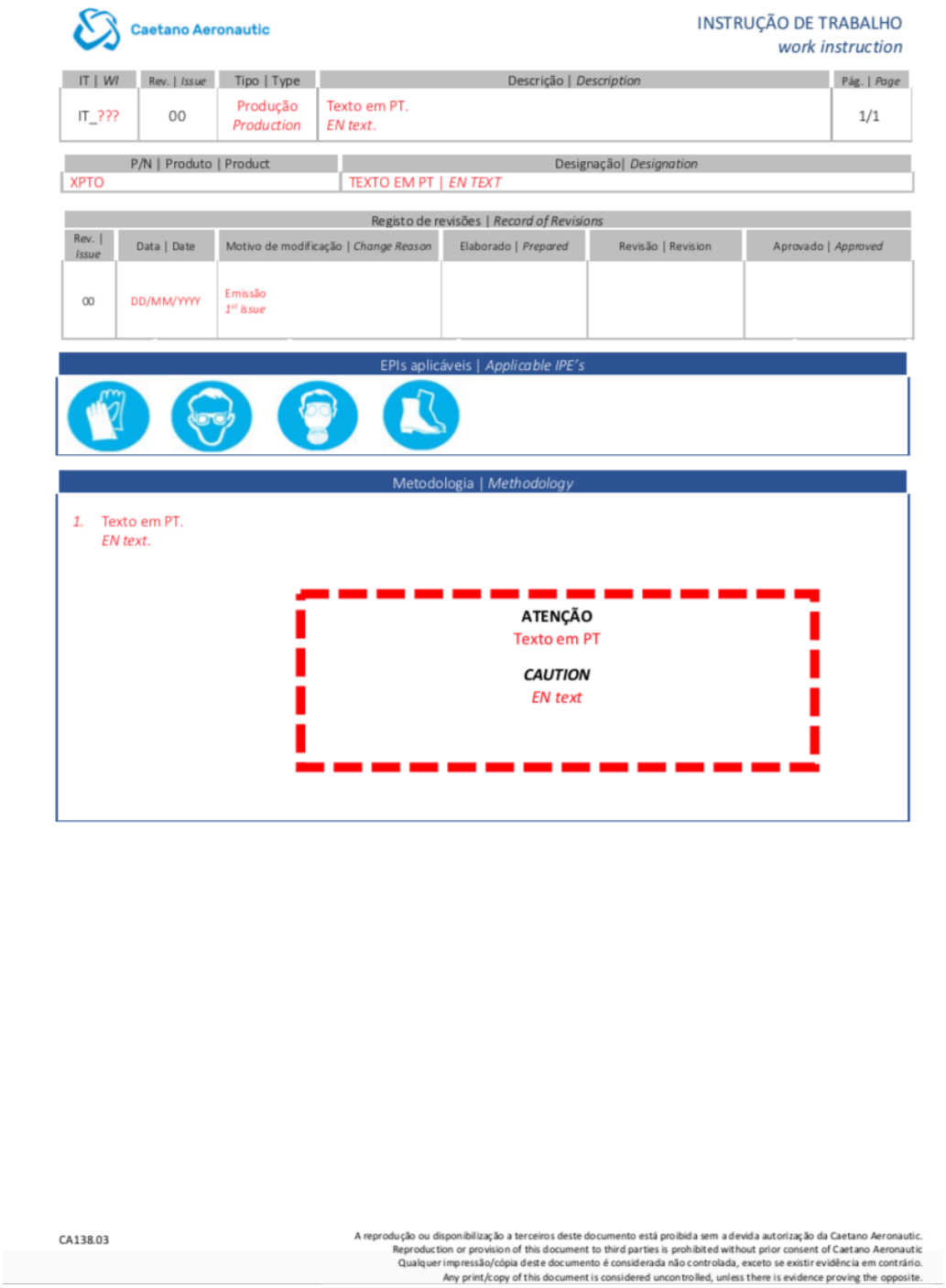
Programa	Cadência diária	Desmolde	IP	Logística	Subcontratado	Pintura	IF	TOTAL
2.24	28	28	28	56	196	28	28	364

Programa	Cadência diária	Desmolde	IP	Logística	Subcontratado	V/D	UT	IF	TOTAL
NEO	6	6	6	12	42	6	6	6	84

Programa	Cadência diária	Desmolde	IP	Logística	Subcontratado	Pintura	IF	TOTAL
Falcon	13	13	13	26	91	13	13	169

Figura 1 - Valores de WIP *standard* de cada programa para cada centro de trabalho

ANEXO F: *Template* para instruções de trabalho



Caetano Aeronautic

INSTRUÇÃO DE TRABALHO
work instruction

IT | *WI*	Rev. | *Issue*	Tipo | Type	Descrição | *Description*	Pág. | *Page*
IT_???	00	Produção *Production*	Texto em PT. *EN text.*	1/1

P/N | Produto | Product	Designação| *Designation*
XPTO	TEXTO EM PT | *EN TEXT*

Registo de revisões | *Record of Revisions*

Rev. | *Issue*	Data | Date	Motivo de modificação | *Change Reason*	Elaborado | *Prepared*	Revisão | Revision	Aprovado | *Approved*
00	DD/MM/YYYY	Emissão *1st issue*			

EPIs aplicáveis | *Applicable IPE's*

Metodologia | *Methodology*

1. Texto em PT.
   EN text.

ATENÇÃO
Texto em PT

CAUTION
EN text

CA138.03

A reprodução ou disponibilização a terceiros deste documento está proibida sem a devida autorização da Caetano Aeronautic.
Reproduction or provision of this document to third parties is prohibited without prior consent of Caetano Aeronautic
Qualquer impressão/cópia deste documento é considerada não controlada, exceto se existir evidência em contrário.
Any print/copy of this document is considered uncontrolled, unless there is evidence proving the opposite.

Figura 1 - *Template* para instruções de trabalho

ANEXO G: Quadros de controlo da produção do programa BBSS



Figura 1 - Quadro de controlo da produção para os vários centros de trabalho de inspeção