



Universidade de Aveiro
2022

**DANIELA FERREIRA
COSTA**

**OTIMIZAÇÃO E BALANCEAMENTO DE LINHAS DE
MONTAGEM NA JPM INDUSTRY**



Universidade de Aveiro
2022

**DANIELA FERREIRA
COSTA**

**OTIMIZAÇÃO E BALANCEAMENTO DE LINHAS DE
MONTAGEM NA JPM INDUSTRY**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro e sob a coorientação científica do Doutor José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

“O que importa é partir, não é chegar.”
Miguel Torga

o júri

presidente

Prof. Doutor João Carlos de Oliveira Matias

Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

vogais

Prof. Doutor António José Galvão Ramos

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Prof.^a Doutora Ana Maria Pinto de Moura

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço à empresa que me acolheu, JPM Industry, ao Eng.º Marco Ermo, restante Equipa de Produção e Operações e, ainda, aos Operadores da secção de Assemblagem que durante tantas horas me aturaram de câmara na mão. Obrigada pela oportunidade e confiança depositada em mim desde o primeiro dia de estágio.

Deixo um agradecimento muito especial à minha orientadora da Universidade de Aveiro, a Professora Ana Moura, pela disponibilidade incansável, dedicação e apoio ao longo de todo este projeto. Mais do que uma orientadora científica foi uma ORIENTADORA sempre com palavras otimistas no momento certo. Do mesmo modo, agradeço a coorientação do Professor José Paulo Santos.

Não menos importante, agradeço à minha família e amigos pelo amor e apoio prestado. Um agradecimento mais caloroso aos meus pais e à minha irmã que me fizeram sempre erguer a cabeça e continuar a batalhar. Foram muitas as palavras de incentivo e de força nos momentos mais difíceis.

Ao Henrique agradeço toda a paciência por ouvir todas as minhas inseguranças e frustrações e por ser, acima de tudo, o meu porto de abrigo.

Por fim, obrigada a todos aqueles que de alguma forma fizeram parte do meu percurso académico e que contribuíram para a minha aprendizagem.

palavras-chave

Lean Thinking, Melhoria Contínua, Desperdícios, Layout Industrial, Balanceamento de Linhas de Montagem.

resumo

Atualmente, há uma necessidade cada vez maior de as empresas evoluírem e inovarem continuamente para manter vantagem competitiva, pelo que têm procurado realizar uma gestão dos seus processos, por forma a reduzir custos, a aumentar a produtividade e, por conseguinte, a melhorá-los. A otimização das linhas de produção tem vindo a tornar-se fundamental, dado que, a complexidade e o mercado exigente estão a forçar os gestores a procurar, diariamente, soluções para melhorar as condições operacionais. Estas soluções incluem ferramentas *Lean*, Sistemas de Informação e, cada vez mais, ferramentas orientadas para a implementação do conceito Indústria 4.0. Neste sentido, o objetivo comum é minimizar as atividades sem valor acrescentado, fomentando uma cultura de monitorização e de melhoria contínua, oposta ao tradicional comportamento de adaptação e conformação fortemente enraizado no setor empresarial.

No presente projeto é abordado um caso de estudo - realizado no Departamento de Produção e Operações da empresa JPM Industry - que visa alcançar a melhoria da gestão operacional devido às muitas ineficiências e dificuldades com que se deparam diariamente. Mais concretamente, o projeto prende-se pela monitorização de alguns produtos a fim de reduzir os *lead times*, propondo, além disso, ações de melhoria que fomentem uma cultura de melhoria contínua assente nos princípios do *Lean Thinking*. A secção em análise dispõe de uma grande área que não é aproveitada ao máximo, havendo inclusive bancadas de trabalho inativas, além disso, sendo o movimento (deslocações desnecessárias) um dos desperdícios do *Lean*, a empresa lançou o desafio de reestruturar o layout. Para tal procedeu-se ao balanceamento das linhas de montagem das 3 famílias de produtos mais predominantes. Desenvolveu-se para o efeito um modelo de Programação Linear Inteira em que, visando minimizar o número de postos de trabalho, são alocadas as tarefas respeitando o tempo de ciclo pré-definido.

De entre as muitas ações de melhoria propostas, só algumas foram efetivamente implementadas. Por este motivo não se podem sustentar resultados quantitativamente. No entanto, pode-se inferir que o trabalho realizado, enquadrado numa sinergia entre o *Lean Thinking*, melhoria de processos e balanceamento de linhas, foi benéfico para um estudo mais aprofundado do processo produtivo da secção de Assemblagem, que no futuro contribuirá para a sua melhoria. Além disso, o presente trabalho sensibilizou as pessoas e fomentou uma cultura de melhoria contínua na empresa.

keywords

Lean Thinking, Continuous Improvement, Waste, Industrial Layout, Production Line Balancing.

abstract

Currently, there is an increasing need for companies to evolve and innovate continuously to maintain competitive advantage, so they have sought to manage their processes in order to reduce costs, increase productivity and, therefore, improve them. Optimisation of production lines has become fundamental, as complexity and a demanding market are forcing managers to seek, on a daily basis, solutions to improve operational conditions. These solutions include Lean tools, Information Systems and, increasingly, tools oriented to the implementation of the Industry 4.0 concept. In this sense, the common goal is to minimise activities without added value, fostering a culture of monitoring and continuous improvement, as opposed to the traditional behaviour of adaptation and conformance strongly rooted in the business sector.

This project deals with a case study - carried out in the Production and Operations Department of the company JPM Industry - which aims to achieve the improvement of operational management due to the many inefficiencies and difficulties encountered on a daily basis. More specifically, the project is concerned with the monitoring of some products in order to reduce lead times, proposing, in addition, improvement actions that foster a culture of continuous improvement based on the principles of Lean Thinking. The section under analysis has a large area that is not used to the maximum, there are even inactive work benches, in addition, being the movement (unnecessary displacements) one of the Lean wastes, the company launched the challenge of restructuring the layout. To do so, the assembly lines of the 3 most predominant product families were balanced. An Integer Linear Programming model was developed in order to minimise the number of workstations and to allocate tasks respecting the pre-defined cycle time.

Among the many improvement actions proposed, only a few were actually implemented. For this reason, the results cannot be supported quantitatively. However, it can be inferred that the work carried out, framed in a synergy between Lean Thinking, process improvement and line balancing, was beneficial for a more in-depth study of the process of the Assembly section, which in the future will contribute to its improvement. Furthermore, this work has raised awareness to foster a culture of continuous improvement in the company.

Índice de Conteúdos

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Motivação e Contextualização do Trabalho | 1 |
| 1.2. Objetivos e Metodologia | 3 |
| 1.3. Estrutura do Documento | 5 |
| 2. Enquadramento Teórico | 7 |
| 2.1. Filosofia <i>Lean</i> | 7 |
| 2.1.1. Princípios | 9 |
| 2.1.2. Desperdícios | 10 |
| 2.1.3. Metodologias e Ferramentas <i>Lean</i> | 14 |
| 2.1.4. <i>Lean</i> e Indústria 4.0 | 18 |
| 2.2. <i>Business Process Management</i> BPM | 18 |
| 2.2.1. <i>Business Process Model and Notation</i> BPMN 2.0 | 19 |
| 2.2.2. BPM e Indústria 4.0 | 20 |
| 2.3. Tipos de Layout | 21 |
| 2.3.1. Layout de Produto | 22 |
| 2.3.2. Layout de Processo | 22 |
| 2.3.3. Layout de Célula | 23 |
| 2.3.4. Layout de Posição Fixa | 24 |
| 2.4. <i>Lean Facility Layout System</i> | 24 |
| 2.5. Balanceamento de Linhas de Montagem | 25 |
| 2.6. Programação Linear | 28 |
| 2.6.1. Programação Linear Inteira | 29 |
| 3. Empresa e Contextualização do Problema | 31 |
| 3.1. Apresentação da Empresa | 31 |
| 3.1.1. JPM Industry | 31 |
| 3.1.2. Produtos | 33 |
| 3.1.3. Funcionamento da Empresa | 34 |
| 3.1.4. Processo Produtivo | 35 |
| 3.2. Enquadramento da Secção de Assemblagem e Descrição da Situação Inicial | 37 |
| 3.3. Caracterização do Problema | 38 |
| 4. Definição e Implementação de Melhorias no Processo e Balanceamento das Linhas de Montagem | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1. Monitorização das Operações que constituem o Processo de Montagem e Oportunidades de Melhoria..... | 45 |
| 4.1.1. Operação - Remover Película do Inox | 46 |
| 4.1.2. Operação - Limpar | 48 |
| 4.1.3. Operação - Cravar Rebite | 50 |
| 4.1.4. Operação - Aparafusar | 51 |
| 4.1.5. Operação - Assemblagem de Pequenos Kits..... | 51 |
| 4.2. Análise das Causas de Interrupção de Trabalho | 52 |
| 4.2.1. Falta de Ferramenta | 54 |
| 4.2.2. Sistema <i>Kanban</i> | 55 |
| 4.3. Balanceamento das Linhas de Montagem X1, X2 e X3 e Reestruturação do Layout..... | 62 |
| 4.3.1. Linha de Montagem X3 | 64 |
| 4.3.2. Linha de Montagem X2 | 67 |
| 4.3.3. Linha de Montagem X1 | 68 |
| 4.3.4. Resultados do Balanceamento das Linhas de Montagem | 70 |
| 4.3.5. Reestruturação do Layout da Secção Assemblagem | 73 |
| 5. Conclusões, Limitações e Trabalho Futuro | 75 |
| Referências | 79 |
| Anexos | 83 |
| Anexo A. Registo de Interrupção de Trabalho..... | 83 |
| Anexo B. Modelo As-Is Sistema <i>Kanban</i> | 84 |
| Anexo C. Modelo To-Be Sistema <i>Kanban</i> | 85 |
| Anexo D. Tarefas de montagem manual de X1 com respetivos tempos de execução e precedências. | 86 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Vantagens de um bom layout e desvantagens de um mau layout [Fonte: Brás (2021)]. | 21 |
| Figura 2: Esquemática do Layout de Produto..... | 22 |
| Figura 3: Esquemática do Layout de Processo. | 22 |
| Figura 4: Esquemática do Layout de Célula..... | 23 |
| Figura 5: Esquemática do Layout de Posição Fixa. | 24 |
| Figura 6: Exemplo de diagrama de precedência [Fonte: Becker & Scholl (2006)]. | 26 |
| Figura 7: Tipos de linhas de montagem [Fonte: Becker & Scholl (2006)]. | 26 |
| Figura 8: Unidade Industrial JPM Industry. | 32 |
| Figura 9: Organograma da empresa JPM Industry..... | 33 |
| Figura 10: Sistema de Paletização..... | 34 |
| Figura 11: Enchedora TetraPak. | 34 |
| Figura 12: Transportador Industrial. | 34 |
| Figura 13: Representação das secções constituintes do chão de fábrica. | 35 |
| Figura 14: VSM do fluxo de produtos <i>standard</i> | 36 |
| Figura 15: Bancada de montagem. | 37 |
| Figura 16: Atual layout da secção Assemblagem. | 38 |
| Figura 17: Desenho do Produto X1. | 39 |
| Figura 18: Desenho do Produto X2. | 40 |
| Figura 19: Desenho do Produto X3. | 40 |
| Figura 20: Esquema de montagem do Produto X4. | 40 |
| Figura 21: Variabilidade do <i>lead time</i> de X1. | 41 |
| Figura 22: Variabilidade do <i>lead time</i> de X2. | 41 |
| Figura 23: Variabilidade do <i>lead time</i> de X3. | 42 |
| Figura 24: Variabilidade do <i>lead time</i> de X4. | 42 |
| Figura 25: Remoção da película do inox. | 46 |
| Figura 26: Mini tina ultrassons..... | 47 |
| Figura 27: Contentor com panos limpos vs contentor com panos usados de ambos os tipos - limpeza e acabamento..... | 49 |
| Figura 28: Máquina de cravar rebite existente na empresa. | 50 |
| Figura 29: Exemplo de bancada com aparafusadora suspensa. | 51 |
| Figura 30: Assemblagem do Produto X4. | 51 |
| Figura 31: Registo de Interrupções - percentagem de ocorrência para cada tipo de causa..... | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 32: Gaveta de um posto de trabalho com ferramenta em falta..... | 54 |
| Figura 33: Diagrama de precedência X3 (todas as tarefas)..... | 63 |
| Figura 34: Diagrama de precedência X3 (montagem)..... | 64 |
| Figura 35: Diagrama de precedência X2 (montagem)..... | 68 |
| Figura 36: Diagrama de precedência X1 (montagem)..... | 69 |
| Figura 37: Representação do layout proposto..... | 74 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Consumos de rolo de papel e respectivos custos. | 48 |
| Tabela 2: Previsão de custos para os dois tipos de panos. | 49 |
| Tabela 3: Categorias das diversas causas de interrupção e respectivas percentagens de ocorrência. | 53 |
| Tabela 4: Tempo de Ciclo para cada categoria de produto. | 62 |
| Tabela 5: Lista de todas as tarefas do processo de montagem de X3 com respectivos tempos de execução e precedências. | 63 |
| Tabela 6: Tarefas de montagem manual de X3 com respectivos tempos de execução e precedências. | 64 |
| Tabela 7: Tarefas de montagem manual de X2 com respectivos tempos de execução e precedências. | 67 |
| Tabela 8: Conjunto de postos de trabalho resultantes do balanceamento da linha X3. | 70 |
| Tabela 9: Conjunto de postos de trabalho resultantes do balanceamento da linha X2. | 71 |
| Tabela 10: Conjunto de postos de trabalho resultantes do balanceamento da linha X1. | 71 |
| Tabela 11: Resultados quantitativos do balanceamento das linhas de montagem X1, X2 e X3. | 72 |

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

| | |
|--------------|--|
| BPM | <i>Business Process Management</i> |
| BPMN | <i>Business Process Model and Notation</i> |
| CT | Centro de Trabalho |
| ERP | <i>Enterprise Resource Planning</i> |
| I 4.0 | Indústria 4.0 |
| JIT | <i>Just in Time</i> |
| KPI | <i>Key Performance Indicator</i> |
| LFLS | <i>Lean Facility Layout System</i> |
| OFs | Ordens de Fabrico |
| OL | Operador Logístico |
| PL | Programação Linear |
| PLI | Programação Linear Inteira |
| TPS | <i>Toyota Production System</i> |
| VSM | <i>Value Stream Mapping</i> |
| WIP | <i>Work in Progress</i> |

1. Introdução

Este relatório descreve o trabalho desenvolvido durante sete meses no Estágio Curricular, realizado em ambiente empresarial na JPM Industry – Automação Industrial. O trabalho surge no âmbito da disciplina de Projeto/Estágio/Dissertação, inserida no plano curricular do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Universidade de Aveiro.

O presente capítulo serve como mote para tudo o que se avizinha. Primeiramente, será feita uma breve exposição da motivação e contextualização do trabalho realizado e serão apresentados os principais propósitos do projeto. Posteriormente, abordar-se-á a metodologia utilizada, para que fosse possível atingir os referidos objetivos e, por fim, explicar-se-á a estrutura do presente documento.

1.1. Motivação e Contextualização do Trabalho

Atualmente, há uma necessidade cada vez maior de as empresas evoluírem e inovarem continuamente para manter vantagem competitiva. A vantagem competitiva de uma empresa é assegurada por vários fatores, tais como tecnologia, recursos, funcionários altamente qualificados, mas em primeiro lugar pela flexibilidade. A capacidade da empresa se adaptar às rápidas mudanças do mercado constitui um aspeto chave para a competitividade da indústria dentro da Indústria 4.0 (I4.0) (Benešová et al., 2019). Com uma procura crescente no ramo da automação industrial, as empresas terão de se adaptar às rápidas mudanças e exigências do mercado, adotando novas tecnologias e metodologias de fabrico a fim de aumentar a qualidade do produto, otimizando em simultâneo a utilização dos seus recursos.

A evolução tecnológica está, por sua vez, a provocar mudanças no ambiente das empresas (Arromba et al., 2019). Face ao exponencial avanço das novas tecnologias, a transformação digital tem-se revelado como uma prioridade para as organizações modernas. Contudo, na prática, compreender a relevância da digitalização constitui uma tarefa bastante complexa, não só porque ainda não existem informações que aumentem a sua viabilidade, mas também porque constitui uma área desafiante para as empresas. A realidade é que – principalmente no caso das pequenas e médias empresas – é comum não se conhecer qual o ponto de partida para a digitalização (Imgrund et al., 2018).

Assim, no atual cenário fabril, marcado pela digitalização (Doyle-Kent & Kopacek, 2020), é crucial tirar partido das novas tecnologias juntamente com as práticas organizacionais já existentes. A otimização das linhas de produção tem vindo a tornar-se fundamental, dado que, a complexidade e o mercado exigente estão a forçar os gestores a procurar,

diariamente, soluções para melhorar as condições operacionais. Estas soluções incluem ferramentas *Lean*, Sistemas de Informação e, cada vez mais, ferramentas orientadas para a implementação do conceito I4.0. Neste sentido, o objetivo comum é minimizar as atividades sem valor acrescentado, fomentando uma cultura de monitorização e de melhoria contínua, oposta ao tradicional comportamento de adaptação e conformação fortemente enraizado no setor empresarial.

Tal como acontece em praticamente todas as organizações, tudo começa com o interesse do cliente em produzir um determinado produto na empresa. Posteriormente, é possível realizar previsões de vendas para o próximo ano, e de ano para ano. Conhecendo a previsão de vendas, nos seus processos internos, uma empresa consegue, sabendo quanto tempo demora a produzir certo produto, determinar a ocupação de linha. A ocupação de linha implica, para a empresa, um custo de oportunidade que, por si só, se traduz em custos diretos e indiretos de produção, mas também na escolha estratégica de estar a produzir aquele produto e não outro. A ocupação de linha é proporcional ao tempo que um produto demora a ser feito, isto é, depende das tarefas a executar. De forma a minimizar o tempo necessário para a execução dessas tarefas, podem ser estudados aspetos como a ordem pela qual elas são realizadas, o seu agrupamento e a disposição da linha de produção - o seu layout. A melhor combinação destes parâmetros resulta no balanceamento da linha de produção.

No presente projeto é abordado um caso de estudo numa empresa do ramo da automação industrial – JPM Industry – que visa a melhoria dos seus processos devido às muitas ineficiências e dificuldades com que se deparam diariamente. Mais concretamente, o projeto prende-se pela monitorização de alguns produtos a fim de reduzir os *lead times*, propondo, além disso, ações de melhoria que fomentem uma cultura de melhoria contínua assente nos princípios do *Lean Thinking*. A secção em análise – secção de Assemblagem – dispõe de uma grande área que não é aproveitada ao máximo, havendo inclusive bancadas de trabalho inativas. Além disso, sendo o movimento (deslocações desnecessárias) um dos desperdícios do *Lean*, a empresa lançou o desafio de reestruturar o layout. Para tal procedeu-se ao balanceamento das linhas de montagem das 3 famílias de produtos mais predominantes. Desenvolveu-se para o efeito um modelo de Programação Linear Inteira em que, visando minimizar o número de postos de trabalho, são alocadas as tarefas respeitando o tempo de ciclo pré-definido.

1.2. Objetivos e Metodologia

O grupo tem investido na modernização e automação dos seus processos de fabrico, apostando na inovação, no desenvolvimento e na utilização de sistemas e metodologias eficazes e eficientes para assim progredir sucessivamente e se destacar no mercado de trabalho. Para tal, torna-se imprescindível monitorizar de forma constante os processos produtivos para que os mesmos possam ser otimizados, tendo por base pequenas e grandes ações de melhoria e com recurso a ferramentas *Lean*.

Assim, os principais objetivos do projeto são:

- Monitorização do processo de montagem de alguns dos produtos mais complexos e também de alguns *high runners* existentes no setor;
- Recolha de informação, nomeadamente, registo das operações executadas e respetivos tempos de processamento;
- Proposta e implementação de ações de melhoria, recorrendo a ferramentas *Lean*, a fim de otimizar o fluxo e eficiência do processo de montagem, diminuindo os *lead times*;
- Proposta de reestruturação do layout.

Em paralelo ao projeto foram desempenhadas outras tarefas consideradas necessárias para dinamizar e garantir o bom funcionamento dos Departamentos “Produção e Operações” e “Planeamento”.

Para o efeito, a metodologia adotada para a elaboração do projeto, e conforme proposto pela empresa, passou, numa fase inicial, pela integração na empresa, isto é, a maneira como a fábrica e cada departamento estão organizados, perceber as funções de cada posto e como as executar, sendo também relevante perceber que componentes é que são utilizados no processo. Para melhor compreender a dinâmica do Departamento de Produção e Operações, em que o projeto se enquadra, foram desenvolvidas atividades básicas de planeamento, tais como, emissão de Ordens de Fabrico (OFs) e controlo do status das mesmas.

Após a integração, o projeto desenrolou-se tendo por base as seguintes fases:

1. Definição dos produtos alvo de estudo tendo em conta as quantidades produzidas anualmente - rotatividade - e também atendendo à complexidade dos mesmos.

2. Percepção de como é que o operador executa o processo de montagem, dado que o tempo e o método como o operador executa a sua função são os *inputs* mais significativos para posterior análise, recorrendo para tal a gravação vídeo.
3. Análise dos vídeos que permite extrair informação sobre as tarefas e respetivos tempos. Pois só assim será possível perceber onde se deve atuar e como o fazer.
4. Após a análise e tratamento de dados, implementação e consolidação de ações de melhoria, que aprimorem o conjunto de operações necessárias para a redução de *lead times*.
5. Numa última fase, a proposta de um novo layout.

A metodologia utilizada pode comparar-se com a metodologia DMAIC. Esta metodologia é usada na área do *Six Sigma* e tem como intuito levar a cabo um projeto de melhoria de processos. É composta por cinco fases: *Define, Measure, Analyze, Improve* e *Control*, que têm como objetivo conduzir passo a passo a equipa durante a implementação de um projeto de melhoria de processo (Sin, Zailani, Iranmanesh, & Ramayah, 2015).

Inicialmente, foi realizado um plano de trabalho, com a calendarização das várias fases do projeto, para servir de suporte durante a sua realização. Numa primeira fase, como já mencionado, foi explorado o ambiente da empresa e do departamento onde o projeto foi desenvolvido. A acompanhar os meses iniciais do projeto foi realizada uma pesquisa bibliográfica, para obter um maior conhecimento dos métodos e ferramentas que iriam ser usados. Depois de se obter um conhecimento sobre a empresa e sobre a área a estudar, iniciou-se a fase **Define** do ciclo DMAIC, em que se definiu o problema/oportunidade de melhoria, tendo em conta o objetivo de projeto proposto.

Posteriormente, foi realizado um exaustivo trabalho de campo, através da observação direta do processo em *gemba* – fase **Measure**. Foi efetuada uma recolha de dados através da observação no terreno e através de filmagens, no sentido de compreender e descrever a situação inicial e de fazer o mapeamento do processo. Após a recolha foram efetuados o tratamento e a filtragem dos dados que permitiu fazer um balanço da situação inicial, identificando oportunidades de melhoria – fase **Analyze**. Foram levantadas as principais causas e efeitos, efetuada uma análise causa raiz e analisados alguns desperdícios em particular. Em seguida – fase **Improve** – foram apresentadas sugestões de melhoria, sendo algumas aplicadas nas causas dos problemas identificadas. Posto isto, numa última fase – fase **Control** – realizou-se a avaliação das melhorias que foram efetivamente implementadas, comparando a situação inicial e final.

1.3. Estrutura do Documento

O presente relatório de projeto é constituído por cinco capítulos. Note-se que cada um deles se subdivide em várias secções, criadas a fim de simplificar a compreensão de tudo o que se expõe.

O primeiro capítulo consiste numa introdução ao projeto, através da sua contextualização, da definição dos principais objetivos e da identificação da metodologia de investigação que lhe é inerente.

No capítulo 2 é feita uma exposição da revisão de literatura, onde é realizado um levantamento do estudo bibliográfico, com recurso a livros e artigos científicos, que serviu de suporte à tomada de decisões ao longo do projeto.

No capítulo 3 é apresentada a empresa onde decorreu o projeto, os principais produtos fabricados, bem como o seu processo produtivo e a área em estudo. É ainda feita uma breve descrição da situação inicial e caracterização do problema.

No capítulo 4 a informação é condensada em três secções e é exposto todo o trabalho prático desenvolvido. A primeira secção diz respeito à monitorização do processo produtivo da área em análise e que permitiu, num curto prazo, a identificação de micro melhorias. Na segunda secção são analisadas as principais causas de interrupção de trabalho. Desta análise resultou a aplicação da ferramenta 5S face à falta de ferramenta e, ainda, a proposta de criação do *e-kanban*. A última secção pode ser considerada o foco do trabalho e diz respeito ao balanceamento das linhas de montagem de 3 produtos que culmina na reestruturação do layout.

Por fim, no capítulo 5, referem-se as principais conclusões do projeto, assim como as suas limitações e propostas de trabalho futuro.

2. Enquadramento Teórico

O presente capítulo explora as principais temáticas que sustentam do ponto de vista teórico o projeto desenvolvido.

2.1. Filosofia *Lean*

A filosofia *Lean* remete ao princípio do século XX, onde as suas raízes advêm do *Toyota Production System* (TPS), liderado por Taiichi Ohno ao longo das décadas de 1950 e 1960. Após a II Guerra Mundial, as indústrias ocidentais enfrentaram graves problemas no que concerne à disponibilidade de recursos. Consequentemente, as organizações recorriam a processos de fabrico e gestão que, por serem demasiado complexos e pouco flexíveis, limitavam a capacidade de adaptação às expetativas do mercado (Pinto, 2009).

O TPS surgiu, então, face à necessidade de resposta às circunstâncias envolventes da empresa *Toyota Motor Corporation* que, após uma drástica quebra de vendas, se viu obrigada a dispensar grande parte dos seus colaboradores. Desta feita, Taiichi Ohno, criou um novo sistema de produção assente em dois pilares: *Just in Time* (JIT) e *Jidoka*. Segundo Monden (2012) o conceito JIT significa “produzir os componentes necessários, nas quantidades necessárias, no tempo necessário”. Ou seja, os produtos apenas são produzidos quando são necessários para uma fase posterior, sendo que a aplicação deste conceito origina a redução, ou mesmo eliminação de *stock* e, consequentemente, a redução de custos associados ao mesmo. *Jidoka* surge com a finalidade de fazer emergir os problemas, sugerindo a criação de mecanismos e automatismos que evitem que o erro aconteça ou se propague, através da transferência de inteligência humana para máquinas automáticas, de modo que estas sejam capazes de detetar e pararem de imediato na ocorrência de anomalias como o mau funcionamento do equipamento ou problemas com a qualidade (Pinto, 2009).

Em suma, criou-se um sistema capaz de, simultaneamente, acompanhar as constantes mudanças do mercado e satisfazer os requisitos dos seus consumidores através de uma diversificada oferta de produtos com elevada qualidade e baixo custo. As ideias subjacentes a este sistema assentam, portanto, numa filosofia de melhoria contínua que visa a eliminação de desperdícios, de redução de custos, da prevenção de erros e de aposta nas capacidades dos colaboradores (Pinto, 2009) – *Lean Thinking*.

O sistema TPS foi evoluindo ao longo do tempo e a partir dele surgiu este novo conceito. O termo *Lean Thinking* não foi inventado de uma só vez, sendo sim o resultado de uma aprendizagem dinâmica. Foi enunciado pela primeira vez em 1990 por James P. Womack,

Daniel Roos e Daniel T. Jones através da publicação “*The Machine that Changed the World*”. Esta publicação introduziu o *Lean Thinking* como um novo paradigma que ia além da produção em massa, tendo o TPS como principal referência. Desde então, o conceito ganhou vida própria e começou a ser adotado por inúmeras empresas, tanto na produção como nos serviços (Lander & Liker, 2007).

Ainda que a palavra tenha surgido há bastante tempo, defini-la, atualmente, constitui ainda um enorme desafio. A realidade é que a filosofia *Lean* tem vindo a evoluir – a partir de ideias que se estendem por várias culturas e indústrias – pelo que se torna complicado encontrar uma única definição globalmente aceite pelos seus praticantes e investigadores. Segundo a literatura, *Lean* pode apresentar-se como uma metodologia, um processo, um conjunto de princípios, um conjunto de ferramentas e técnicas, uma prática, um sistema, um paradigma da produção ou até um modelo (Abolhassani et al., 2016).

Na sua essência, a produção *Lean* corresponde a um pensamento de melhoria contínua usado pelas organizações para se tornarem proativas na solução de problemas e na criação do máximo valor para o cliente – “fazendo mais com menos” (Abolhassani et al., 2016).

Em suma, este termo traduzido como “pensamento magro”, é o resultado da evolução gradual do sistema de produção da Toyota, que introduz novas práticas e ferramentas que visam reduzir o desperdício e as atividades sem valor acrescentado, utilizando os mesmos ou uma quantidade menor de recursos (Arromba et al., 2019).

No fundo, o ambiente de produção *Lean* incentiva os colaboradores a sugerir e implementar melhorias nas suas áreas de trabalho (Randhawa & Ahuja, 2017). No entanto, existem barreiras à sua implementação: falta de tempo, resistência à mudança por parte dos colaboradores, falta de orçamento, mudanças culturais, entre outras (Retamozo-Falcon et al., 2019).

De facto, perceber como oferecer valor não constitui uma tarefa fácil. Afinal, de acordo com Pinto (2009:301) “Sem investimentos, sem compromentimentos, sem esforço, sem trabalho nem dedicação, nada se consegue”. Para as organizações orientarem a sua atenção nessa direção, devem integrar os seus colaboradores numa cultura assente na melhoria.

2.1.1. Princípios

De acordo com Womack & Jones (2003) a filosofia *Lean* assenta em 5 princípios fundamentais aquando da implementação desta filosofia no seio de uma organização:

- **Valor:** Definir o que é o valor na perspetiva do cliente, ou seja, o que ele realmente está disposto a pagar. Ou seja, o valor é a capacidade de conseguir fornecer um produto que possui todas as especificações requeridas pelo consumidor, sendo o ponto de partida para a incorporação do pensamento *Lean*. No entanto, para que tal seja possível, é necessário ter em conta os requisitos dos clientes intermédios, tais como vendas, marketing, distribuição, etc.
- **Cadeia de valor:** Definir a cadeia de valor comporta o conjunto de todas as atividades essenciais para a conceção de um produto ou serviço. É fundamental identificar a cadeia de valor com exatidão de modo a eliminar todas as atividades que não acrescentam valor, na ótica do cliente, desde a investigação e desenvolvimento, aquisição de matérias-primas até à entrega do produto/serviço ao consumidor final.
- **Fluxo:** O fluxo contínuo é o princípio definido como a progressiva realização de operações ao longo do fluxo de valor, de modo que todo o processo produtivo e logístico seja feito sem interrupções, desperdícios, paragens ou atrasos. Isto é, estabelecer um fluxo contínuo de materiais e informação de forma que não subsistam *stocks* intermédios e, por sua vez, um *lead time* reduzido seja alcançado.
- **Sistema Pull:** É um sistema de produção em cascata em que a instrução de entregas de atividades é feita de jusante para montante. Isto é, só quando o posto de trabalho a jusante sinaliza uma necessidade é que o posto a montante dá início a uma atividade - filosofia JIT. Desta forma, dá-se também a redução do *Work in Progress* (WIP) e dos *stocks* intermédios - uma técnica visual utilizada para a concretização deste sistema é o *Kanban*.
- **Perfeição:** Conhecer as necessidades, interesses e expectativas do cliente permite uma lógica de constante melhoria dos diferentes níveis da organização. Desta forma, é essencial que a empresa procure a implementação de métodos e ferramentas que permitam obter incrementos na eficiência dos seus processos. Uma vez que a redução de fatores como o *lead time*, esforço, espaço, erros e custo se trata de um processo sem fim, torna-se necessário instituir um compromisso no sentido de alcançar a perfeição, procurando continuamente eliminar desperdícios

e criar valor. Esta perfeição traduz-se em entregar exatamente o que o cliente quer, quando quer (sem atrasos), a um preço justo e com um desperdício mínimo.

No entanto, segundo Pinto (2009), os cinco princípios apresentados não contemplavam toda a abrangência da evolução do *Lean Thinking*, apresentando algumas lacunas. A cadeia de valor era considerada apenas a cadeia de valor de um cliente, não contemplando a possibilidade de existir mais do que um *stakeholder*, pelo que o desafio não está na criação de valor, mas sim na criação de valores. Outra limitação era o facto de não conduzirem as organizações a apostar na inovação. Isto é, as empresas entravam em ciclos infundáveis de redução de desperdícios, descuidando a crucial atividade de criar valores através da inovação de produtos, serviços e processos.

Portanto, a fim de evitar que as organizações caiam em exagero na procura da redução de desperdícios - que muitas vezes se traduzem em despedimentos, esquecendo a sua missão e o seu propósito de criar valor para as partes interessadas - foi proposta a alteração dos princípios “Criar valor” e “Definir a cadeia de valor” para os princípios “Definir o(s) valor(es)” e “Definir a(s) cadeia(s) de valor”, respetivamente. E, ainda, o estabelecimento de dois novos princípios que complementem tal filosofia (Pinto, 2009), são eles:

- **Conhecer os *stakeholders*:** Conhecer quem servimos, dado que para se alcançar um futuro promissor, além de concentrar a atenção nas necessidades do cliente, é, efetivamente, inconcebível deixar as demais partes envolvidas, incluindo o ambiente, fora do cerne principal da organização.
- **Inovar sempre:** Devido à evolução tecnológica, o mercado atual encontra-se em constante mudança e, portanto, torna-se quase que obrigatório haver uma adaptação sistemática face às alterações. Tendo em consideração tais condições, para além da eliminação do desperdício, é fulcral as organizações direcionarem parte da sua atenção no processo de desenvolvimento de novos produtos, serviços, processos e tecnologias para uma constante criação de valor.

2.1.2. Desperdícios

Entende-se por Desperdício (em japonês, Muda) “qualquer atividade humana que consome recursos, mas não cria valor” (Womack & Jones, 2003).

Segundo Fujio Cho, antigo presidente da Toyota, desperdício é “tudo o que está para além da mínima quantidade de equipamento, materiais, peças, espaço e mão de obra, estritamente essenciais para acrescentar valor ao produto” (Suzaki, 2010).

No ambiente industrial, segundo Womack e Jones (2003) e Pinto (2009), 95% do tempo despendido com atividades subjacentes à concepção de um produto são consideradas desperdício. Habitualmente, as empresas focam-se somente no aumento de produtividade dos 5% de valor, ao invés de agirem sobre os 95%, ignorando o enorme potencial de ganho que pode ser obtido.

Estes autores classificaram, então, as atividades presentes na concepção de um produto ou serviço como: as que adicionam valor, cerca de 5%; as que não adicionam valor, contudo necessárias, 30 - 35%; e, ainda, as como puro desperdício que representam entre 60 e 65% das atividades e, portanto, devem ser as primeiras a ser eliminadas.

Para identificar e melhor compreender o valor acrescentado, surge a necessidade de categorizar as várias tarefas da cadeia de valor, dentro das seguintes três categorias (Liker, 2004):

- **Valor Acrescentado:** O que realmente integra o processo de transformação do serviço pelo qual o cliente está disposto a pagar o que é o valor na perspectiva do cliente, ou seja, o que ele realmente está disposto a pagar.
- **Não Valor Acrescentado:** Engloba os 8 desperdícios posteriormente descritos, sendo assim as ações que não constituem qualquer valor para o cliente.
- **Valor Não Acrescentado mas Necessário:** Ações que são necessárias na realidade atual, apesar de não constituírem valor acrescentado para o cliente. Alguns exemplos são as inspeções de matéria-prima comprada, realização de mudanças de *setup*, serviço de contabilidade numa unidade de prestação de serviços de saúde.

Posto isto, as sete formas de desperdício que, segundo Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, são responsáveis por 95% dos custos totais nos ambientes *non-Lean* são:

- **Sobreprodução:** considerado o mais grave de todos os sete desperdícios uma vez que é a raiz de tantos outros problemas e a origem de outros desperdícios. Trata-se da produção em quantidade superior à requerida antes da sua necessidade ser efetivamente solicitada. Uma organização apenas deve produzir aquilo que efetivamente necessita evitando a alocação desnecessária de recursos, o consumo e compra de materiais desnecessários, o aumento do consumo de energia, níveis de *stock* elevados e o condicionamento da flexibilidade do planeamento produtivo.
- **Espera:** referente ao tempo em que operadores e/ou equipamentos se encontram inativos como consequência da falta de algum recurso imprescindível à realização

da sua atividade. Estes períodos de espera, por norma, advêm de problemas a jusante, atrasos dos transportadores, layouts problemáticos e avarias. Estando diretamente relacionado com o fluxo contínuo de materiais e informação, um dos cinco princípios *Lean* anteriormente mencionado.

- **Transporte:** corresponde a todos os movimentos quer de pessoas, quer de materiais e informação realizados de forma excessiva e, por isso, desnecessária. Na impossibilidade da eliminação total deste desperdício procura-se minimizá-lo ao máximo através da correção de layouts, eficiência do planeamento da produção e sistemas de transportes mais flexíveis. Contudo, trata-se de um desperdício necessário.
- **Processo:** ocorre em situações onde a execução de uma determinada operação é realizada de forma incorreta ou com uma complexidade excessiva. Traduz-se num incremento da taxa de defeituosos podendo, desta forma, comprometer a qualidade do produto. Estas situações podem ser resultado de uma insuficiente formação dos colaboradores ou da falta de uniformização dos processos.
- **Stock:** qualquer *stock*, seja este de matéria-prima, produto em vias de fabrico ou acabado, que excede as quantidades exigidas para satisfazer a procura atual. Este tipo de muda pode ser minimizado, por exemplo, através da implementação de um sistema *pull*.
- **Defeitos:** implica custos de qualidade que aumentam à medida que o tempo de deteção se prolonga. Correspondem a situações onde a qualidade ou a não conformidade dos produtos é posta em questão exigindo, frequentemente, o seu reprocessamento. A redução dos defeitos pode ser alcançada através da implementação de dispositivos à prova de erros (*Poka-yoke*), controlo sistemático e um processo de melhoria contínua.
- **Movimento:** traduz-se em movimentações desnecessárias e que não acrescentam valor às atividades de um processo. Se os operadores têm de se esticar, dobrar, pegar, mover ou realizar outra atividade indevidamente, numa primeira instância, a vítima é o operador. No entanto, estes movimentos terão impacto na qualidade do produto que, num último momento, refletir-se-á no cliente.

Adicionalmente, um oitavo desperdício foi apresentado por Womack e Jones (2003):

- **Conhecimento:** corresponde à subutilização dos operadores, ou seja, ao não aproveitamento do potencial das pessoas, mais concretamente da sua criatividade, conhecimento, experiência e inteligência.

De forma muito sucinta, o objetivo principal da filosofia *Lean* é proceder à eliminação destes desperdícios, a fim de alcançar o valor pretendido pelo cliente com o menor custo e maior qualidade possíveis, através do uso de técnicas e ferramentas que andam constantemente de “mãos dadas” com esta filosofia.

Importa ainda referir que na obra de Liker (2004), aborda-se o conjunto dos 3 M's, sendo estas três formas distintas de demonstração de desperdícios, sobre as quais uma empresa deve incidir para implementar uma filosofia *Lean*.

- **Muda:** Não Valor Acrescentado e inclui os 8 desperdícios anteriormente mencionados. Isto é, corresponde a todas as atividades pelas quais o cliente não está disposto a pagar.
- **Muri:** Sobrecarga de pessoas ou equipamentos. Note-se que sobrecarregar as pessoas poderá causar problemas na segurança ou na qualidade, tal como sobrecarregar as máquinas poderá causar paragens ou defeitos.
- **Mura:** Variável, refere-se às irregularidades ou inconsistências. Este poderá ser causado pelos dois M's anteriores. A variabilidade deve-se às irregularidades ou flutuações na produção, devidas a problemas internos, como por exemplo paragens ou defeitos. Esta variabilidade na produção provocará uma maior necessidade de materiais e pessoas para colmatar as fases de maior produção, mesmo que a necessidade média seja bastante mais baixa.

A identificação de desperdícios não é uma tarefa que está só a cargo da gestão, mas sim a cargo de todos. Os operadores devem ser os primeiros envolvidos nas ações de melhoria, pois são os primeiros que conseguem identificar o desperdício, sugerir mudança e mantê-la, se implementada. É importante “transmitir confiança às pessoas e fazer da melhoria um processo interno” e conduzi-las no sentido de “desenvolver orgulho e sensação de responsabilidade pelo seu trabalho” (Suzaki, 2010).

2.1.3. Metodologias e Ferramentas *Lean*

Existe um vasto leque de metodologias e ferramentas do universo *Lean Thinking* que podem ser implementadas em qualquer contexto organizacional. Normalmente, são utilizadas de forma integrada e consoante a abordagem pretendida para a situação em estudo.

A implementação das ferramentas deve ser estudada e ponderada, de modo a serem escolhidas aquelas que realmente terão um impacto positivo para a organização e assegurar que são implementadas de forma correta. Portanto, das diversas ferramentas *Lean* que podem ser utilizadas para a redução de desperdícios e para a melhoria contínua, neste capítulo apenas são mencionadas aquelas que foram aplicadas no âmbito do presente projeto e que serviram de suporte para o trabalho proposto pela JPM Industry.

Gestão Visual

Constantemente no nosso quotidiano somos expostos a desafios e nos deparamos com situações com as quais não sabemos lidar no imediato. Neste sentido, o processo de tomada de decisão deve ser o mais rápido possível. O mesmo se verifica na indústria, onde a toda a hora os colaboradores estão sujeitos a processos produtivos de alta complexidade.

A Gestão Visual tem como base um conjunto de técnicas de comunicação. Este método visa facilitar a transmissão de informações e objetivos entre pessoas a todos os níveis da organização, detetar problemas o mais rapidamente possível e tomar as decisões necessárias. Note-se que estas técnicas devem ser simples de aplicar, acessíveis no terreno e, sobretudo, em tempo real. Permitindo a qualquer pessoa saber numa área de atividade (produção ou serviço) se a situação é ou não a normal, se são identificados problemas e, ainda, se as equipas lidam com os problemas com critérios adaptados para a sua resolução. Muito sucintamente, o objetivo é visualizar rapidamente os indicadores relevantes de um dado departamento ou secção, digamos assim, a fim de facilitar a gestão e planeamento das diferentes atividades da forma mais eficiente possível.

Um local de trabalho visual é um “ambiente de trabalho autocomprometido, autoexplicativo, autorregulador, autodesenvolvedor, onde o que é suposto acontecer acontece, na hora certa, toda a hora, dia e noite, por causa de soluções visuais” (Bevilacqua et al., 2013).

Para a sustentação da gestão visual, recorre-se a certas ferramentas que auxiliam os operadores na execução das suas tarefas e a verificação de existência de anomalias num processo. Destacam-se, então, dois tipos de ferramentas (Eaidgah et al., 2016):

- **Ferramentas de entendimento dos processos:** ferramentas vocacionadas para uma melhor interpretação dos processos. Tal como *Value Stream Mapping* (VSM), diagramas de fluxo, A3, entre outros.
- **Ferramentas de desempenho dos processos:** ferramentas relacionadas com o *feedback* do desempenho do processo, controlando a eficiência e eficácia dos processos. Tal como *andon lights*, *kanban*, gráficos de desempenho e qualidade – KPIs, entre outros.

Em suma, as principais vantagens são:

- Diminuição nas falhas de comunicação, dado que a transmissão das informações acontece de forma visual e, portanto, mais dinâmica;
- Reconhecimento de anormalidades, pois a deteção de anomalias e vulnerabilidades torna-se mais ágil e eficaz - pode-se utilizar cores e gráficos para tornar os desvios mais evidentes, uma vez que se estabelece uma “faixa de normalidade” ou resultados esperados;
- Uniformização, isto é, manter os processos atualizados conforme os avanços que ocorrem, o que se torna útil para priorizar tarefas e itens;
- Motivação para um planeamento fino e para um melhor controlo dos processos;
- Motivação na cooperação entre a equipa de trabalho, pois todos os funcionários podem visualizar o resultado do processo como um todo;
- Recurso extremamente barato se comparado a qualquer sistema informatizado.

5S

Esta ferramenta consiste na adoção de cinco passos com foco no desenvolvimento da qualidade. Os referidos passos correspondem a cinco sentidos, denominados por: *Seiri* (senso da utilização), *Seiton* (senso da ordenação), *Seiso* (senso da limpeza), *Seiketsu* (senso da padronização) e *Shituske* (senso da disciplina).

Analisando, muito sucintamente, cada um dos passos, verifica-se que o **Seiri** consiste em classificar os objetos e/ou materiais de acordo com a frequência de utilização, com o objetivo de eliminar o que seja inútil. O **Seiton** consiste em colocar cada coisa no seu devido lugar, para organizar o espaço de trabalho de forma eficaz. O **Seiso** consiste em limpar e cuidar o ambiente de trabalho. O quarto passo, o **Seiketsu**, tem como objetivo criar normas e *standards*. Por último, apresenta-se o senso mais difícil de aplicar, o **Shitsuke**, o qual procura sustentar todo o trabalho desenvolvido e assegurar o seu cumprimento.

A arrumação e organização de um posto de trabalho nem sempre é vista com interesse pelos operadores. É importante mentalizar e sensibilizar as pessoas que um espaço de trabalho limpo e organizado não é apenas uma questão de boa aparência, mas que contribui para uma maior motivação, conforto e motivo de orgulho para as pessoas. A sua motivação leva a um aumento da probabilidade de fabricar produtos com elevada qualidade (Suzaki, 2010).

Em suma, os 5S têm como principais vantagens o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos, a prevenção/a deteção de erros, melhorias no ambiente de trabalho e no bem-estar dos trabalhadores e, ainda, a redução de custos variáveis.

Sistema Kanban

Uma das ferramentas *Lean*, e que será explorada no presente caso de estudo, é o *Kanban*. Este sistema é um mecanismo de controlo de gestão e dos seus fluxos de informação que utiliza cartões ou sistemas visuais de modo a nivelar a produção com base na procura do cliente (Naufal et al., 2012). Procura apenas produzir o que o cliente quer, quando quer e nas quantidades que quer, ou seja, JIT.

Caracteriza-se por ser um método simples, eficaz e de barata implementação, sendo uma das ferramentas mais utilizadas aquando do controlo de inventários, *stock*, produção e abastecimento de linhas. Esta ferramenta visa substituir o tradicional planeamento semanal ou diário, sendo possível ao operador programar e controlar a produção diária através de sinais e regras predefinidas.

O essencial é que o *Kanban* transmita a informação de forma simples e clara de modo a manter em funcionamento o sistema de produção, permitindo identificar falhas ou desperdícios que serão, imediatamente, corrigidos. As principais formas que o *Kanban* pode adotar de acordo com Pinto (2009) são:

- **Cartão:** a forma mais tradicional e a mais usada, uma vez que é uma maneira simples e barata de controlar a produção. Pode dividir-se em dois tipos: *Kanban* de produção e *Kanban* de transporte;
- **Look-see:** consiste em sinais visuais, como marcas no chão, que sinalizem quando um item tem de ser reabastecido. Podem ser utilizados os próprios contentores dos componentes como sinais para a produção, sendo que, à medida que os contentores vão ficando vazios e são retirados da fila para produção, o operador consegue saber quando tem de ser abastecido ou mandar produzir certo material ou componente;
- **Quadro *kanban*:** em tudo semelhante ao sistema de cartões, sendo que em vez cartões, são utilizados ímanes, fichas de plástico, anilhas, entre outros, como sinal. O quadro contém todos os processos pelos quais o produto irá passar, e assim que este é movido, o sinalizador é movido no quadro consoante essa movimentação. Quando este produto é consumido, o sinal que representa o produto, é movido para a fila de espera da produção do quadro *Kanban*. É uma das maneiras mais utilizadas para facilitar a gestão de prioridades;
- ***Kanban* eletrónico (*e-kanban*):** vários sistemas ERP oferecem a possibilidade de utilização do *Kanban* eletrónico em detrimento do sistema tradicional, sendo a necessidade do cliente imediatamente transmitida a toda a cadeia.

Ainda em relação ao *e-kanban*, importa referir que a digitalização facilita a sua adaptação aos processos – alterações nos *stocks* ou tempos de ciclo requerem alterações nos cartões *kanban* – garantindo também que não se percam ao longo do fluxo do percurso produtivo (Salvadorinho & Teixeira, 2020). Embora o sistema de *kanban* físico seja o mais conhecido, a verdade é que muitas empresas têm implementado sistemas de *kanban* eletrónico em substituição do sistema tradicional.

As principais funções do *e-kanban* são o controlo de cartões *kanban* através de código de barras ou RFID, bem como a extensão deste controlo para outras áreas produtivas que não sejam controladas por um quadro *kanban*, criando assim uma malha de identificação de operações por toda a linha de produção.

Os recursos informáticos deste sistema permitem o acompanhamento de índices de controlo, que possibilitam aos responsáveis pela produção estarem informados sobre as mudanças em função das variações da procura ou até mesmo na aplicação de melhorias num setor específico.

2.1.4. *Lean* e Indústria 4.0

A integração do *Lean* com a I4.0 faz com que nasça o termo *Lean 4.0*, o qual está a ser cada vez mais discutido na literatura. De notar que, deste modo, têm surgido várias perspetivas, que procuram mostrar a forma como os dois conceitos iniciais se interligam (Cifone et al., 2021).

O *Lean* pode ser visto como uma base para a implementação da I4.0. Tendo em consideração que as práticas *Lean* visam a redução do desperdício ao longo dos processos, possuir um processo simplificado e sob controlo pode representar um pré-requisito para a transformação digital. Outra perspetiva refere-se à I4.0 como um complemento essencial ao *Lean* tradicional. Atualmente, o mercado revela-se mais exigente e complexo, pois os clientes requerem, por exemplo, produtos altamente personalizados. Tal facto impede a eficácia do *Lean* tradicional. Assim, a I4.0 pode ser usada para que o *Lean* se adapte às novas tendências do mundo industrial, preservando a robustez dos processos (Cifone et al., 2021).

2.2. *Business Process Management* | BPM

Um processo de negócio pode definir-se como “um conjunto de funções relacionadas (e subfunções), sequenciais e específicas, que podem agregar valor a um cliente, interno ou externo” (Butt, 2020), permitindo que a empresa alcance determinados resultados estratégicos (Dumas et al., 2018).

O *Business Process Management* (BPM), em português, gestão de processos de negócio, constitui uma tarefa de extrema importância, dado que, recorre à inovação e melhoria para aumentar a eficiência e eficácia dos processos, integrando também a estratégia e os objetivos da organização com as expectativas e necessidades do cliente. O seu desenvolvimento deveu-se ao progressivo interesse, por parte das empresas, pela globalização, inovação e, ainda, devido ao aparecimento de novas tecnologias. Consequentemente, as organizações passaram a dar mais atenção aos seus processos com o objetivo de os tornar mais eficientes, ágeis e, de forma geral, aprimorados. Desta feita,

foram surgindo mais ferramentas, metodologias e sistemas (Dumas et al., 2018), permitindo identificar, priorizar, analisar, melhorar e monitorizar os processos de negócios.

Entre os demais benefícios do BPM destacam-se o aumento da flexibilidade, agilidade e capacidade de resposta das empresas, as melhorias na capacidade de inovação e, ainda, a centralização no cliente (Imgrund et al., 2018).

No entanto, apesar das suas múltiplas vantagens, a utilização do BPM permanece desafiante, pois não só afeta vários níveis organizacionais, como também exige tempo, investimento e recursos humanos. Deste modo, para que exista um BPM bem-sucedido, as empresas devem ter em consideração uma série de aspetos, tais como a padronização e automação dos processos, as partes interessadas e, ainda, a integração e formação dos seus colaboradores (Imgrund et al., 2018).

Em suma, o BPM deve ser utilizado nas empresas como um todo, envolvendo todos os processos e departamentos da organização. Para tal, deve-se recorrer a uma linguagem de modelação adequada a todos os processos, a fim de melhorar a comunicação entre todas as partes envolvidas.

2.2.1. Business Process Model and Notation | BPMN 2.0

Nos últimos anos, surgiu a necessidade de se criar uma linguagem de modelação de processos de negócio, que pudesse ser suficientemente expressiva e formal, mas, ao mesmo tempo, facilmente compreensível pelos utilizadores finais e não apenas por especialistas do domínio (Chinosi & Trombetta, 2012).

Neste sentido, existem atualmente várias linguagens para a modelação de processos, tais como a *Unified Modeling Language*. No entanto, a linguagem mais conhecida é *Business Process Model and Notation* – BPMN (Dumas et al., 2018).

Pode definir-se BPMN como uma representação gráfica dos processos que ocorrem numa empresa e como o *“leading standard in the frame of business processes and workflow modelling languages”* (Chinosi & Trombetta, 2012). Isto é, é uma notação complexa que representa os processos de negócio de forma direta e facilmente adaptável, compreensível para todos os envolvidos no processo.

Porém, existem algumas opiniões contrárias que afirmam que o BPMN não é uma linguagem assim tão fácil de usar. Por esta razão, há a necessidade de mudanças, simplificações e expansões da linguagem (El-Sharef et al., 2020). Além disso, embora esta ferramenta tenha em conta o fator tempo, sendo possível associar a cada atividade ou

tarefa um atributo temporal, não há referência de uma linha temporal existente para melhor visualizar a duração global do processo.

Neste sentido, o BPMN 2.0 surge como uma linguagem que, de acordo com Chinosi & Trombetta (2012), é uma notação de modelação gráfica de fácil leitura e compreensível que mostra as propriedades e informações de execução de um processo.

Sucintamente, o BPMN 2.0 permite clarificar os fluxos de informação relevantes, as fontes de dados, as pessoas envolvidas e, ainda, alinhar os elementos que constituem os processos. Permite também, numa fase posterior, identificar as principais fontes de desperdício, incluindo atividades sem valor acrescentado (Arromba et al., 2019).

2.2.2. BPM e Indústria 4.0

A existência de processos ágeis e de uma comunicação eficaz, bem como a incorporação das capacidades digitais nos processos, tornou-se uma exigência, o que tem impulsionado muitas empresas a investirem em novas tecnologias digitais (Butt, 2020). De facto, a humanidade tem vivido diversas revoluções industriais impulsionadas pelos avanços tecnológicos, apresentando cada uma destas revoluções ideias promissoras e inovadoras. Para descrever a atual quarta revolução industrial é utilizado o termo I4.0.

A I4.0 marca uma nova revolução industrial baseada na conexão do mundo virtual e real. Há uma tendência para que a produção, a monitorização e controlo dos produtos inteligentes mudem de paradigma, isto é, o que é centrado no trabalho humano passa para uma produção automática ou automatizada na sua totalidade. Porém, é relevante mencionar que a I4.0 ainda é um conceito em crescimento e possui uma variedade de recursos, havendo ainda muito a ser explorado (Arromba et al., 2019).

Além disso, é importante referir que a implementação do BPM no seio da I4.0 constitui um tema novo. A digitalização e o BPM são dependentes, isto é, a digitalização só funciona de forma correta se o BPM for funcional e vice-versa (Imgrund et al., 2018).

Assim, as empresas devem alinhar a sua estrutura organizacional com as características do sistema para aproveitar plenamente os benefícios esperados. Embora a tecnologia seja importantíssima para o BPM, acaba por ser ainda mais importante para a digitalização, uma vez que impulsiona o processo de transformação (Imgrund et al., 2018).

2.3. Tipos de Layout

Independentemente do contexto, a gestão eficiente do espaço disponível para determinada atividade constitui uma questão pertinente e, deve portanto, ser explorada. Os pequenos desperdícios, quando considerados de forma isolada, tendem a ser, numericamente, irrelevantes. No entanto, o somatório de todos esses pequenos desperdícios de tempo traduz-se num considerável tempo de valor não acrescentado. Neste sentido, ter em atenção o design/layout da área produtiva revela-se uma questão de extrema importância.

De acordo com Pinto (2009), o planeamento do layout tem lugar em duas fases decisivas das organizações: na implementação e nos momentos de adaptação das instalações às novas funções e desafios. Os erros cometidos nas fases iniciais de conceção e implementação do layout têm repercussões ao longo da vida das organizações. Posto isto, é importante que o estudo do layout seja feito com as devidas precauções e planeamento. A Figura 1 mostra as vantagens e desvantagens associadas aos layouts.

| Vantagens de um bom layout | Desvantagens de um mau layout |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Inexistência de áreas ocupadas desnecessariamente.2. Redução de trabalho administrativo e indireto.3. Melhoria do controlo e da supervisão.4. Melhor capacidade de ajuste a condições variáveis.5. Melhor utilização da mão-de-obra, equipamentos e serviços.6. Redução das atividades de manuseamento de materiais e de <i>stock</i> em processo.7. Redução de riscos de qualidade.8. Aumento da segurança no trabalho.9. Aumento da satisfação dos trabalhadores.10. Redução dos atrasos e do tempo de produção.11. Aumento da capacidade de produção. | <ol style="list-style-type: none">1. Custos de manuseamento excessivos.2. WIP e <i>stock</i> excessivos.3. Tempo de inatividade excessivo e custo de manutenção.4. Aumento da frequência de acidentes.5. Falta de condições ergonómicas nos postos de trabalho.6. Tempo ocioso excessivo (operador e equipamento). |

Figura 1: Vantagens de um bom layout e desvantagens de um mau layout [Fonte: Brás (2021)].

Dependendo das propriedades dos processos de produção, mais especificamente, da capacidade de produtividade e variedade de produtos, o layout deve ser organizado de diferentes formas. Existem, portanto, cinco principais tipos de layout: layout de produto, layout de processo, layout de célula, layout de posição fixa e, ainda, layout híbrido. Sendo que este último é a conjugação de dois ou mais tipos.

2.3.1. Layout de Produto

Este tipo de layout, também conhecido como layout em linha ou *Flow Shop*, caracteriza-se pelo seu grande volume e baixa variedade de produtos. Com o objetivo de maximizar a utilização dos recursos a linha é organizada segundo a sequência de fabrico dos produtos ou serviços, idealmente, num fluxo linear. Este fluxo de produção lógico resulta num reduzido *stock* de WIP, tempo de ciclo curto e controlo de produção simplificado.



Figura 2: Esquematização do Layout de Produto.

Pinto (2009) descreve como principais pontos de vantagem deste tipo de layout a simplicidade na gestão de processos, os baixos custos unitários, os grandes volumes de produção, a oportunidade para especialização de equipamentos e a movimentação fácil, clara e rápida de produto semiacabado. Em contrapartida, como desvantagens existe a baixa flexibilidade, o trabalho repetitivo e o facto de uma única avaria no equipamento poder encerrar toda a linha de produção.

2.3.2. Layout de Processo

Também conhecido por *Job Shop* ou layout funcional, é implementado para processar itens que envolvem uma variedade de requisitos. Os equipamentos e processos são organizados em secções homogéneas, isto é, em locais partilhados por equipamentos e pessoas que desempenham funções similares. Este layout é ajustado para baixo volume e/ou produção não repetitiva de produtos e componentes padrão.

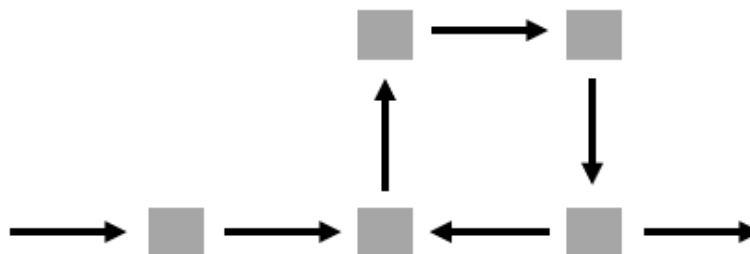


Figura 3: Esquematização do Layout de Processo.

As principais vantagens deste tipo de layout são a alta flexibilidade e possibilidade de personalização do produto, a possibilidade de um melhor supervisionamento e controlo do processo, dado que, máquinas semelhantes se encontram mais próximas, possibilitando a especialização dos operadores, a melhor utilização dos equipamentos e a possibilidade de uma gestão mais flexível – caso um equipamento falhe, a produção pode ser transferida para um outro equipamento do mesmo departamento. Como desvantagens, existe o facto do percurso de um produto ser mais longo, aumentando o tempo de ciclo devido às longas distâncias percorridas e a possibilidade de criação de mais gargalos devido ao maior tempo de espera e maiores filas.

2.3.3. Layout de Célula

Num layout de célula as estações de trabalho são agrupadas em células de acordo com a necessidade de um conjunto de produtos que aguardam processamento semelhante. Basicamente, consiste no agrupamento de máquinas e equipamentos em grupos diversos, de tal forma que cada um desses grupos seja capaz de propiciar a produção de todos os componentes de uma família de produtos. O objetivo deste tipo de layout é proporcionar uma maior produtividade uma vez que existe um melhor aproveitamento da mão de obra (Drira et al., 2006). Isto é, a ideia base é melhorar a eficiência do sistema de produção a partir da decomposição em subsistemas autónomos agrupados por produto ou família de produto, acabando por conjugar os aspetos positivos do layout por processo e do layout por produto.

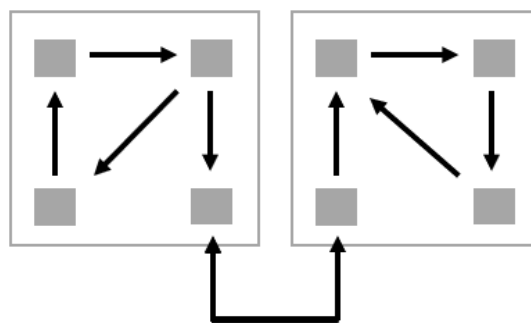


Figura 4: Esquemática do Layout de Célula.

Vantagens deste tipo de layout são o compromisso entre o custo e flexibilidade, possibilidade de ajuste a vários volumes de produção, a alta variedade de operações, a rapidez das operações e a forte motivação dos colaboradores, uma vez que desempenham várias tarefas. Como desvantagem destaca-se a dificuldade em formar famílias e criar as suas respetivas células, investimentos associados à duplicação de equipamentos e outros

meios para a criação de células, dificuldade em acomodar novos produtos que não se encaixam em nenhuma das famílias ou células atuais.

2.3.4. Layout de Posição Fixa

Por fim, o layout de Posição Fixa está associado a projetos onde o volume é baixo e a variedade do produto é elevada (Drira et al., 2006). Além disso, este é frequente em indústrias de produtos de grandes dimensões, como edifícios ou aeronaves, onde não existe possibilidade do produto se mover e, por esta razão, são os recursos que se deslocam em torno do produto.

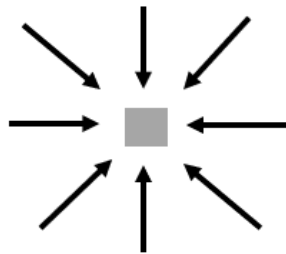


Figura 5: Esquemática do Layout de Posição Fixa.

As vantagens deste tipo de layout são a alta flexibilidade, personalização, o facto de diminuir perturbações no produto e o facto de a continuidade das operações ser assegurada, uma vez que, os operadores desempenham as suas tarefas independentemente dos outros. Porém, os custos unitários de produção são elevados, é necessária mão-de-obra altamente qualificada, a deslocação de máquinas e outros equipamentos para o centro de produção pode ser demorada, podem ser necessárias instalações complicadas para o posicionamento de trabalhos e ferramentas, o que pode aumentar o custo de produção.

Quando, devido às características da empresa ou dos produtos que produzem, não é possível implementar um dos layouts acima explicados, é feita uma mistura das características de alguns ou de todos para satisfazer a produção.

2.4. Lean Facility Layout System

Como mencionado anteriormente, o conceito *Lean* baseia-se na eliminação de desperdício, de modo a obter um fluxo contínuo. As características da filosofia *Lean* podem ser aplicadas

ao Problema de Planeamento do Layout, resultando no *Lean Facility Layout System (LFLS)*. Esta metodologia tem sido aplicada com sucesso em vários trabalhos (Brás, 2021).

De acordo com Brás (2021), este método baseia-se em quatro fases:

- 1. Mapeamento do estado atual:** através da ferramenta *Lean* de Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM). Esta fase resulta num modelo que representa o estado atual – Modelo As-Is – das tarefas necessárias para o desenvolvimento de um determinado produto.
- 2. Eliminação de desperdícios:** ferramentas/técnicas *Lean* são aplicadas nesta fase a fim de eliminar os resíduos identificados no Modelo As-Is.
- 3. Desenvolvimento do Modelo To-Be:** este modelo é elaborado tendo em conta os resíduos eliminados ou reduzidos.
- 4. Desenvolvimento do Layout:** com base nas alterações e melhorias identificadas nas etapas anteriores, é desenvolvido o novo layout das instalações.

O layout obtido de acordo com este processo tem propriedades e objetivos semelhantes aos princípios do *Lean* – será orientado para uma redução de cada tipo de desperdício, como tempo de transporte, espaço e postos de trabalho desnecessárias (Brás, 2021).

2.5. Balanceamento de Linhas de Montagem

Uma linha de montagem define-se como um conjunto de postos de trabalho interligados entre si de uma forma sequencial. Desta forma, o produto segue uma ordem de postos de trabalho, cada um com tarefas atribuídas, até que todas as tarefas necessárias sejam realizadas (Becker & Scholl, 2006).

Para cada tarefa importa saber o tempo de processamento e o conjunto de restrições formuladas de acordo com aspetos tecnológicos e de projeto do produto a ser montado, que determina a sequência pela qual as operações podem ser realizadas. Estas restrições são, normalmente, representadas através de um diagrama de precedência (Fig. 6), no qual, os nós representam tarefas e os arcos expressam as relações de precedência entre as tarefas (Simaria, 2006).

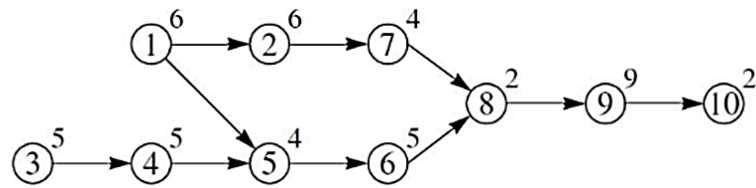


Figura 6: Exemplo de diagrama de precedência [Fonte: Becker & Scholl (2006)].

Segundo Becker e Scholl (2006), existem três tipos de linhas de montagem classificadas de acordo com a variedade de gamas de produtos montados sequencialmente nos postos de trabalho, como representado na Figura 7:

- **Single-model line** (linha de modelo simples): é montado na linha apenas um modelo de produto;
- **Mixed-model line** (linha de modelo misto): são montadas variantes de um determinado tipo de produto, no entanto, como existe similaridade nos processos de montagem dos vários modelos, os tempos de *setup* não são significativos;
- **Multi-model line** (linha de modelo múltiplo): são montados diferentes modelos de produtos. Os processos de montagem apresentam diferenças significativas e os produtos são montados em lotes pois os tempos de *setup* são significativos e assim reduz-se o seu impacto no processo de montagem.

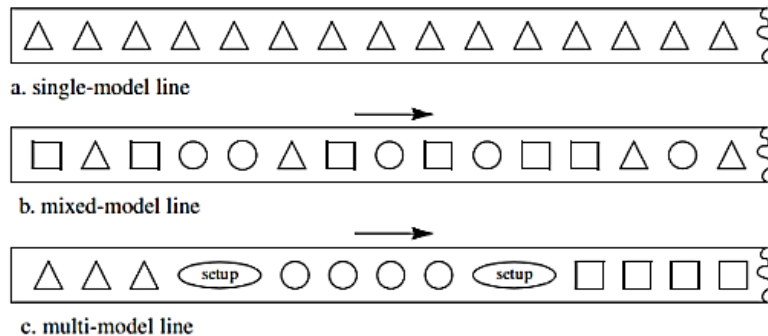


Figura 7: Tipos de linhas de montagem [Fonte: Becker & Scholl (2006)].

O balanceamento de linhas como uma ferramenta *Lean* é utilizada para equilibrar a carga de trabalho entre os operadores. Visa melhorar a produtividade e alcançar uma melhor utilização dos recursos (Nallusamy & Saravanan, 2016).

Becker & Scholl (2006) defendem que todos os tipos de problemas relacionados com o balanceamento de linhas de montagem consistem em encontrar uma solução viável para

atribuir cada tarefa a uma estação de trabalho de modo que todas as condições de precedência e restrições sejam satisfeitas.

Por outras palavras, o fabrico de um produto numa linha de montagem exige repartir a quantidade total de trabalho num conjunto de operações elementares denominadas tarefas (Simaria, 2006). Segundo Stevenson (2015), o balanceamento de linhas de montagem consiste no processo de atribuição de tarefas a postos de trabalho de modo que estes postos tenham requisitos temporais aproximadamente iguais. Tal condição, implica atribuir tarefas de forma a que a carga dos postos de trabalho seja aproximadamente semelhante, sendo que carga é o “tempo necessário para realizar a totalidade das tarefas afetadas a um posto de trabalho” (Simaria, 2001).

“Linhas desequilibradas são indesejáveis em termos de utilização ineficiente de mão de obra e equipamentos.” Se a linha estiver balanceada alcançar-se-á a máxima utilização de mão de obra (Stevenson, 2015). Já uma linha desequilibrada, em que os tempos das tarefas não são iguais entre postos de trabalho, gera tempo ocioso ou então acumulação de *stock* entre postos.

Em suma, o objetivo do balanceamento de linhas de montagem é reduzir tempos de espera e, ao mesmo tempo, permitir aumentar a eficiência da linha, diminuindo o número de postos de trabalho, tempo de ciclo ou ambos. Porém, para se elaborar o balanceamento é necessário primeiramente perceber e estruturar todas as tarefas efetuadas pelos operadores em todo o processo produtivo.

Existem diferentes métodos de balancear uma linha de montagem, uns mais complexos do que outros, mas todos com o objetivo de aumentar a eficiência da linha e reduzir os tempos de espera. Três dos métodos mais conhecidos são:

- **Ranked Positional Weight:** este método consiste em atribuir as tarefas aos postos de trabalho, dando prioridade às operações com maior peso, que são atribuídas antes daquelas que têm um peso menor. O peso é calculado com base num diagrama de precedência, adicionando o tempo de processamento da própria tarefa com o tempo de todas as tarefas que a seguem diretamente no diagrama de precedência (Kharuddin et al., 2019);
- **Método J-Wagon:** este método consiste em atribuir as tarefas às estações de trabalho, dando prioridade às tarefas que contêm mais operações elementares, que são atribuídas antes daquelas que têm menos operações (Alif & Aribowo, 2019);

- **Largest Candidate Rule:** este é o método mais simples e mais fácil de compreender. As tarefas são atribuídas consoante o seu tempo de processamento, sendo atribuídas por ordem decrescente. Ou seja, as tarefas que têm um maior tempo de processamento são atribuídas primeiro do que aquelas que têm um tempo menor (Kharuddin et al., 2019).

Todos estes métodos, apesar de aplicados de maneiras diferentes e, portanto, fornecerem diferentes soluções, têm um objetivo comum - distribuir as tarefas de forma equilibrada pelos postos de trabalho, de modo que cada posto respeite o tempo de ciclo.

2.6. Programação Linear

A Programação Linear (PL), abrangida na área da Investigação Operacional, baseia-se em modelos matemáticos para alcançar uma condição de similaridade com o sistema real objeto de estudo. Isto é, é um ramo da programação matemática que faz parte dos métodos quantitativos de apoio à tomada de decisão, e que diz respeito à afetação de recursos escassos a determinados usos, de forma a satisfazer um objetivo, sujeito a um conjunto de condições ou restrições (Nabli, 2009). Recorrendo à PL é possível formular problemas onde se pretenda distribuir um conjunto de recursos limitados da forma mais eficiente possível e de acordo com um objetivo previamente definido.

O termo programação encontra-se associado à programação computacional, isto é, ao planeamento de atividades para que de entre os resultados possíveis seja alcançado o melhor, enquanto o adjetivo linear se traduz na necessidade de que todas as funções matemáticas do modelo sejam lineares.

Um problema de PL contempla:

- **Variáveis de Decisão** (x_1, x_2, \dots, x_n) em que os seus valores correspondem ao output do modelo;
- **Função Objetivo** que serve como medida de avaliação da solução obtida ($F = Ax_1 + Bx_2 + \dots + Cx_n$ em que A, B, C pertencem aos números racionais);

$$(Max \text{ ou } Min) \quad Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

- **Restrições** que representam as limitações e/ou especificações do problema geralmente em forma de inequações;

$$s. a.: \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

Onde:

$x_j \geq 0$ são as variáveis de decisão;

c_j – coeficientes da função objetivo para a variável x_j ;

a_{ij} – coeficientes técnicos. Coeficiente da variável x_j na restrição de ordem i , representando a quantidade do recurso i consumido por unidade de atividade j ;

b_i – termo independente da i -ésima restrição, sendo a quantidade do recurso i que se encontra disponível para alocação nas atividades x_j (para $i = 1, 2, \dots, m$). É no fundo o valor limite da restrição i ;

$j=1, 2, \dots, n$ – número de variáveis;

$i=1, 2, \dots, m$ – número de restrições impostas.

2.6.1. Programação Linear Inteira

Uma variante deste tipo de problemas de PL são os de Programação Linear Inteira (PLI), onde são consideradas variáveis que assumem valores inteiros. Correspondem a uma subclasse da PL onde a grande maioria dos problemas se enquadram na categoria dos NP-difícil.

Este tipo de problemas, caracterizam-se por uma ordem de complexidade exponencial, isto é, o esforço computacional necessário para a sua resolução aumenta de acordo com o tamanho do problema. Na prática, isto traduz-se numa impossibilidade de resolução até à “otimalidade”. Num modelo de PLI todas as variáveis do problema pertencem ao conjunto de números inteiros. Um caso particular, corresponde a um problema de Programação Linear Binária onde as variáveis apenas podem tomar os valores 0 (zero) e 1 (um). Quando todas as variáveis do modelo são binárias, então o modelo é designado por Programação Inteira Binária. Neste tipo de problemas são expressas situações dicotómicas (sim ou não).

3. Empresa e Contextualização do Problema

Este trabalho incidiu sob a implementação de melhorias no processo produtivo e na proposta do layout da secção de Assemblagem, tendo por base os princípios *Lean*. Pretende-se ir de encontro aos objetivos concretos deste trabalho, através da aplicação das metodologias teóricas anteriormente abordadas e do uso de uma análise crítica, de forma a resolver o desafio proposto e apresentando soluções de melhoria que a empresa possa implementar.

Portanto, neste capítulo será feita uma apresentação da empresa, dos produtos fabricados e o seu processo produtivo a nível macro. Além disso, será apresentada, especificamente, a secção em estudo, bem como a descrição da situação inicial e caracterização do problema.

3.1. Apresentação da Empresa

3.1.1. JPM Industry

A história da JPM Industry começou em 1994, em Vale de Cambra, com o objetivo de oferecer os melhores serviços de eletrificação e automação para indústrias e parceiros. Porém, o fundador José Paulo Martins, visionava uma empresa capaz de se transformar e expandir as suas atividades, missão e visão ao longo da sua história. Isto é, transformar uma empresa de serviços num *player* mundial no mercado da intralogística.

Após anos de experiência em eletricidade, equipamentos industriais e automação, o próximo passo foi a criação de uma divisão de metalomecânica. O que foi, de facto, determinante para a expansão e transformação que a empresa sofreu nos anos seguintes, pois foi o ponto em que se iniciou a fabricar as suas próprias soluções e juntou uma nova área de conhecimento, a mecânica. Esta transformação exigiu mais espaço para crescer e, portanto, em 2005 a empresa mudou-se para novas instalações. Além disso, a fim de desenvolver e fabricar as suas próprias soluções surgiu a necessidade de estabelecer novos processos. Desta feita, foi criado o Departamento de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico, através do projeto JPM-INTEC financiado pela Adl, passando a inovação a fazer parte da cultura da organização.

Em 2007 a empresa obteve a certificação do Sistema de Gestão da Qualidade pela norma ISO 9001:2000, tendo sido também neste ano que passou a ter o estatuto de PME Líder. Esta acreditação foi o incentivo para a preparação para as próximas e mais exigentes certificações que se ambicionava obter. Em simultâneo, iniciou-se a implementação da

visão e missão de longo prazo, o crescimento e expansão das suas atividades para outras geografias – internacionalização. A marca e as suas soluções começaram a ser implementadas pela Europa e África.

Em 2009, deu-se um marco importante que moldou o futuro da proposta de valor para o mercado, a criação do Grupo JPM. Esta fundação teve uma importante missão e objetivo, a profissionalização da gestão da empresa, a expansão e verticalização das áreas de conhecimento em empresas individuais. A JPM Renováveis juntou-se ao grupo com a missão de oferecer soluções de energia sustentável e renovável, bem como mais tarde se juntou a Jointsteel com a missão de fabricar equipamentos e soluções de processo em aço inoxidável. Durante este período, uma vez mais, foi necessário espaço, tendo ocorrido a mudança para novas instalações, a atual sede do Grupo JPM Industry.



Figura 8: Unidade Industrial JPM Industry.

Começaram-se a implementar metodologias *Lean* e adquiriram-se máquinas de tecnologia de ponta. Durante este período obtiveram-se novas certificações e prémios, dos quais se destacam as certificações ISO 14001, ISO 45001, NP 4427 e, ainda, o convite e a admissão à rede COTEC.

Mais recentemente, A JPM Industry foi a vencedora do Prémio PME Inovação 2018, atribuído pela COTEC/BPI. O que traduz o reconhecimento da capacidade de inovação da empresa, fazendo com que esta se assuma como um fator essencial para o crescimento e sustentabilidade.

Atualmente, a JPM é uma empresa especializada na produção (conceção, fabrico e montagem), instalação, manutenção e reparação de equipamentos industriais, sistemas de automação e processos industriais. Desenvolve trabalhos em vários países da Europa, África e Ásia, em vários setores industriais - principalmente na área alimentar e química.

Destacam-se alguns dos seus clientes à escala global: TetraPak, Lactogal, Sumol+Compal, Nestlé, entre outros.

Em suma, centra a sua atividade em quatro grandes áreas de negócio:

- **Automação Industrial:** conceção, execução e montagem de projetos industriais envolvendo programação de autómatos, software de produção, engenharia de processos e eletricidade;
- **Metalomecânica:** conceção, produção e montagem de componentes mecânicos, especialmente transportadores e acessórios em aço inox para a indústria alimentar;
- **Manutenção Industrial:** manutenção preventiva e curativa de equipamentos industriais;
- **Energias Renováveis:** instalação de soluções de unidades de produção de energia solar fotovoltaica.

Por fim, importa ainda referir que a empresa está dividida em cinco departamentos: Comercial & Marketing; Tecnologia, Desenvolvimento Tecnológico; Produção & Operações; Pessoas & Carreiras; Financeiro & Suporte e, claro, estando a Administração alinhada com todos eles (Figura 9). Emprega mais de 120 colaboradores e perspectiva um valor de faturação anual a rondar os 13,5M €.

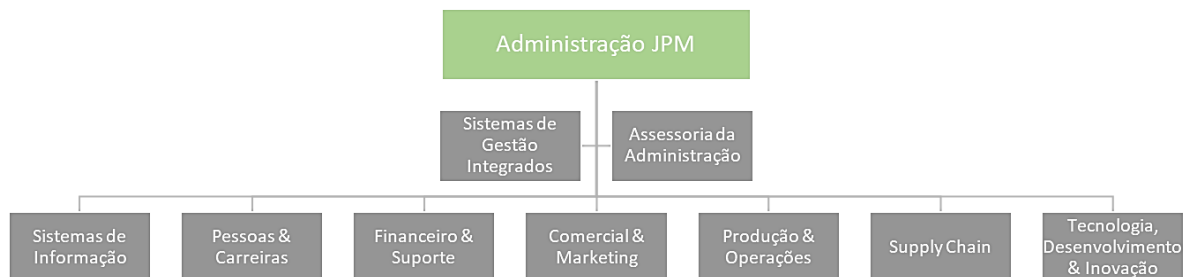


Figura 9: Organograma da empresa JPM Industry.

3.1.2. Produtos

Como já referido, a empresa dedica a sua atividade à prestação de soluções e serviços para responder aos desafios que um ambiente intralogístico oferece, desde transportadores industriais, sistemas robóticos, automação, *software*, equipamentos industriais e máquinas, até projetos chave-na-mão, combinando todas as tecnologias e a integração de terceiros.



Figura 10: Sistema de Paletização.



Figura 11: Enchedora TetraPak.



Figura 12: Transportador Industrial.

3.1.3. Funcionamento da Empresa

A atividade da empresa rege-se, por um lado, pela concepção de projetos específicos, para clientes que procuram soluções ou projetos chave-na-mão, para as suas necessidades de melhoria de produtividade, assumindo-se como uma indústria pouco *standard*. Por outro lado, apresenta-se o fabrico de um conjunto de produtos designados *standard*, sendo que cada peça é identificada por uma referência única. Normalmente, estes são customizados de acordo com as necessidades e exigências do cliente e, portanto, a sua concepção e instalação é também alvo de alguma incerteza, desde o momento da orçamentação até à adjudicação, concepção e/ou instalação.

É então notória uma distinção entre as duas áreas de negócio: a Intralogística que consiste na concepção de soluções industriais e o *Contract Manufacturing* que está assente, maioritariamente, numa produção *standard*.

A Intralogística ou Projetos Especiais – designação correntemente utilizada na empresa – funciona sob um modelo de *Engineering-to-Order*. Estes projetos têm uma longa duração,

dado que são desenvolvidos de raiz de acordo com os requisitos do cliente e várias modificações e testes são necessárias ao longo de todo o processo.

Por outro lado, diariamente, a empresa fabrica componentes para transportadores industriais – produto *standard*. Esta produção funciona sob uma estratégia híbrida, isto é, uma junção de *Make-to-Stock* e *Assemble-to-Order*. Os produtos com elevado *lead time* ou com elevado tempo de entrega por parte do fornecedor são produzidos de acordo com um *stock* mínimo pré-definido, já os restantes produtos são produzidos quando há uma encomenda (projeto) ou uma venda direta. Um projeto contempla a venda dos componentes e a prestação do serviço de instalação. Enquanto uma venda direta corresponde apenas à venda dos componentes.

3.1.4. Processo Produtivo

A JPM possui um processo produtivo que incorpora quase a totalidade das operações necessárias para a conceção e fabrico dos seus produtos, tendo de recorrer a fornecedores externos apenas para operações residuais, como alguns tratamentos de superfícies. Isto permite à JPM uma maior flexibilidade, controlo total do seu processo produtivo, levando a tempos de resposta que satisfaçam os clientes.

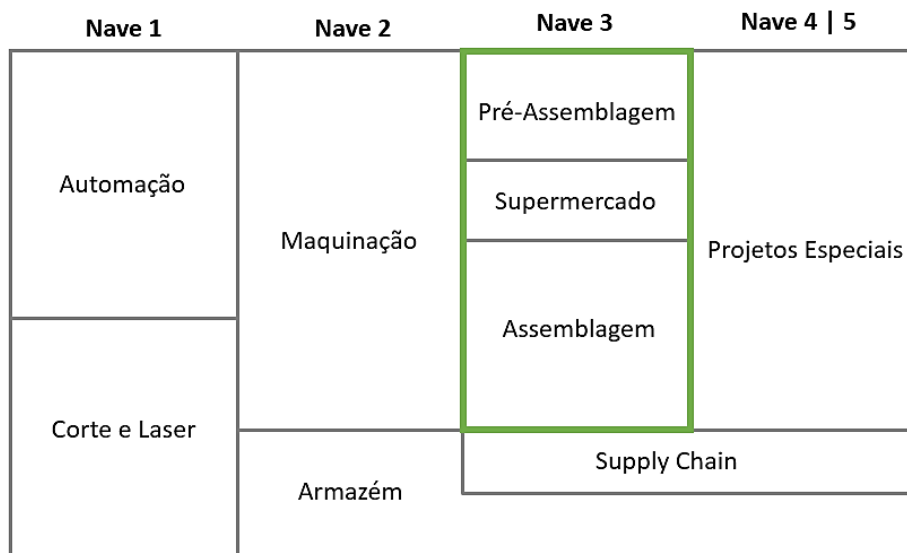


Figura 13: Representação das secções constituintes do chão de fábrica.

O presente estudo foca-se apenas na produção dos produtos *standard*, que embora sigam um processo mais estruturado, continuam a ser produtos de elevada complexidade e sujeitos a diversas operações. Apesar de somente o processo de Assemblagem (Nave 3 -

Figura 13) ser alvo de estudo, é relevante conhecer todo o processo para uma melhor compreensão. Para tal recorreu-se ao VSM como representado na Figura 14.

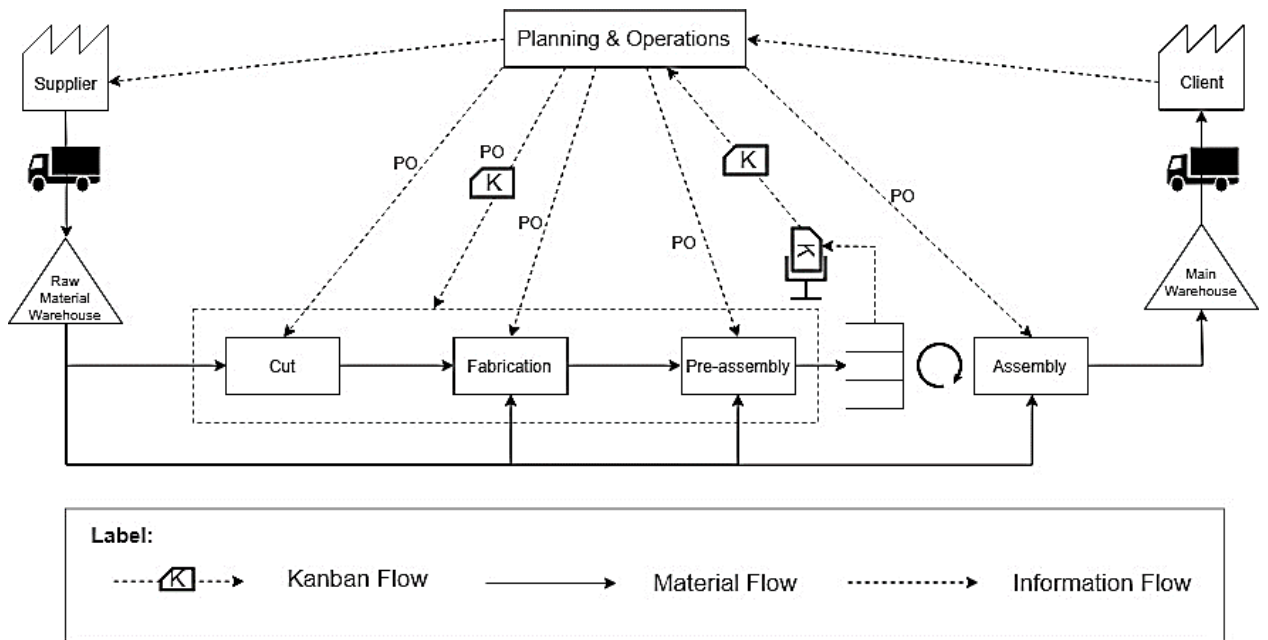


Figura 14: VSM do fluxo de produtos *standard*.

Importa salientar que apesar de ter operações bem definidas, não é um processo linear, ou seja, a produção de um determinado produto pode não incluir necessariamente todas as operações.

Muito sucintamente, o processo inicia-se quando uma Ordem de Fabrico (OF ou, em inglês, *Production Order*) é emitida. O material para cada operação provém da operação anterior e/ou do armazém principal. Uma vez montado, o produto passa por uma inspeção final e é embalado e enviado para o armazém a fim de ser armazenado ou expedido.

Conforme apresentado no VSM, o processo engloba também um sistema *Kanban*. Este sistema é implementado apenas para as referências que são frequentemente utilizadas na fase de assemblagem. Quando no supermercado se atinge a quantidade mínima de uma determinada referência, o Departamento do Planeamento é notificado e responsável pela emissão das respetivas OFs. Após executadas todas as operações necessárias, as peças - referências cuja necessidade foi gerada - são pré-assembladas e transferidas para o supermercado. Porém, o sistema *Kanban* será minuciosamente analisado na secção 4.2.2.

3.2. Enquadramento da Secção de Assemblagem e Descrição da Situação Inicial

Conforme já mencionado, o projeto foi desenvolvido no Departamento de Produção e Operações que está intrinsecamente fundido ao Departamento do Planeamento. Entre as diversas secções que constituem a empresa em chão de fábrica (Figura 13) apenas a secção Assemblagem foi minuciosamente alvo de estudo.

Esta secção é composta por uma zona de Pré-Montagem, onde manualmente os operadores executam as suas tarefas a fim de abastecer o supermercado e, ainda, onde os operadores menos qualificados se dedicam a remover a película do inox e posterior limpeza dos componentes. Tanto o supermercado, como todas as secções anteriores ou até mesmo o armazém principal, servem para abastecer o material necessário na zona da Montagem.

Ambas as zonas são constituídas apenas por bancadas (Figura 15) – centros de trabalho (CT) – que estão divididas consoante a tipologia de produtos, sendo que, por norma, em cada bancada trabalha somente um operador.

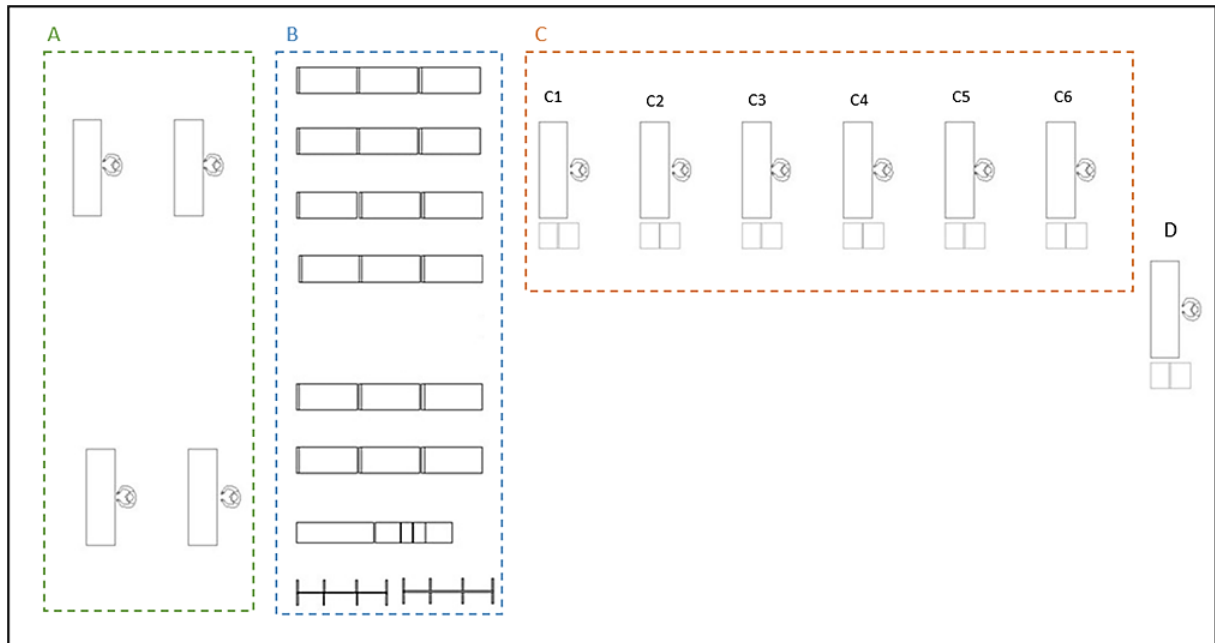


Figura 15: Bancada de montagem.

O planeamento e definição de prioridades é semanalmente analisado entre a equipa do Planeamento e todos os Chefes de Secção, sendo estes responsáveis pela alocação de recursos. Definido o planeamento da Assemblagem, cada operador tem atribuída uma sequência de OFs e, assim, se inicia o processo. Em cada OF consta toda a informação necessária para a produção: data, quantidade, centro de trabalho e a lista de componentes. Note-se que antes do operador iniciar a OF existe todo um trabalho prévio por parte do Operador Logístico (OL) que consiste, essencialmente, em garantir o abastecimento do bordo de linha e de todo o material necessário para o processo.

Quando produzida na totalidade a quantidade indicada na OF esta deve ser imediatamente fechada no *software* PHC. Desta secção o produto acabado pode ter dois destinos: seguir para as secções seguintes a fim de ser assemblado nos equipamentos finais – projetos especiais – ou seguir para o armazém para ser expedido.

Na Figura 16 é ilustrado o atual layout da secção de Assemblagem e são discriminadas as tipologias de produto a que cada CT se dedica, não interessando para o efeito o CT4.



A – Zona de Pré-Montagem e Limpeza
B – Supermercado
C – Zona de Montagem
D – Chefe de Secção

C1 – Straight conveyor | Telescopic conveyor
C2, C3 – Conveyor curve
C4 – Switch | Package trap aero
C5, C6 – Conveyor drives | Belt brake

Figura 16: Atual layout da secção Assemblagem.

3.3. Caracterização do Problema

O problema inicialmente apresentado pela empresa e que representou o ponto de partida deste projeto foram os elevados *lead times*.

Para se identificarem corretamente quais as causas do problema e detetar oportunidades de melhoria foi fundamental compreender em detalhe todo o processo da secção em análise. Porém, dada a grande diversidade de produtos e a elevada complexidade dos mesmos, seria impensável monitorizar todo o tipo de componentes produzidos em apenas

7 meses. Assim sendo, definiram-se três critérios como base para fazer uma seleção dos produtos alvo de estudo: a complexidade do produto (maior complexidade acarreta maior tempo e recursos despendidos), a rotatividade e o interesse financeiro para a empresa. Este último critério traduz-se, por exemplo, no custo dos materiais/matéria-prima.

Posto isto, em parceria com o Orientador da empresa responsável por apoiar o projeto, decidiu-se monitorizar o processo produtivo dos 4 produtos que se seguem. Por motivos de confidencialidade não podem ser mencionados os nomes técnicos, recorrendo para tal à designação “X”.

- **Produto X1**, correntemente designado por acionamento, é o equipamento que vai dar tração à corrente e colocar a linha em movimento, sendo para tal equipado com um motor escolhido consoante a velocidade pretendida. É sem dúvida um dos componentes mais complexos, se não o mais complexo e que, conseqüentemente, implica maiores custos, daí o interesse para a empresa.

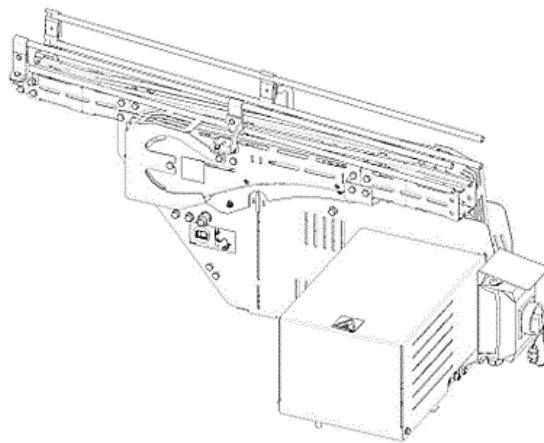


Figura 17: Desenho do Produto X1.

- **Produto X2**, correntemente designado por curva, permite fazer desvios na linha, sendo utilizada sempre que a linha de produção não pode seguir a direito, digamos assim. É das referências mais produzidas anualmente na empresa e abrangem uma grande família, isto é, podem assumir curvaturas desde 45º a 180º, tendo sido para o caso estudada ao detalhe a curvatura de 90º. Portanto, analisando uma referência as melhorias irão aplicar-se a toda a família dado que, independentemente das dimensões, o processo de montagem é o mesmo.

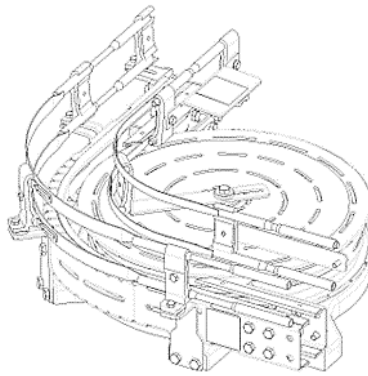


Figura 18: Desenho do Produto X2.

- **Produto X3**, correntemente designado por troço, é utilizado nas partes que seguem em linha reta e serve para interligar todas as máquinas de uma linha. Tal como o produto X2, é dos mais produzidos anualmente na empresa e abrangem uma grande família, isto é, podem assumir comprimentos desde 0,5 metros a 3 metros.

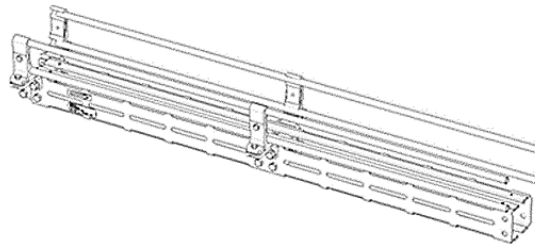


Figura 19: Desenho do Produto X3.

- **Produto X4**, um pequeno kit, que apesar da simples montagem, revela interesse para a empresa, dado que, se produzem cerca de 15 mil unidades por ano - *high runner*. Também este produto pertence a uma família em que o que distingue as diversas referências são as dimensões ou o tipo de apoio.

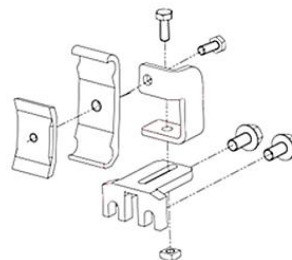


Figura 20: Esquema de montagem do Produto X4.

Após a definição dos produtos que serviram de base para este estudo, tentou perceber-se ao certo qual o impacto deste problema, ou seja, analisaram-se os *lead times* de cada uma das quatro referências a fim de compreender qual a dimensão do problema e que medidas tomar.

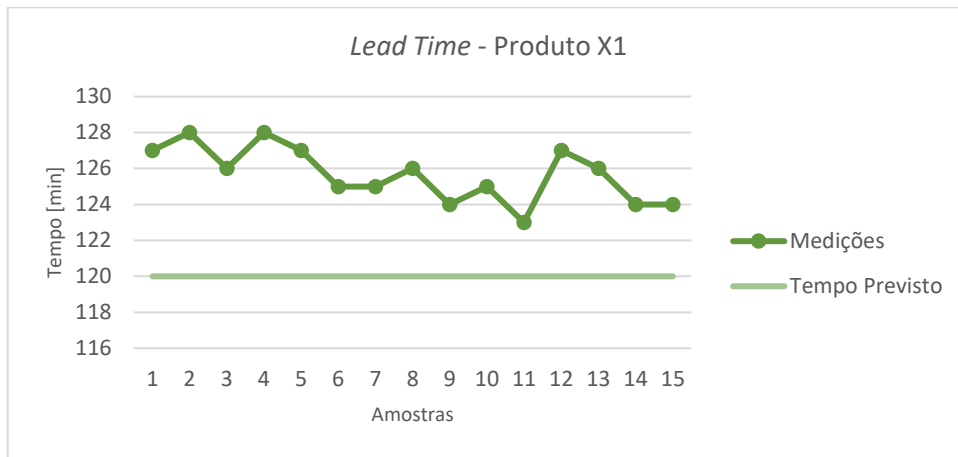


Figura 21: Variabilidade do *lead time* de X1.

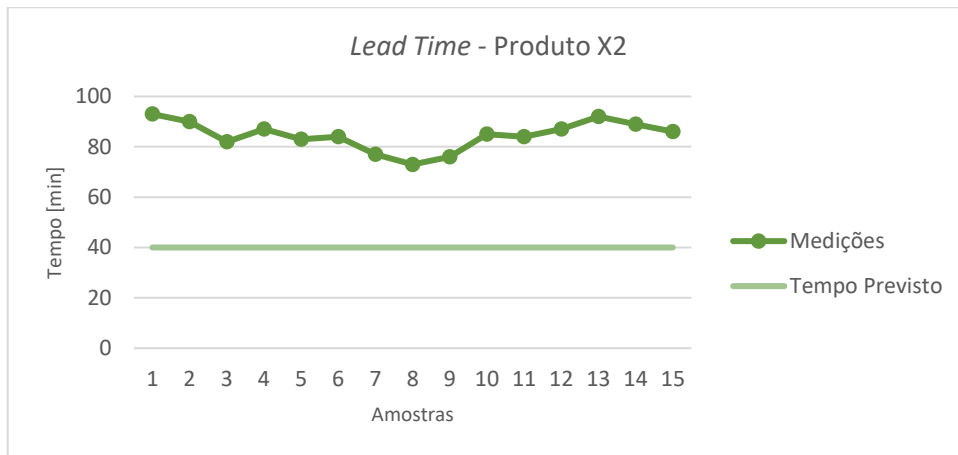


Figura 22: Variabilidade do *lead time* de X2.

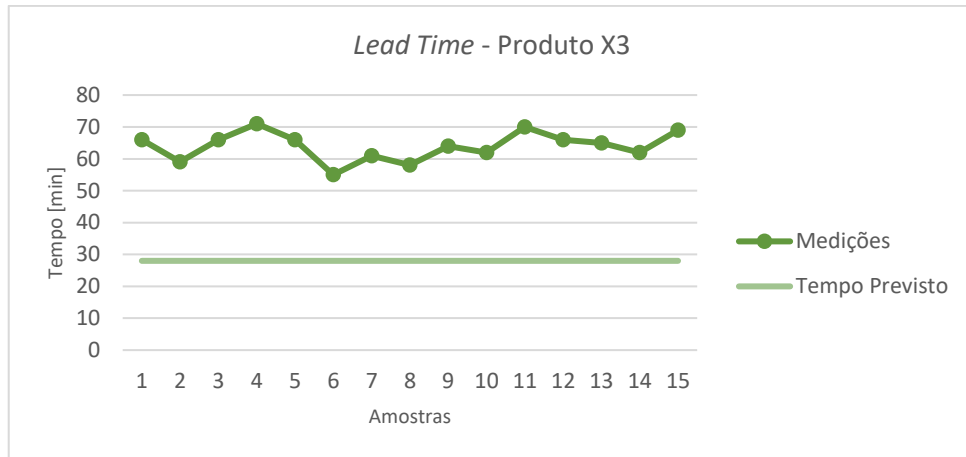


Figura 23: Variabilidade do *lead time* de X3.

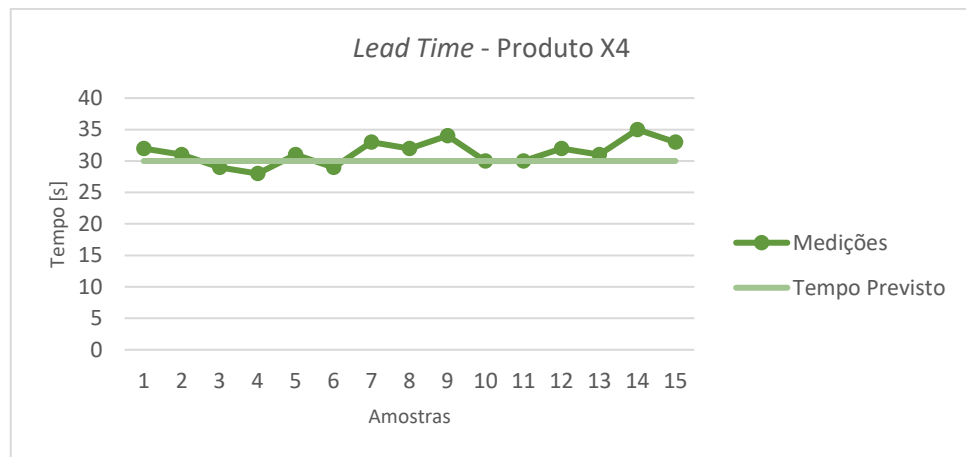


Figura 24: Variabilidade do *lead time* de X4.

Através da Figura 21 é possível perceber que os tempos reais de montagem do Produto X1 são ligeiramente superiores ao que era previsto. Prevê-se que o tempo de montagem de X1 seja 120 minutos, no entanto, as medições demonstraram que o tempo médio de montagem é de 126 minutos, o que corresponde a um desvio de 6 minutos.

No caso dos Produto X2 e Produto X3 o cenário é mais crítico. Analisando as Figuras 22 e 23, respetivamente, é possível perceber que o tempo médio de montagem do Produto X2 é 45 minutos superior ao tempo previsto e que o tempo médio de montagem de X3 é 36 minutos superior ao previsto. Em termos percentuais estes valores revelam uma grande fonte de desperdício.

Já em relação ao Produto X4, Figura 24, tratando-se de uma montagem simples que se prevê que demore apenas 30 segundos, é notório que o registo dos tempos reais não varie tão significativamente como nos casos anteriores.

Perante estes resultados comprovou-se que, de facto, a preocupação da empresa face aos elevados *lead times* é legítima.

4. Definição e Implementação de Melhorias no Processo e Balanceamento das Linhas de Montagem

Seguindo a metodologia proposta pela empresa, o primeiro passo foi então monitorizar o processo produtivo a fim de identificar as principais fontes de desperdício e, conseqüentemente, identificar oportunidades de melhoria que conduzam ao objetivo principal – a redução dos *lead times*.

Este trabalho, que pode dizer-se um trabalho no âmbito da melhoria contínua, é como o próprio nome indica, um trabalho contínuo e que requer muita dedicação, observação e sentido crítico. Posto isto, este capítulo diz respeito a todo o trabalho desenvolvido ao longo do estágio, passo a passo, como se de uma história se tratasse.

A primeira secção é o resultado de muitas horas em chão de fábrica a acompanhar o processo de montagem dos componentes em estudo e que se reflete na identificação dos problemas e respetivas oportunidades de melhoria para cada uma das operações realizadas durante o processo de montagem.

Durante este trabalho em *gemba* foi possível perceber que além dos problemas apontados para cada operação, as constantes paragens dos colaboradores eram também um fator a ter em conta. Portanto, implementou-se o registo de interrupções de trabalho para esclarecer quais as principais causas (segunda secção).

Face aos resultados obtidos desta análise e tendo em conta fatores como o nível de prioridade e o custo de implementação, a empresa delineou quais as principais causas sobre as quais se deveria atuar.

A última secção – reestruturação do layout – constitui o foco do trabalho pois foi o tema que exigiu mais estudo, mais conhecimento da realidade em chão de fábrica e, acima de tudo, porque se bem implementado acarretará um grande ganho para a empresa.

4.1. Monitorização das Operações que constituem o Processo de Montagem e Oportunidades de Melhoria

A fase inicial deste trabalho - monitorização das operações que constituem o processo - constitui toda a base de conhecimento e quanto mais profundo e detalhado for esse conhecimento, mais vantajoso será para as próximas etapas, revelando-se então de extrema importância.

Portanto, este capítulo é o resultado de horas passadas em chão de fábrica a observar diretamente o processo e a questionar os operadores sobre a forma como executam as suas tarefas, principais dificuldades sentidas e, ainda, quais as suas sugestões de melhoria. Quem melhor do que o próprio operador saberá as principais limitações?

Posto isto, de forma muito sucinta, são de seguida apresentadas as operações que compõem o processo de montagem bem como os principais problemas observados e respetivas oportunidades de melhoria.

4.1.1. Operação - Remover Película do Inox

A primeira operação a que a maioria das peças são sujeitas é a remoção da película do inox. Parece uma tarefa simples, como ilustrado na Figura 25, no entanto, esta apresenta um elevado tempo de processamento. Dado esta ser uma atividade de valor não acrescentado, questionou-se a possibilidade de o inox ser comprado sem película protetora. Acontece que até se chegar ao processo de montagem, as peças passam pelo corte, quinagem, maquinação, entre outras operações e, portanto, se o inox não tiver a película protetora há uma maior probabilidade de danos durante o transporte das mesmas.



Figura 25: Remoção da película do inox.

Não havendo a possibilidade de adquirir o inox sem esta película tentou então perceber-se de que forma se poderia facilitar a remoção da mesma. Fez-se uma pesquisa elaborada sobre alguns equipamentos industriais e através do contacto com um fornecedor no ramo, chegou-se à conclusão de que a melhor solução seria a aquisição de um equipamento industrial – uma tina que através da ação do calor e de ultrassons remove a película e a cola.

Foram realizados inúmeros testes e com diversos fornecedores, alguns mal sucedidos ou porque se demorava demasiado tempo a que a tina atingisse altas temperaturas ou porque o solvente, quer alcalino quer ácido, fazia com que as peças ficassem manchadas.

Após a realização de vários testes bem sucedidos e encontrado o melhor solvente para colocar na tina de ultrassons, a empresa decidiu comprar uma mini tina onde se poderiam colocar peças de pequenas dimensões (Figura 26). A ideia principal era verificar se esta solução era efetivamente viável e sem requerer um grande investimento – a mini tina teve um custo de aproximadamente 120€.



Figura 26: Mini tina ultrassons.

Os resultados foram de facto notórios. Considerando como exemplo a remoção da película do produto X4, verificou-se que o **tempo de processamento reduziu 70%**.

Perante tais resultados, a ambição passou a ser a aquisição de uma tina de ultrassons de grande dimensão. Obteve-se orçamento para o desenvolvimento do equipamento industrial, havendo possibilidade de este ser produzido com 3 dimensões diferentes – capacidade de 400L, 600L e superior a 800L.

A escolha das dimensões que mais se adequavam e o cálculo do *payback* para cada uma das opções foi uma análise bastante morosa. Foi necessário listar todas as referências que têm película e, portanto, poderiam ser aplicadas no equipamento – trata-se de mais de 500 referências. Para cada referência importou saber a dimensão a fim de identificar qual a tina em que caberia, bem como a área. Tendo por base um exemplo em que foram realizadas n medições do tempo de processamento da remoção da película, fez-se uma proporção entre a área da peça e o respetivo tempo de processamento. Ou seja, tendo listadas todas as referências e respetivas áreas, através da proporção obteve-se o tempo de processamento total gasto no ano de 2021. À semelhança da mini tina já testada, considerou-se que com o recurso ao equipamento proposto o tempo de processamento iria reduzir 60% – a margem de 10% considera o tempo que o operador demora a colocar as peças na máquina. Tendo em conta o investimento e a poupança (tempo ganho) o melhor *payback* obtido foi de aproximadamente 3,25 anos.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Ganho no Período}} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Tempo de Processamento Reduzido} \times \text{Custo Dia Operador} \times 219}$$

Note-se que 219 corresponde ao número de dias úteis por ano. Por questões de confidencialidade não podem ser mencionados os valores orçamentados, nem o custo dia por operador que permitiu calcular o ganho no período.

Em suma, a aquisição da mini tina mostrou-se uma melhoria cuja implementação apresentou resultados surpreendentes. Espera-se igualmente um cenário positivo em relação à tina ultrassons de grande dimensão, no entanto, o investimento tem de ser apresentado e ponderado pela administração, sendo que até à data do término do estágio nenhuma decisão foi tomada.

4.1.2. Operação - Limpar

Após a remoção da película, verifica-se a existência de pequenos vestígios de cola, havendo assim a necessidade de limpar a peça. Além disso, muitas vezes no final da montagem há também a necessidade de limpar o produto final a fim de evitar dedadas e presença de gorduras ou óleos.

Como principais problemas desta operação apontam-se: demasiado tempo despendido; mão-de-obra que não acrescenta valor; excessivo consumo de papel, aspeto nada positivo no que diz respeito à questão ambiental, tal como se verificou que o papel se degradava muito facilmente, deixando as bancadas cheias de resíduos e apresentando baixa eficiência no processo.

Desta feita, procedeu-se à substituição do papel por panos reutilizáveis, sendo uma empresa (fornecedor) quem garante o abastecimento e manutenção dos panos. Este serviço de “aluguer” revelou-se bastante positivo para a empresa em termos logísticos.

| Ano | Qtd. (rolos) | Preço Unitário | Preço Total |
|------|--------------|----------------|-------------------|
| 2019 | 300 | 10,82 € | 3 246,00 € |
| 2020 | 320 | 10,82 € | 3 462,40 € |
| 2021 | 310 | 10,82 € | 3 354,20 € |
| 2022 | 320 | 13,91 € | 4 451,20 € |

Tabela 1: Consumos de rolo de papel e respetivos custos.

| Tipo de Pano | Preço / semana | Preço Total Anual |
|--------------------|----------------|-------------------|
| Pano de Limpeza | 35,90 € | 1 866,80 € |
| Pano de Acabamento | 25,90 € | 1 346,80 € |
| TOTAL | | 3 213,60 € |

Tabela 2: Previsão de custos para os dois tipos de panos.

Ao longo desta implementação deverá ter-se em conta o consumo de panos e, consequentemente, ajustar a quantidade a encomendar. Na tabela 2 apresenta-se uma estimativa de custos considerando uma quantidade considerável de panos encomendados (contentor com 500 panos). Em suma, verifica-se uma **poupança anual de cerca de 1 200€**.

Teria sido importante quantificar este ganho em valores percentuais, ou seja, perceber qual foi efetivamente a percentagem de tempo ganho nesta operação. Não houve essa avaliação quantitativa, porém, em termos qualitativos e tendo em conta o *feedback* dos operadores pode dizer-se que a implementação desta medida foi uma mais-valia e, claro, bem aceite por todos.

Importa, ainda, referir que antes de se proceder à troca dos rolos de papel pelos panos reutilizáveis, foi dada aos operadores uma formação com os seguintes objetivos: sensibilização para a redução do consumo de papel; explicação dos tipos de panos – limpeza e acabamento; utilização dos contentores e importância da não contaminação (Figura 27).



Figura 27: Contentor com panos limpos vs contentor com panos usados de ambos os tipos - limpeza e acabamento.

4.1.3. Operação - Cravar Rebite

Uma grande maioria dos componentes dos produtos alvo de estudo requerem a cravagem de rebites, sendo esta operação mais significativa na montagem do produto X3.

Quanto à operação de cravar rebite, verificou-se então que o equipamento é “arcaico” (Figura 28), mas os principais problemas são: o facto de só haver uma máquina em toda a secção e esta não ter um local definido – o que faz com que os operadores tenham constantemente de interromper o seu trabalho enquanto aguardam que o OL encontre a máquina e a desloque para o posto de trabalho em que é solicitada; e, ainda, o facto de os operadores terem de manusear as peças, muitas vezes de grandes dimensões, até ao equipamento.



Figura 28: Máquina de cravar rebite existente na empresa.

Foi proposta a definição de uma localização exata para a máquina e, adicionalmente, a aquisição de uma ou mais máquinas que conduzam a menores tempos de processamento. Para tal, pediu-se orçamento a alguns fornecedores com os seguintes requisitos: alimentação de rebite automática; portabilidade, ou seja, cravar rebite com pistola para evitar a movimentação das peças, invés de se deslocar a peça até à máquina, seria a pistola a manusear-se na bancada de trabalho, minimizando o risco de danos.

O melhor *payback* obtido foi de 74 anos, o que claramente não é uma solução na qual a empresa esteja disposta a investir.

4.1.4. Operação - Aparafusar

Em relação à operação aparafusar destacou-se negativamente a questão da ergonomia no trabalho – nomeadamente o impacto que a aparafusadora exerce no pulso do operador e, ainda, o facto de alguns clientes exigirem um aperto específico e as aparafusadoras existentes não o garantirem.

Propôs-se a aquisição de aparafusadora pneumática com controlo de torque, estando esta suspensa de modo a não exercer peso sob o operador (Figura 29).

Uma vez mais, este representa um investimento no qual a empresa não estava disposta a investir no imediato.



Figura 29: Exemplo de bancada com aparafusadora suspensa.

[Disponível em <https://www.europneumaq.com/pt/solucoes/perfil-de-aluminio/bancadas-de-trabalho>]

4.1.5. Operação - Assemblagem de Pequenos Kits

Esta operação não é propriamente uma das etapas de montagem pelas quais os produtos passam, é sim a operação isolada de assemblagem de pequenos kits (*high runners*). Para o efeito observou-se somente a montagem do Produto X4 (Figura30), no entanto, existem cerca de 20 referências destes pequenos kits, sendo as diferenças entre eles pouco significativas.



Figura 30: Assemblagem do Produto X4.

Os aspetos negativos destacados foram a nível ergonómico – lesões músculo-esqueléticas dado ser uma operação repetitiva – e, ainda, o facto de exigir grande concentração pois trata-se de peças de pequenas dimensões e diversos parafusos/fêmeas.

Numa ótica mais inovadora e desafiante, propôs-se em resposta ao primeiro problema, a robotização desta operação – o que pouparia um recurso (operador). Quanto ao segundo problema apresentado, sugere-se o recurso à realidade aumentada - invés de consultar a Instrução de Trabalho, esta seria projetada na bancada, ou seja, uma luz incidiria sobre os materiais a utilizar pela respetiva ordem.

Para ambas as propostas, teria de ser feita uma análise de custos a fim de perceber a viabilidade das mesmas. Estas não representam medidas que a empresa pretende, no entanto, representam trabalho que poderá vir a ser desenvolvido futuramente e, como tal, não podia deixar de ser mencionado.

4.2. Análise das Causas de Interrupção de Trabalho

Ao longo da monitorização do processo produtivo, foi notória a excessiva ocorrência de interrupções de trabalho, o que obviamente é uma fonte significativa de desperdício. Desta feita, durante 4 meses, cada operador da secção de Assemblagem fez o registo de todas, ou quase todas, as paragens e respetivas causas (Anexo A).

Tendo em análise o registo efetuado por todos os operadores, podem identificar-se as percentagens de ocorrência para cada tipo de causa no presente gráfico (Fig.31).

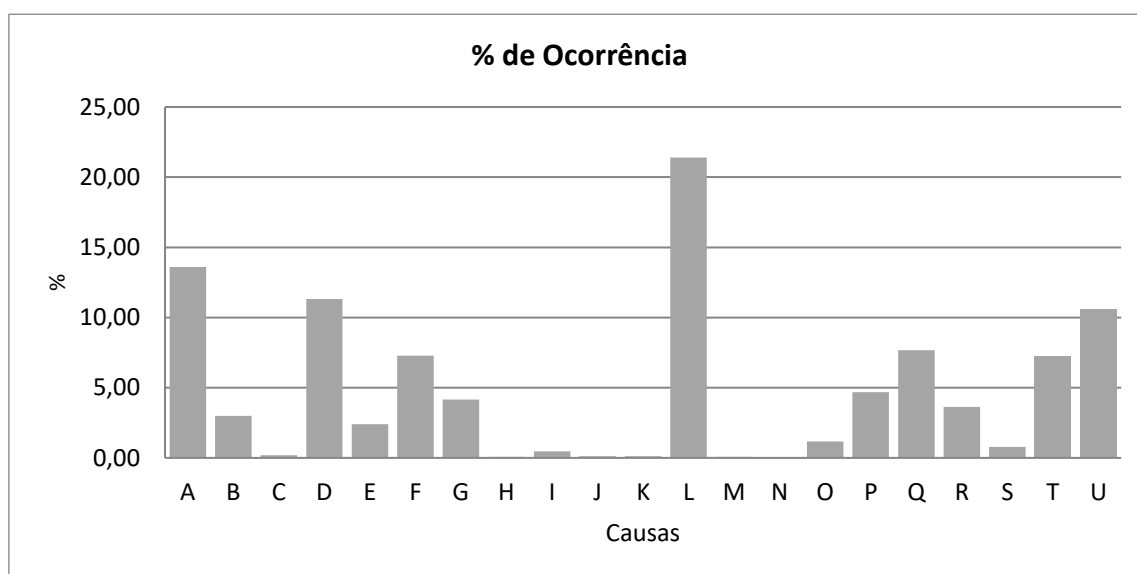


Figura 31: Registo de Interrupções - percentagem de ocorrência para cada tipo de causa.

A - Material não conforme; **B** - Retrabalho (repetição de operação já efetuada); **C** - Operador danifica a peça; **D** - Falta de material (pedido na OF); **E** - Falta de material (não pedido na OF); **F** - Falta de material no bordo de linha (parafusaria, etiquetas); **G** - Falta de consumíveis no bordo de linha (panos, produtos de limpeza); **H**

- Desenho não está na rede; **I** - Desenho não tem as cotas/indicações necessárias; **J** - Falta de instrução de trabalho; **K** - Discordância entre o desenho e o pedido na OF; **L** - Ferramenta em falta (deslocação a outro posto de trabalho); **M** - Ferramenta danificada; **N** - Ferramenta em manutenção; **O** - Solicitado pelo Chefe de Secção; **P** - Espera pelo Operador Logístico; **Q** - Presta auxílio a outro Operador; **R** - Aguarda resposta do software PHC; **S** - Necessidade de esclarecimento (dúvida na operação); **T** - Mudança de Posto de Trabalho; **U** - Deslocação a Outro Posto de Trabalho (computador não operacional ou falta do mesmo).

Para melhor perceber efetivamente a raiz do problema e identificar as causas sob as quais se deve atuar, agruparam-se todas as causas apontadas por categoria, como evidenciado na Tabela 3.

| Categoria | Causas | Total de Ocorrências (%) |
|-------------------|---------------|---------------------------------|
| Falta de Material | D, E, F, G | 25,18 |
| Ferramenta | L, M, N | 21,47 |
| Operador | O, P, Q, R, S | 17,96 |
| Outros | T, U | 17,83 |
| Qualidade | A, B, C | 16,79 |
| Desenho | H, I, J, K | 0,78 |

Tabela 3: Categorias das diversas causas de interrupção e respetivas percentagens de ocorrência.

Através de uma breve análise destaca-se então a falta de material e a falta de ferramenta. A primeira pode dever-se a dois motivos: mau desempenho do OL ou mau funcionamento do Sistema *Kanban* e, conseqüentemente, falta de reposição do supermercado. Perante tais factos pode sugerir-se como solução a criação de rotas para o OL ou, até mesmo, o reforço desta equipa (contratação de mais operadores). Em relação ao Sistema *Kanban*, sugere-se a transformação para *e-kanban* conforme apresentado na secção 4.2.2..

Quanto à falta de ferramenta, a ação de melhoria assentou na metodologia 5s conforme apresentado na secção 4.2.1..

Importa ainda salientar que a categoria Outros, que diz respeito às paragens de trabalho devido à mudança de posto de trabalho e a deslocação a outro posto de trabalho (computador não operacional ou falta do mesmo), corresponde a 17,83% das ocorrências, um peso considerável. Isto vem comprovar e sustentar a ideia de que, de facto, o layout deve ser reestruturado a fim de evitar estas deslocações desnecessárias que evidenciam ser fonte de desperdício.

4.2.1. Falta de Ferramenta

A falta de ferramenta nas bancadas de trabalho pode ser diminuída ou até mesmo solucionada tendo por base a metodologia 5S.

Há um longo caminho a percorrer no que toca à melhoria contínua, porém, no que diz respeito aos 5S a empresa já tem algumas boas práticas implementadas. Nomeadamente, em cada bancada de trabalho existe uma gaveta com a marcação da posição de cada ferramenta constituinte. Note-se que cada bancada tem uma cor atribuída e que as respetivas ferramentas estão pintadas com essa mesma cor.

Acontece que tudo caminha para a entropia e, portanto, apesar das cores sinalizarem a bancada a que cada ferramenta pertence, estas acabam por ser extraviadas.

Posto isto, o trabalho desenvolvido neste âmbito acabou por ser bastante prático e simples. Passou por reunir todas as ferramentas pertencentes à secção de Assemblagem e fazer a devida distribuição consoante as cores indicadas. Repostas as ferramentas nos devidos sítios reparou-se que muitas ferramentas haviam desaparecido, como se pode observar através da Figura 32.



Figura 32: Gaveta de um posto de trabalho com ferramenta em falta.

Foi então atribuída ao Chefe de Secção a função de fazer um levantamento das ferramentas que são necessárias para o processo produtivo e devem, portanto, ser adquiridas e repostas. Bem como a função de identificar as ferramentas obsoletas – que já não são utilizadas ou se apresentam arcaicas – e removê-las de modo a libertar espaço. Apenas importa ter o essencial.

4.2.2. Sistema *Kanban*

Uma das grandes ações de melhoria passa pelo sistema *kanban*, uma vez que, para conseguir produzir o planeado é fundamental repor todos os componentes necessários ao longo do processo de fabrico. É uma mais-valia a utilização da ferramenta *kanban*, dado que, permite implementar um fluxo de informação paralelo ao fluxo do processo e de materiais, mas no sentido oposto, com o apoio visual dos cartões, por exemplo. Ou seja, o *kanban* “puxa” as necessidades de materiais do posto anterior.

A empresa já criou o quadro *kanban* e os cartões, inclusive já foram realizadas tentativas à sua implementação. No entanto, sempre mal sucedidas ou porque as quantidades definidas no *kanban* não eram respeitadas ou porque os operadores, inclusive o OL, não desempenhavam devidamente as suas funções. Desta feita, optaram por automatizar o processo. Contudo, uma das metas da empresa é precisamente melhorar este processo de modo que seja possível controlar o material pelo número de cartões em circulação, sendo visíveis as necessidades de reposição, e permitindo aos operadores obterem informação visual sobre o quê, quando e quanto produzir.

Para solucionar este problema, a estratégia é mapear os processos, com auxílio da ferramenta BPMN 2.0, reconhecendo os fluxos de informação relevantes, as fontes de informação, as pessoas envolvidas e alinhando os referidos elementos. Feito isto, é mais fácil identificar as principais fontes de desperdício e atividades sem valor agregado a serem eliminadas, surgindo, assim, oportunidades de melhoria. Posto isto, surge uma oportunidade de melhoria, através da criação de um sistema de informação autónomo que agiliza o processo, recolhe e centraliza a informação pretendida em tempo real e, também, com recurso à tecnologia RFID.

Portanto, evidencia-se como a ferramenta BPMN é importante no contexto organizacional, pois auxilia no aumento da eficiência de processos, na identificação de atividades que não agregam valor, na determinação de problemas e na proposição de ações de melhoria adequadas. Mais concretamente, mapear todo o fluxo de informação e materiais do sistema *kanban*, identificar os principais desperdícios e evidenciar as vantagens de um processo automatizado com recurso às novas tecnologias.

Metodologia Aplicada | Ciclo de Vida do BPM

Para a resolução deste problema seguiu-se como metodologia o ciclo de vida do BPM. Este é composto por diferentes fases que visam clarificar como é que os processos funcionam. Portanto, um processo passa pelas seguintes etapas: Identificação, Descoberta, Análise,

Redesenho, Implementação e Monitorização e Controlo (Dumas et al., 2018). Note-se que em cada uma das etapas, diversas ferramentas foram utilizadas para atender aos requisitos necessários.

1. Identificação do Processo

Na primeira etapa pretende-se identificar corretamente o processo a ser modelado. Esta fase tem como objetivo conhecer todas as atividades que definem o processo e estabelecer os critérios para definir as prioridades na gestão dos processos. A identificação dos processos contempla a sua designação e a sua avaliação, obtendo-se, assim, um conjunto de processos que agregam valor à organização e outros que, pelo contrário, não agregam valor. Por outro lado, é fundamental perceber que tipo de relações existem entre estes processos e quais as suas principais limitações (Dumas et al., 2018).

Neste caso, perante o registo de interrupções de trabalho e por ser um processo que pode condicionar toda a produção, o estudo incidiu sobre o funcionamento do sistema *kanban*, desde o processo de listar as referências *kanban* em falta e lançamento das respetivas OFs, até ao processo de abastecimento do supermercado. Tendo como foco aprimorar os referidos processos e o fluxo de informações. Para isso, foi importante acompanhar os fluxos dos processos observando as tarefas diárias e quem o responsável por realizá-las.

2. Descoberta do Processo

Na segunda etapa foi feita a descoberta do processo em estudo. Para obter um alto nível de conhecimento sobre um processo, é necessário entender quem são os participantes. Só dessa forma é possível reunir informações detalhadas sobre o processo e então proceder à respetiva modelação e mapeamento. No entanto, nem sempre é fácil obter as informações necessárias para organizar todo o processo e, claro, entrar em contacto com as pessoas responsáveis pode ser um grande desafio.

Para obter informações dos participantes recorreu-se a três métodos diferentes: baseado em evidências por meio de observação direta, análise e pequenas entrevistas informais. Isto é, observaram-se e registaram-se as tarefas realizadas pelos diferentes intervenientes, permitindo desde logo verificar algumas ineficiências. Alguns procedimentos careciam de documentação e, portanto, tentou-se esclarecer algumas dúvidas com as pessoas mais indicadas. Após isto, foi realizada uma triangulação dos métodos para obter maior objetividade, riqueza e *feedback*.

Reunidas todas as informações acerca da atual situação dos processos, todas as suas atividades, relações e barreiras, e recorrendo ao *software Signavio*, foi possível fazer o modelo conceptual As-Is, utilizando o BPMN 2.0. (Anexo B). O que permitiu a visualização das fontes de informação, fluxos, tarefas e pessoas envolvidas.

3. Análise do Processo

Após a realização do modelo conceptual, foi feita a análise do processo. Nesta etapa, as questões associadas ao processo são identificadas e documentadas. O resultado é a identificação de todas as atividades de valor agregado e sem valor agregado, bem como de todos os problemas que devem ser priorizados com base no impacto e no esforço necessário para resolvê-los (Dumas et al., 2018). Para solucionar esses problemas - apresentados no próximo tópico – recorreu-se a uma das tecnologias da Indústria 4.0, RFID, para propor melhorias a fim de melhorar os fluxos de informação e, conseqüentemente, reduzir e minimizar desperdícios, que é o foco da filosofia *Lean*.

4. Redesenho do Processo

Após a identificação dos problemas, deve haver uma melhoria no desempenho do processo, modelando o estado futuro. Portanto, o passo seguinte foi a realização do redesenho do processo As-Is, contemplando as melhorias desejadas, denominado modelo To-Be (Anexo C). O objetivo desta fase é precisamente identificar as oportunidades de melhoria e as mudanças face aos problemas identificados na fase anterior.

Neste caso, o modelo To-Be permitiu a eliminação de algumas tarefas que não acrescentavam valor e, mais importante, permitiu aprimorar todo o fluxo de informação, mais concretamente, o fluxo das OFs.

A proposta do *e-kanban* não foi implementada até à data de término do estágio, portanto, não se aplicaram as duas últimas etapas. Seriam elas:

A **implementação** que passaria por colocar em prática todas as melhorias propostas e aprovadas na etapa de análise. O modelo To-Be passaria de um modelo conceptual para um modelo executável.

A **monitorização e controlo**, fase onde o analista de processos deveria monitorizar o que foi implementado para garantir que está a funcionar de acordo com o modelo conceptual, sendo importante controlar eventuais problemas que possam surgir com as novas mudanças. Espera-se verificar a existência de algum *outlier* e se assim for, um ajuste do

processo deve ser proposto pela inicialização de um novo ciclo, avançando diretamente para a fase de descoberta e análise.

Análise da Situação Inicial e Descrição dos Problemas

Para melhor compreender os resultados desta análise, o primeiro passo é expor o funcionamento do sistema *kanban* na empresa.

No início de cada mês, o responsável pelo Planeamento verifica, através do PHC Enterprise, a listagem das referências *kanban* que têm necessidade de produção gerada. A empresa já teve implementado o sistema *kanban* com recurso à circulação de cartões que despoletavam, visualmente e em tempo real, a necessidade de produzir. No entanto, devido à perda dos cartões e outras tantas falhas, optou-se por automatizar o processo. Ou seja, à medida que os operadores vão registando o consumo de certos componentes, o sistema *Enterprise Resource Planning* (ERP) da empresa, um *software* chamado PHC, recolhe esses dados de consumo e gera assim uma base de dados com todas as referências *kanban* em falta. Voltando ao processo atual, com base nas necessidades de produção geradas, o planeador lança as OFs nas quantidades indicadas. Após a criação das mesmas, estas têm de ser confirmadas e validadas no PHC, impressas e separadas por secção. A produção divide-se nas seguintes secções. Como o estudo incide no sistema *kanban*, não se considerou relevante mapear no modelo As-Is todas as atividades realizadas nas diversas secções, o que seria de extrema complexidade. Optou-se por um modelo mais geral para que fosse de fácil e rápida análise.

Após as OFs estarem separadas por secção, é notificado o OL que tem a função de entregar as OFs aos respetivos chefes de cada secção.

Sempre que um chefe de secção recebe uma ou mais OFs deve verificar se tem em *stock* a matéria-prima ou os componentes necessários para o seu processo produtivo. Se não houver *stock*, o chefe ou um operador a quem tenha sido alocada essa tarefa, deve efetuar um pedido de encomenda e aguardar. O departamento Compras é o responsável por validar e confirmar as encomendas, porém esta entidade não foi representada no modelo As-Is pois não vai interferir diretamente com a produção, mais especificamente, com o sistema *kanban* e abastecimento do supermercado. Caso haja *stock*, quando o operador vai dar início ao processo produtivo deve então iniciar a OF no PHC para registar o tempo. Quando terminada a produção da referência e respetiva quantidade indicada na OF, o operador deve de imediato fechar a OF no PHC para parar o registo de tempo. Observando este processo rapidamente se percebeu que o início e fecho de OFs nem sempre é feito no imediato e, portanto, os tempos de ciclo nem sempre correspondem à realidade. Havendo

também situações em que há esquecimento de iniciar a OF, o que origina muitos registos de apenas 5 segundos e erro nos *stocks*.

Estando a atividade produtiva terminada, o OL é novamente notificado a fim de recolher o material. Portanto, o OL recolhe o material, executa o transporte segundo rotas pré-definidas e, o mais importante, repõe no supermercado todas as referências *kanban* que foram produzidas. Por norma os operadores tentam manter em carrinhos o máximo material possível para assim minimizar o número de deslocações do OL.

No início dos meses seguintes voltar-se-ão a lançar novamente as OFs face às necessidades despoletadas, repetindo-se assim todo este ciclo.

Portanto, com os dados do processo obtidos através da observação das tarefas e de pequenas entrevistas informais, procedeu-se ao mapeamento do processo utilizando BPMN 2.0, modelo As-Is conforme ilustrado no Anexo B.

Após o mapeamento do processo, foi possível uma análise mais clara e visual, o que facilitou a identificação das atividades que agregam ou não valor, dos fluxos de informação e, principalmente, das principais fontes de desperdício. Assim sendo, os **principais problemas identificados** foram:

- As OF's deveriam ser lançadas assim que a necessidade fosse despoletada. No entanto, devido à carga de trabalho e falta de recursos humanos, este processo só é, por norma, executado no início de cada mês. Para evitar rutura de *stock*, o supermercado foi dimensionado para o triplo, porém, esta situação não é a desejável;
- O tempo gasto a imprimir e separar as OFs, além do excessivo uso do papel. Tendo implicações no que toca à questão ambiental, mas também porque este fluxo de informação suportado pelo papel é propício a erros. Por exemplo, pode haver falha humana e a separação e/ou a distribuição serem mal executadas ou pode até mesmo ocorrer a perda de OFs;
- As quantidades em *stock*, que podem ser consultadas no PHC, nem sempre correspondem à realidade. O que dificulta a tarefa de verificar a matéria-prima e os componentes necessários para o processo produtivo, conseqüentemente, será gasto muito mais tempo;
- O facto de a informação não estar disponível a todos os intervenientes e em tempo real.

Portanto, destaca-se um excesso de trabalho manual que não deveria acontecer, pois aumenta o tempo perdido e a probabilidade de ocorrência de erros. Como esta não é uma situação ideal é fundamental delinear uma solução.

Criação do e-kanban

Já foi explicada a importância da modelação de processos para identificar as fontes de atividades sem valor agregado, bem como a importância de utilizar as etapas do ciclo de vida do BPM para facilitar a decomposição e compreensão dos processos. Uma vez reconhecidos os problemas do processo, passa-se então para possíveis melhorias a serem implementadas.

Como mencionado na fase de redesenho do processo, é necessário desenvolver um sistema de informação autónomo que agilize o processo, recolha e centralize a informação pretendida em tempo real. No fundo pretende-se eliminar totalmente o uso de papel e aprimorar os fluxos de informação recorrendo à digitalização, ou seja, eliminar as atividades de imprimir e separar as OFs. Quando uma OF é lançada no sistema, este deve permitir que cada secção, mais especificamente que cada posto de trabalho, consiga visualizar as respetivas OFs.

Além disso, atualmente a informação de que uma certa referência foi produzida e está em *stock* só é atualizada no PHC quando o operador fecha a OF. No entanto, como já mencionado anteriormente, este processo nem sempre acontece no imediato ou pode até ser esquecido. Verificou-se que muitas vezes os operadores, principalmente os chefes de secção, se dirigem a diversos postos de trabalho para saber qual o estado de produção de certa referência pois está a condicionar outras tarefas. O sistema idealizado evitaria esta situação pois em tempo real todos teriam acesso ao estado de produção de cada OF, ou seja, assim que o operador iniciasse a OF essa informação estaria disponível.

Esta proposta de melhoria requer a definição de uma estratégia que considere as limitações dos processos, as possíveis barreiras e ganhos, ou seja, exige uma fase de planeamento da solução a fim de perceber se é ou não viável. Nas primeiras etapas do ciclo de vida do BPM foram apresentados alguns requisitos para este sistema, porém teria de se disponibilizar muito mais tempo de observação em chão de fábrica para um conhecimento total para que se identifiquem todos os requisitos. Portanto, a especificação de requisitos constitui um trabalho que poderá e deverá ser desenvolvido futuramente.

Adicionalmente, propõe-se também a aplicação da tecnologia RFID com o intuito de facilitar e melhorar o trabalho do OL. Este é responsável por recolher o material produzido,

transportá-lo até ao supermercado e garantir o correto abastecimento do mesmo. Para uma correta gestão de *stocks* e de localização do material, o OL tem de recorrer ao PHC e transferir o material do “Armazém 10 – Produção” para o “Armazém 8 – Supermercado”. Com a tecnologia RFID este processo seria mais ágil e seriam eliminados erros de introdução de dados.

A ideia é incorporar pequenas mudanças para que as OFs e o fluxo de informação possam ser tratados automaticamente e em tempo real. No fundo pretende-se implementar ou preparar a implementação do conceito *e-kanban*. Espera-se que este sistema traga eficiência à gestão diária e melhore as tarefas dos diversos operadores.

Muito sucintamente, este conceito de *e-kanban* teria as seguintes **vantagens**: eliminação da perda de cartões *Kanban*; gestão em tempo real dos *Kanbans* em circulação; transmissão bastante mais rápida; a distância que os *Kanbans* têm de percorrer deixa de ser uma preocupação; sistema mais flexível pois permite alterar quantidades e nº de *Kanbans* sem ser necessário alterar todo o sistema; obtém-se um histórico da produção, possibilitando uma melhoria do processo; permite uma gestão em tempo real de toda a produção; possibilidade de alterar a OF. Em contrapartida, deixa de existir um controlo puramente visual e todas os postos de trabalho têm de ter um computador, o que requer um investimento inicial superior.

Pensando ainda nos operadores e em como o trabalho destes pode ser melhorado, torna-se importante falar em formação. Antes da implementação do sistema proposto no modelo To-Be, deve dar-se formação a todos os intervenientes envolvidos. Esta formação será fundamental para a sua boa implementação, tal como para o seu funcionamento. Sendo os principais objetivos clarificar todo o fluxo de informação, para que todos os intervenientes saibam claramente o mapa de fluxo do processo e assim evitar a existência de atividades sem valor acrescentado, tal como, o *stock* não controlado. Outro objetivo é a apresentação do sistema *Kanban*, onde deverá ser explicado o funcionamento básico do sistema, assim como as suas regras e todas as tarefas a realizar pelos intervenientes.

Foram, ainda, definidas algumas **regras** para a implementação do *e-kanban*:

- Paletes que contenham peças com defeitos não podem ser identificadas;
- Nenhum componente pode ser produzido sem que haja autorização de produção por uma OF;
- As quantidades e componentes devem ser produzidos exatamente como especificados nas OFs;
- O princípio FIFO deve ser assegurado em todos os processos.

O cumprimento destas regras é fundamental para o funcionamento do sistema *Kanban*, sendo que o seu incumprimento pode levar a falhas graves que condicionem o seu bom funcionamento e a posterior implementação do sistema a todas as linhas de produção.

A fase de implementação do modelo conceptual To-be para um modelo 100% executável não foi posta em prática até à data do término do estágio. Porém, numa fase posterior e como mencionado na metodologia, seria necessário monitorizar e controlar as melhorias propostas a fim de avaliar o impacto e a viabilidade das mesmas.

4.3. Balanceamento das Linhas de Montagem X1, X2 e X3 e Reestruturação do Layout

Nesta secção procura-se minimizar as interrupções de trabalho devido às desnecessárias deslocações dos operadores e materiais, bem como procura dar resposta ao desafio lançado pela empresa – reestruturação do layout. Constitui no fundo o foco do trabalho, porém será explorado de forma muito sucinta, dado que, neste ponto do documento todo o processo já é bem conhecido. Destaca-se apenas que servirão de base de estudo as linhas de montagem dos produtos X1, X2 e X3.

Numa primeira fase, antes do balanceamento, foi calculado o tempo de ciclo para cada produto. Este tempo de ciclo pode denominar-se como tempo de ciclo desejado pois foi calculado com base na procura. Isto é, considerando como exemplo o produto X3, a empresa pretende produzir 34 unidades/dia para dar resposta à procura, o que se traduz num tempo de ciclo desejado de 847 segundos/unidade. Note-se que os valores da procura foram obtidos através de dados fornecidos pela empresa, mais concretamente, fazendo uma análise da procura diária nos últimos 2 anos e, considerando ainda, que o tempo de produção disponível é 8h/dia.

| Produto | Procura Diária (un) | Tempo Ciclo (s) |
|---------|---------------------|-----------------|
| X1 | 4 | 7200 |
| X2 | 12 | 2400 |
| X3 | 34 | 847 |

Tabela 4: Tempo de Ciclo para cada categoria de produto.

Na base deste trabalho estão muitas horas de observação dos processos de montagem, várias recolhas de tempo por cronometragem, bem como filmagens que permitiram extrair as tarefas que constituem o processo e respetivos tempos de execução.

Após um melhor conhecimento acerca das diversas tarefas elaborou-se para cada produto uma tabela com a lista de tarefas, respectivos tempos de execução e precedências. O que auxiliou na construção dos diagramas de precedência que permitem uma mais fácil análise visual. Importa salientar que a cada tarefa associou-se um número, sendo que estas tarefas podem corresponder a tarefas unitárias ou a grupos de tarefas, mas que têm associadas a ideia de precedência; cada tarefa tem um tempo de execução associado; algumas tarefas podem ser executadas em simultâneo/paralelo.

Na tabela 5 são descritas todas as tarefas do processo de montagem de X3 que apoiou a construção do diagrama de precedência apresentado na Figura 33.

| Tarefa | Descrição | Tempo Execução (s) | Precedências |
|--------|---|--------------------|--------------|
| 1 | Tirar película das laterais. | 1005 | - |
| 2 | Remover vestígios de cola e limpar as laterais. | 870 | 1 |
| 3 | Aplicar perfis nas laterais. | 350 | 2 |
| 4 | Furar perfis. | 115 | 3 |
| 5 | Cravar perfis usando os rebites. | 165 | 4 |
| 6 | Montar uniões usando os parafusos - apertar apenas os parafusos inferiores. | 710 | 5 |
| 7 | Montar dois conjuntos de varandim. | 250 | - |
| 8 | Montar varandim no troço. | 160 | 6, 7 |
| 9 | Colar etiquetas na lateral. | 35 | 8 |
| 10 | Colocar dentro do saco os parafusos e apertar ao tubo guia com a abraçadeira. | 30 | 8 |
| 11 | Limpar todo o equipamento com Protect Metal. | 140 | 9, 10 |
| 12 | Colocar o espaçador entre os varandins do troço. | 10 | 11 |
| 13 | Envolver em filme de bolhas. | 120 | 12 |

Tabela 5: Lista de todas as tarefas do processo de montagem de X3 com respectivos tempos de execução e precedências.

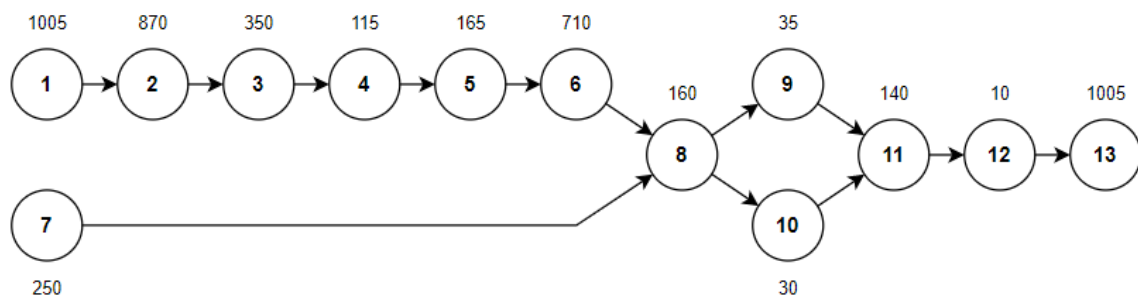


Figura 33: Diagrama de precedência X3 (todas as tarefas).

Ao fazer uma breve análise da Tabela 5, verifica-se que existem tarefas cujo tempo de execução é superior ao tempo de ciclo. Isto significa que existe a necessidade de duplicar esses mesmos postos para assim se alcançar o tempo de ciclo desejado.

Apesar de se ter ponderado, em análise com o Diretor de Produção, duplicar certos postos de trabalho, não foi viável seguir com essa proposta, dado que a mesma implicaria um grande investimento para a empresa – nomeadamente no que diz respeito à aquisição de equipamento e ferramentas, tais como equipamentos de remoção de película, aparafusadoras e máquinas de cravar. Portanto, decidiu-se reforçar apenas o processo de montagem manual propriamente dita, o qual não exigia um investimento tão elevado. Posto isto, o balanceamento centrou-se somente nas tarefas associadas à montagem manual das Linhas X1, X2 e X3.

4.3.1. Linha de Montagem X3

Como mencionado anteriormente, o objetivo é atribuir tarefas aos postos de trabalho no tempo de ciclo pré-definido, minimizando ao mesmo tempo o número de postos de trabalho. A Tabela 6 é exatamente igual à Tabela 5 só que com a eliminação de todas as tarefas que não sejam montagem manual. Com base nela, construiu-se o diagrama de precedência de X3 como ilustrado na Figura 34.

| Tarefa | Descrição | Tempo Execução (s) | Precedências |
|--------|--|--------------------|--------------|
| 1 | Montar uniões usando os parafusos - apertar apenas os parafusos inferiores. | 710 | - |
| 2 | Montar dois conjuntos de varandim - cada conjunto com 2 tubos guia e respetivos <i>kits</i> suporte de varandim. | 250 | - |
| 3 | Montar varandim no troço. | 160 | 1, 2 |
| 4 | Colar etiquetas na lateral. | 35 | 3 |
| 5 | Colocar dentro do saco os parafusos e apertar ao tubo guia com a abraçadeira. | 30 | 3 |

Tabela 6: Tarefas de montagem manual de X3 com respetivos tempos de execução e precedências.

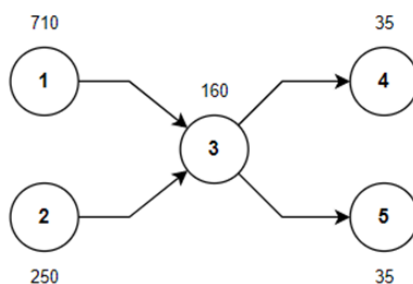


Figura 34: Diagrama de precedência X3 (montagem).

Findada a criação do diagrama de precedência, estão reunidas as condições iniciais para se proceder ao balanceamento da linha.

Devido à pequena dimensão deste problema, foi utilizado um modelo de Programação Linear (PL). A formulação da PLI está relacionada com a alocação de tarefas a postos de trabalho no tempo de ciclo pré-definido, enquanto minimiza o número de postos de trabalho, como já mencionado. Para tal é proposta a aplicação do modelo de PL baseado nos seguintes **pressupostos**:

- A linha é dedicada à produção de um único produto;
- De acordo com o volume de produção e o intervalo de tempo para a produção, há um tempo de ciclo pré-definido;
- A produção do produto segue um conjunto de tarefas, cada uma com um tempo de execução e com regras de precedência entre elas;
- As tarefas são processadas num conjunto de postos de trabalho;
- Uma tarefa só pode ser atribuída a um único posto;
- Existem restrições relacionadas com a compatibilidade e incompatibilidade de executar certas tarefas nos mesmos postos de trabalho;
- Um posto de trabalho pode ser paralelo no máximo uma vez, mas apenas se o tempo de processamento de uma das tarefas, atribuído a esse posto, exceder o tempo de ciclo pré-definido;

Modelo Matemático

É importante que o número de postos de trabalho seja o menor possível, devido à mão-de-obra existente, no entanto, a distribuição equitativa da carga de trabalho entre os vários postos é também relevante. Neste sentido, foi dada a mesma importância a cada uma das componentes da função objetivo do modelo de PL.

No modelo proposto são utilizados os seguintes dados e variáveis:

N: Conjunto de tarefas, $i \in \{1, \dots, N\}$;

Mmax: Conjunto de postos de trabalho, $j \in \{1, \dots, Mmax\}$;

P: Conjunto de precedências;

(pre, pos): Tuplo de relações de precedência entre tarefas, em que a pré-tarefa deve preceder imediatamente a pós-tarefa;

t_i : Tempo de processamento da tarefa i , em segundos;

C : Tempo de ciclo, em segundos;

Variável de Decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o posto é usado} \\ 0, & \text{se não} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se o posto é usado} \\ 0, & \text{se não} \end{cases}$$

Formulação:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^{Mmax} y_j$$

s.a.:

$$\sum_{j=1}^{Mmax} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in N \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i \times x_{ij} \leq C \times y_j, \quad \forall j \in Mmax \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{Mmax} j \times x_{i.prej} \leq \sum_{j=1}^{Mmax} j \times x_{i.postj}, \quad \forall i \in P \quad (3)$$

$$x_{ij} \in [0, 1] \quad \wedge \quad y_j \in [0, 1] \quad (4)$$

O objetivo do problema (função objetivo) é a minimização do número de postos de trabalho.

Este objetivo está sujeito às seguintes restrições: a restrição (1) garante que cada tarefa deve ser atribuída apenas a um posto de trabalho. Por sua vez a restrição (2) garante que

o tempo total de processamento das tarefas atribuídas não excede o tempo de ciclo. A restrição (3) é associada à precedência das operações e que impede que uma tarefa sucessora à tarefa *i* seja atribuída a um posto de trabalho antes do posto em que a tarefa *i* deve ser executada. As restrições (4), são restrições de domínio das variáveis.

4.3.2. Linha de Montagem X2

À semelhança do caso anterior, a Tabela 7 mostra as tarefas de montagem manual do produto X2, bem como os respectivos tempos de execução e precedências. Com base nela, construiu-se o diagrama de precedência de X2 como ilustrado na Figura 35.

| Tarefa | Descrição | Tempo Execução (s) | Precedências |
|--------|--|--------------------|--------------|
| 1 | Em cada disco da curva [020] encaixar as peças [310] e [060]. | 60 | - |
| 2 | Colocar chapa [110] no veio [130]. Aplicar veio [130] no furo do painel inferior [140] pelo lado superior do painel. Colocar anilha [360] e parafuso [330] pelo lado inferior do painel e apertar para fixar o veio. | 85 | - |
| 3 | Fixar ao painel inferior [140] as peças [120] e [125]. | 160 | 2 |
| 4 | Aplicar a lateral [190] e fixar os espaçadores [100] e as peças [170], [040], [160] e [050]. | 1225 | 3 |
| 5 | Encaixar o disco inferior da curva [020] no veio [130]. Colocar o espaçador [030] e fechar a roda com o disco superior [020]. Por fim, colocar anilhas [010] e [380], colocar [050B] e apertar com o parafuso ao veio. | 90 | 1, 4 |
| 6 | Fixar a chapa [150] aos rebites fêmea das chapas [160] e [170]. | 165 | 5 |
| 7 | Fixar kits suporte [110B] no conveyor body. | 60 | 6 |
| 8 | Fixar kits suporte [080B] no conveyor body. | 125 | 6 |
| 9 | Fixar kit suporte [100B] aos varandins [030B] e aparafusar ao suporte varandim [080B]. | 180 | 8 |
| 10 | Aplicar tubos guia dos varandins interno e externo [020B] e [010B] - aparafusar kits suporte e [050B]. | 640 | 7, 9 |
| 11 | Fixar kit suporte [090B]. | 70 | 10 |
| 12 | Colocar peças soltas - [040B] - no saco plástico. | 60 | 11 |

Tabela 7: Tarefas de montagem manual de X2 com respectivos tempos de execução e precedências.

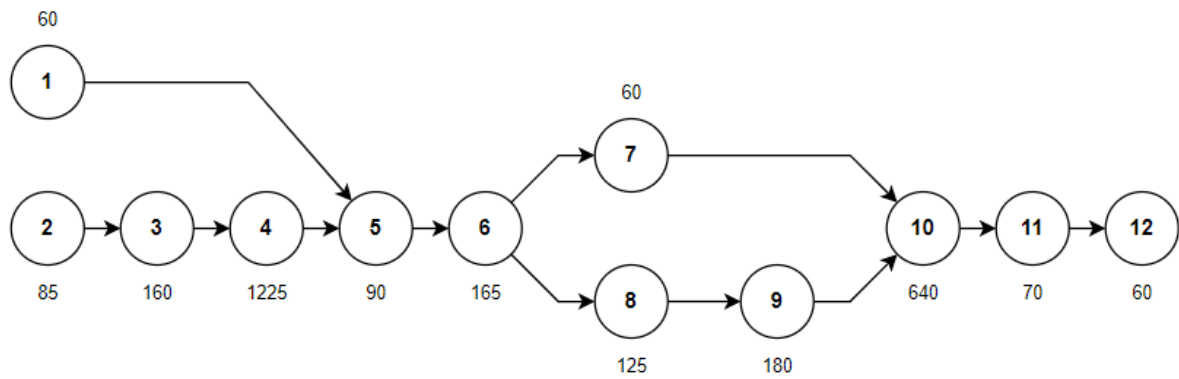


Figura 35: Diagrama de precedência X2 (montagem).

O processo de montagem deste produto é ligeiramente mais complexo do que o anterior porque, de facto, tem um maior número de tarefas executadas. Porém, as tarefas são bastante similares. Existindo somente restrições de precedências, neste problema de PLI aplicou-se exatamente o mesmo modelo matemático apresentado anteriormente.

4.3.3. Linha de Montagem X1

Uma vez mais, elaborou-se a listagem de todas as tarefas de montagem de X1 e respetivos tempos de execução e precedências. Dada a extensão da listagem, a mesma é apresentada no Anexo D.

Na Figura 36 apresenta-se o respetivo diagrama de precedência.

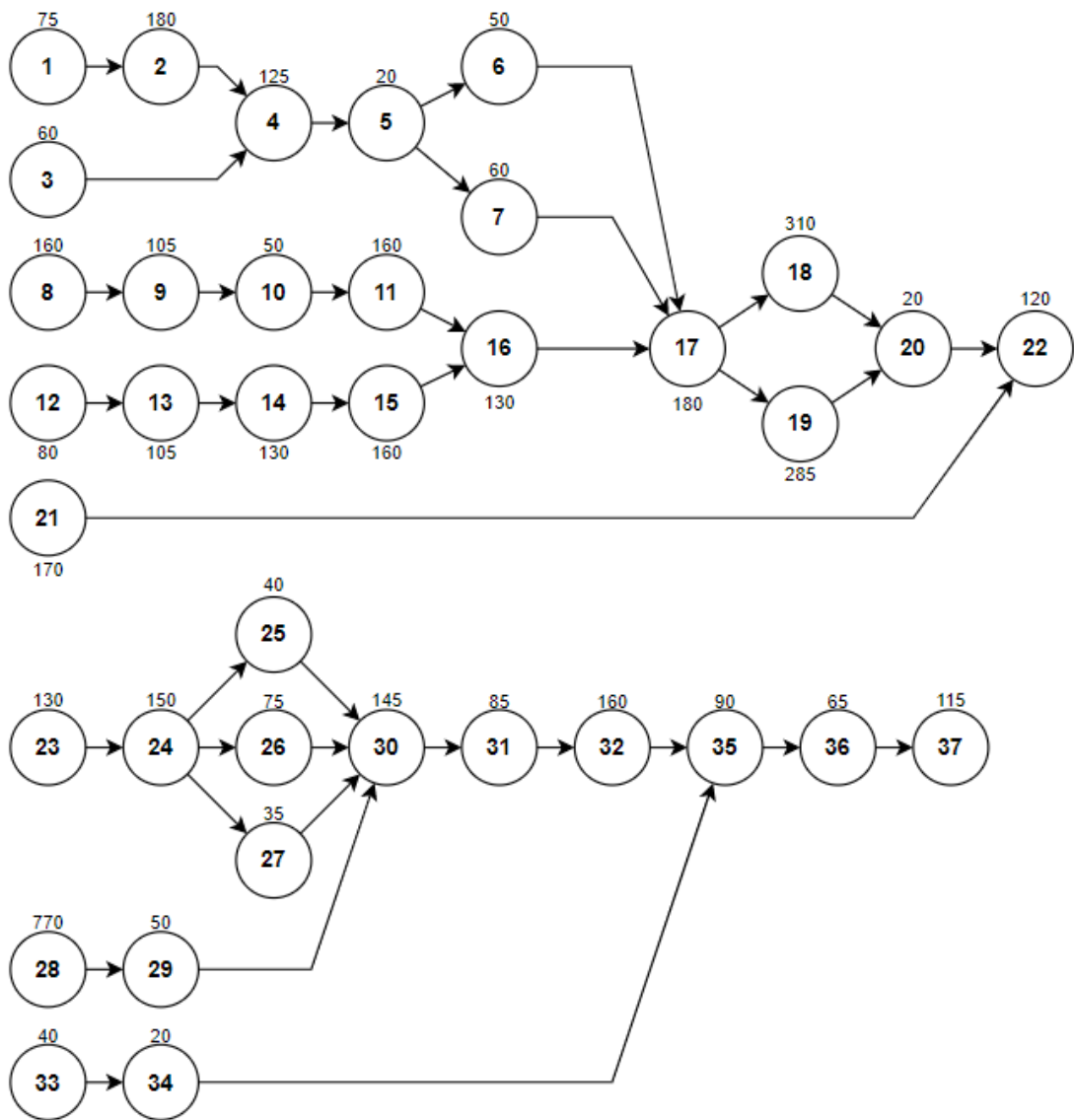


Figura 36: Diagrama de precedência X1 (montagem).

É possível observar que, efetivamente, a montagem do produto X1 é a mais complexa. Realizam-se tarefas com elevado nível de exigência e que requerem também conhecimento mais técnico. Portanto, algumas tarefas têm obrigatoriamente de ser executadas por operadores especializados.

Posto isto, o modelo matemático aplicado para o balanceamento desta linha de montagem é igual ao já apresentado, mas com a adição de uma restrição (5).

No modelo proposto para X1 são adicionados os seguintes dados e variáveis:

AC: Compatibilidade de atribuição, conjunto de tarefas que devem ser atribuídas ao mesmo posto de trabalho;

(tC1, tC2): Tuplo de relações de compatibilidade entre tarefas;

Formulação:

$$x_{i.tC1j} = x_{i.tC2j}, \forall i \in AC, \forall j \in Mmax \quad (5)$$

A restrição (5) define os conjuntos de pares de tarefas que devem ser atribuídos ao mesmo posto de trabalho (tarefas compatíveis). Ou seja, as tarefas que devam ser executadas no mesmo posto de trabalho – neste caso, as tarefas que têm de ser executadas pelos operadores especializados – isto é garantido por esta restrição.

4.3.4. Resultados do Balanceamento das Linhas de Montagem

Os modelos foram implementados e testados em CPLEX- IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio*. Nestes modelos foram contemplados os inputs do problema em questão, tendo sido obtidas as seguintes soluções.

| Posto de Trabalho | Tarefa | Tempo de Processamento da Tarefa (s) | Tempo de Processamento do Posto de Trabalho (s) | Recursos Necessários |
|-------------------|--------|--------------------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | 1 | 710 | 710 | CT1 com computador e ferramenta |
| 2 | 2 | 250 | 475 | CT2 com ferramenta |
| | 3 | 160 | | |
| | 4 | 35 | | |
| | 5 | 30 | | |

Tabela 8: Conjunto de postos de trabalho resultantes do balanceamento da linha X3.

| Posto de Trabalho | Tarefa | Tempo de Processamento da Tarefa (s) | Tempo de Processamento do Posto de Trabalho (s) | Recursos Necessários |
|-------------------|--------|--------------------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | 1 | 60 | 2150 | CT3 com computador e ferramenta |
| | 2 | 85 | | |
| | 3 | 160 | | |
| | 4 | 1225 | | |
| | 5 | 90 | | |
| | 6 | 165 | | |
| | 7 | 60 | | |
| | 8 | 125 | | |
| | 9 | 180 | | |
| 2 | 10 | 640 | 770 | CT4 com ferramenta |
| | 11 | 70 | | |
| | 12 | 60 | | |

Tabela 9: Conjunto de postos de trabalho resultantes do balanceamento da linha X2.

| Posto de Trabalho | Tarefa | Tempo de Processamento do Posto de Trabalho (s) | Recursos Necessários |
|-------------------|--------|---|---------------------------------|
| 1 | 1 - 37 | 4705 | CT5 com computador e ferramenta |

Tabela 10: Conjunto de postos de trabalho resultantes do balanceamento da linha X1.

Tal como minimizar o número de postos de trabalho, minimizar o custo de manuseamento de material reduzindo o material (ou trabalhadores) é um dos objetivos mais comuns, uma vez que diminui os níveis de trabalho em processo e o tempo de produção, reduz os danos do produto e simplifica o controlo do material.

Importa, então, quantificar esse desempenho. Poderia ter-se recorrido a KPI's relacionados com o tempo de produção – tempo de movimento dos trabalhadores, distância de movimento dos trabalhadores, entre outros. Visto que as propostas de melhoria resultantes do balanceamento das linhas de montagem não foram implementadas até à data do término do estágio, teria de recorrer-se a simulações para obter tais dados, o que por sua vez iria requerer bastante tempo. Pensando então numa avaliação mais prática e direta, e como representado na Tabela 11, foram utilizadas as seguintes funções:

- **Eficiência da Linha:** é a relação entre o tempo dos postos de trabalho e o tempo de ciclo multiplicado pelo número de postos de trabalho;

$$Eficiência da Linha (\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C \times Mmax} \times 100$$

Onde t_i é o tempo de execução da tarefa i em segundos, N é o número de tarefas ($i \in \{1, \dots, N\}$) e $Mmax$ é o número de postos de trabalho.

- **Balance Delay:** é a relação entre o tempo ocioso da linha de produção e o tempo disponível;

$$Balance Delay (\%) = \frac{C \times Mmax - \sum_{i=1}^N t_i}{C \times Mmax} \times 100$$

- **Smoothness Index:** é um índice que se torna o índice de refinação relativo de um equilíbrio da linha de produção.

$$Smoothness Index = \sqrt{\sum_{j=i}^{Mmax} (T_{max} - T_j)^2}$$

Onde T_{max} é o tempo máximo do posto de trabalho, e T_j é o tempo dos postos de trabalho.

| Linha | Nº de Postos de Trabalho | Eficiência da Linha (%) | Balance Delay (%) | Smoothness Index |
|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| X3 | 2 | 70 | 30 | 475 |
| X2 | 2 | 61 | 39 | 1695 |
| X1 | 1 | 65 | 35 | 3935 |

Tabela 11: Resultados quantitativos do balanceamento das linhas de montagem X1, X2 e X3.

Através da Tabela 11 é possível concluir que o melhor balanceamento corresponde à Linha X3. Apresenta uma eficiência de 70%, o que para um caso de estudo real é bom. Além disso, um *Smoothness Index* menor significa que a linha de montagem está mais próxima de um

equilíbrio perfeito. Embora este indicador nas Linhas X2 e X3 não seja tão positivo, a eficiência de ambas as linhas revela-se também um bom resultado.

4.3.5. Reestruturação do Layout da Secção Assemblagem

Através de uma abordagem empírica e análise crítica, pretende chegar-se ao objetivo principal de eliminar/reduzir os problemas já identificados – fontes de desperdício. Para tal, consideraram-se os seguintes fatores:

- Fluxos de material;
- Interação entre postos de trabalho;
- Aproximação de restrições;
- Gestão visual;
- Opiniões dos Operadores e Chefe de Secção: foram realizadas entrevistas para compreender que layout seria considerado o mais adequado.

Conforme explicado na secção anterior, procedeu-se ao balanceamento das linhas de montagem tendo em conta somente as operações de montagem manual. Pelo que, as restantes operações permanecerão atribuídas aos postos de trabalho como apresentado na situação inicial. A única alteração proposta é a redução de duas bancadas na zona A, uma vez que esta zona passará a ser somente de pré-montagem. A zona de limpeza corresponderá ao CT_L. O seu posicionamento foi pensado para minimizar a distância percorrida. Ou seja, estando a zona de remoção da película do inox e limpeza mais próxima das linhas de montagem, haverá uma menor probabilidade de as peças se riscarem ou danificarem. O mesmo se verifica para a zona de cravagem, CT_C, que na situação inicial não apresenta sequer uma posição fixa. Tal situação implicava muitas interrupções dado os operadores terem de solicitar ao OL o transporte da máquina para junto do seu posto de trabalho.

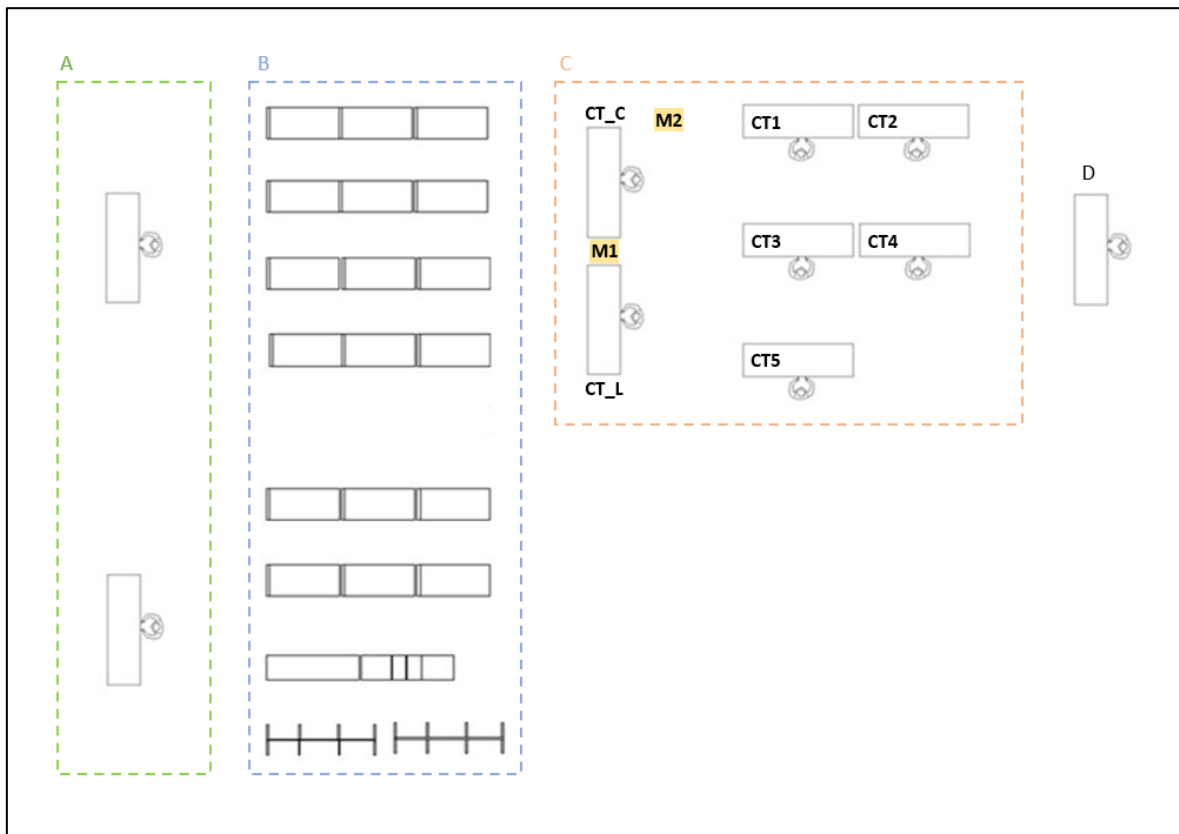
O layout resultante (Figura 37) pode considerar-se um **layout híbrido** pois agrega os conceitos de layout por processo e layout por produto.

Os centros de trabalho CT_L e CT_C dedicados à remoção da película do inox e limpeza e à cravagem, respetivamente, são compartilhados pelas várias tipologias de produto, sendo neste caso um layout por processo.

Em contrapartida, os restantes CTs dedicam-se apenas à montagem de determinadas famílias de produtos, sendo então um layout por produto. Ou seja, CT1 e CT2 são usados para montagem do produto X3, CT3 e CT4 usados para montagem do produto X2 e, ainda,

CT5 usado para montagem do produto X1. Note-se que, esporadicamente, poderá surgir a necessidade de montar um produto não *standard*, porém, dado que as percentagens de eficiência das linhas são inferiores a 100, estas poderão ser utilizadas para esses fins. Reforça-se a ideia de que esta é e deverá ser uma situação esporádica.

Neste layout, as bancadas necessárias para as diversas operações serão as mesmas já existentes. Será apenas exigido que, no mínimo, os CT_L, CT1, CT3 e CT5 tenham instalado um computador.



A – Zona de Pré-Montagem
B – Supermercado
C – Zona de Montagem
D – Chefe de Secção

CT_L – Posto de Limpeza
CT_C – Posto de Cravagem
CT1, CT2 – Linha de Montagem de X3
CT3, CT4 – Linha de Montagem de X2
CT5 – Linha de Montagem de X1
M1 – Máquina de Limpeza Ultrassons
M2 – Máquina de Cravar

Figura 37: Representação do layout proposto.

5. Conclusões, Limitações e Trabalho Futuro

Perante a atual situação competitiva, é importante que as empresas tornem os seus processos mais eficientes, de forma a entregarem ao cliente a melhor solução, respeitando sempre o prazo de entrega.

A empresa na qual se desenvolveu o projeto – JPM Industry – tem investido na modernização e automação dos seus processos de fabrico, apostando na inovação, no desenvolvimento e na utilização de sistemas e metodologias eficientes para assim progredir e se destacar no mercado de trabalho. Para tal, torna-se imprescindível monitorizar de forma constante os processos produtivos para que os mesmos possam ser otimizados. Com esta ambição, ao longo deste estudo procurou-se identificar as ineficiências do processo e as causas para as mesmas, de modo a que pudessem ser eliminadas ou, pelo menos, mitigadas. Neste sentido, o projeto desenvolvido correspondeu à redução dos *lead times* da secção de Assemblagem, a fim de aumentar a eficácia e eficiência do processo, combinando a filosofia *Lean* e o balanceamento de linhas de montagem.

Numa primeira etapa, procedeu-se à análise das operações críticas. Muitas horas em chão de fábrica a acompanhar o processo de montagem e a recolha de conhecimento dos operadores e do seu *know-how* refletiram-se na identificação das principais fontes de desperdício e respetivas oportunidades de melhoria.

Durante este trabalho em *gemba* percebeu-se que além das ineficiências das operações, as constantes paragens dos operadores eram também um fator a ter em conta. Através do registo das interrupções de trabalho, durante 4 meses, foi possível concluir que as principais causas de paragem se deviam à falta de ferramenta e falta de material. Para colmatar tais falhas, aplicou-se a ferramenta 5S face ao primeiro problema. Quanto à falta de material, considerou-se relevante atuar na raiz do problema e, portanto, otimizar o funcionamento do sistema *kanban*.

A verdade é que para se conseguir produzir o planeado é fundamental repor todos os componentes necessários ao longo do processo de fabrico. É uma mais-valia a utilização desta ferramenta, dado que, permite implementar um fluxo de informação paralelo ao fluxo do processo e de materiais, mas no sentido oposto.

Para solucionar este problema, a estratégia passou por mapear os processos, com auxílio da ferramenta BPMN 2.0, reconhecendo os fluxos de informação relevantes, as fontes de informação, as pessoas envolvidas e alinhando os referidos elementos. Feito isto, foi mais fácil identificar as principais fontes de desperdício e atividades sem valor agregado a serem

eliminadas, surgindo, assim, oportunidades de melhoria. Posto isto, surgiu a criação de um sistema de informação autónomo que agiliza o processo, recolhe e centraliza a informação pretendida em tempo real e, também, com recurso à tecnologia RFID.

A utilização do BPM foi crucial para modelar o processo existente bem como possíveis melhorias de forma simples, mais clara e que todos os envolvidos no processo pudessem entender. Permitiu compreender os processos, mas também as pessoas, fluxos e tarefas envolvidas. Ajudou a identificar mais facilmente os problemas, os potenciais de melhoria e alguns requisitos necessários para dar resposta ao problema. Em suma, estabelece a conexão entre processos e sistemas e, neste caso, ajuda a entender onde é que um processo pode ser automatizado.

Não tendo sido possível especificar todos os requisitos, sugere-se como trabalho futuro que a empresa, para desenvolver o novo sistema proposto, defina os requisitos conforme as exigências da área de negócio e analise a sua viabilidade, também em termos económicos. Um dos principais desafios é precisamente integrar todas as fontes de dados para que toda a informação fique disponível na mesma plataforma e em tempo real. Portanto, a solução exposta representa uma conexão entre diversas áreas do conhecimento utilizadas para resolver os problemas apresentados – *Lean Thinking*, Indústria 4.0 e Sistemas de Informação.

Visto que as duas últimas etapas do ciclo de vida do BPM não foram realizadas, outra sugestão de trabalho futuro é, efetivamente, desenvolver essas etapas, nomeadamente redesenhar um possível modelo To-Be que vá mais de encontro às exigências da empresa. Para avaliar o impacto destas medidas e o desempenho do novo sistema, sugere-se a definição de indicadores de desempenho em função das necessidades, mas com foco na melhoria do serviço ao cliente.

Uma vez propostas as medidas a adotar para otimizar as operações de montagem e o funcionamento do sistema *kanban*, passou-se para a macro melhoria.

A secção de Assemblagem dispunha de uma grande área que não era aproveitada ao máximo, havendo inclusive bancadas de trabalho inativas, além disso, sendo o movimento (deslocações desnecessárias) um dos desperdícios do *Lean*, a empresa lançou o desafio de reestruturar o layout. Para tal procedeu-se ao balanceamento das linhas de montagem das 3 famílias de produtos com maior volume de negócio. Desenvolveu-se para o efeito um modelo de PLI em que, visando minimizar o número de postos de trabalho, são alocadas as tarefas respeitando o tempo de ciclo pré-definido.

Relativamente à solução apresentada através do modelo matemático desenvolvido e posterior análise crítica, foi possível concluir que, apesar de estes modelos devolverem a solução ótima, esta solução deve ser sempre adaptada, para posterior utilização em chão de fábrica, pois no *gemba* existem muitas mais variáveis, que são impossíveis de introduzir num modelo teórico. No entanto, este modelo assume-se como um ponto de partida.

Existem múltiplas vantagens de um bom balanceamento de uma linha produtiva: aumentar a produtividade da linha e aumentar a eficiência da utilização dos recursos humanos e materiais, reduzindo assim, os custos de produção e ampliando o lucro para a empresa.

Espera-se que com a implementação do layout proposto, o espaço e a eficiência das linhas sejam otimizados. No entanto, se a cultura da empresa não respeitar a organização do espaço de trabalho e o método, rapidamente se voltará a cair na ineficiência produtiva. Dito isto, rever o layout sempre que possível, utilizando diferentes metodologias de design de layout de forma a eliminar outro tipo de desperdício inserido na linha de produção, constitui trabalho futuro.

Importa referir que o plano de trabalho realizado inicialmente para guiar o desenvolvimento do projeto, não foi totalmente cumprido nos espaços temporais pré-definidos, uma vez que existiam melhorias dependentes da análise e aprovação da Administração, bem como muitas propostas estavam pendentes dos orçamentos fornecidos externamente. No entanto, tendo em consideração o impacto positivo com ações tão simples como a substituição do rolo de papel pelos panos reutilizáveis, pode-se afirmar que os objetivos definidos foram cumpridos. É notório que de entre as muitas ações de melhoria propostas só uma minoria foi de facto posta em prática. Porém, pode-se inferir que o trabalho desenvolvido, enquadrado numa sinergia entre o *Lean Thinking*, melhoria de processos e balanceamento de linhas, foi benéfico para um estudo mais aprofundado do processo produtivo da secção de Assemblagem, que permitiu chegar a propostas de trabalho futuro consideradas relevantes.

A maior dificuldade sentida foi, sem dúvida, o facto de a empresa não priorizar as ações propostas ao longo deste projeto devido ao maior investimento a nível financeiro, bem como a resistência dos operadores à mudança.

Melhorar um processo numa empresa não é fácil. Exige mudar a maneira como as pessoas executam certas tarefas e mudar a mentalidade da própria organização. A resistência à mudança pode representar uma grande barreira. Portanto, a solução proposta deve ser o mais simples possível para garantir que todos tiram o máximo proveito. Os trabalhadores

devem ser envolvidos desde o início nas iniciativas de melhoria. Dessa forma, espera-se que a sua motivação aumente e, portanto, que as mudanças sejam bem-sucedidas.

Por fim, é relevante mencionar que o estágio revelou ser uma verdadeira aprendizagem, não só porque potencializou a aquisição de conhecimento sobre a indústria em questão, mas também porque permitiu desenvolver a capacidade de detetar problemas reais e aplicar metodologias, já teoricamente conhecidas, para a resolução dos mesmos.

Referências

- Abolhassani, A., Layfield, K., & Gopalakrishnan, B. (2016). Lean and US manufacturing industry: popularity of practices and implementation barriers. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 65(7), 875–897. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2014-0157>
- Alif, S., & Aribowo, B. (2019). Line balancing application analysis of generator manufacturing process in DPG Inc. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528(1), 0–8.
- Arromba, A. R., Teixeira, L., & Xambre, A. R. (2019). Information flows improvement in production planning using lean concepts and BPMN na exploratory study in industrial context. Iberian Conference on *Information Systems and Technologies, CISTI*, 2019-June(June), 19–22. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760699>
- Brás, M. (2021). Conceção de layouts industriais para uma PME na indústria eletrónica. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Becker, C. & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European journal of operational research*, 168 (3), 694–715.
- Benešová, A., Hirman, M., Steiner, F., & Tupa, J. (2019). Determination of changes in process management within industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 1691–1696. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.112>
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Mazzuto, G., & Paciarotti, C. (2013). Visual Management implementation and evaluation through mental workload analysis. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 294–299. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00065>
- Butt, J. (2020). A conceptual framework to support digital transformation in manufacturing using an integrated business process management approach. *Designs*, 4(3), 1–39. <https://doi.org/10.3390/designs4030017>
- Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards and Interfaces*, 34(1), 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.06.002>
- Cifone, F. D., Hoberg, K., Holweg, M., & Staudacher, A. P. (2021). ‘Lean 4.0’: How can digital technologies support lean practices? *International Journal of Production Economics*, 241, 108258. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108258>

- Doyle-Kent, M., & Kopacek, P. (2020). Industry 5.0: Is the Manufacturing Industry on the Cusp of a New Revolution? *Lecture Notes in Mechanical Engineering, October*, 432–441. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31343-2_38
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2006). Facility layout problems: A literature analysis. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 389-400.
- Dumas, M., Rosa, M. La, Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). *Fundamentals of Business Process Management* (2nd ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-56509-4>
- Eaidgah Torghabehi, Y., Maki, A. A., Kurczewski, K., & Abdekhodae, A. (2016). Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(2), 187-210. <https://doi:10.1108/IJLSS-09-2014-0028>
- El-Sharef, B., El-Kilany, K. S., & Young, P. (2020). Using BPMN to capture and model complex manufacturing systems. *Proceedings of the 2016 Industrial and Systems Engineering Research Conference, ISERC 2016*, 369–374.
- Imgrund, F., Fischer, M., Janiesch, C., Winkelmann, A., Smuts, H., Kotzé, P., Van Der Merwe, A., Loock, M., Kruger, P., Smuts, H., Jordaan, M., Legner, C., Eymann, T., Hess, T., Matt, C., Böhmman, T., Drews, P., Mädche, A., Urbach, N., ... Reim, W. (2018). Approaching Digitalization with Business Process Management Approaching Digitalization with Business Process Management As technological advancements have made the Internet ubiquitously available. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 59(March), 301–308.
- Kharuddin, M. H., Ramli, M. F., & Masran, M. H. (2019). Line balancing using heuristic procedure and simulation of assembly line. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 17(2), 774–782.
- Lander, E., & Liker, J. K. (2007). The Toyota Production System and art: Making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3681–3698. <https://doi.org/10.1080/00207540701223519>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*.
- Monden, Y. (2012). *Toyota production system: Na integrated approach to just-in-time*. Taylor & Francis Inc.

- Nabli, H. (2009). An overview on the simplex algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 210(2), 479-489.
- Nallusamy, S., and V. Saravanan. 2016. "Lean Tools Execution in a Small Scale Manufacturing Industry for Productivity Improvement- a Case Study." *Indian Journal of Science and Technology*, 9(35).
- Pinto, J. (2009). *Pensamento Lean – A filosofia das organizações vencedoras*. (5ª Edição). Lidel.
- Puvasvaran, A. P., Ab. Hamid, M. N. H., & Yoong, S. S. (2018). Cycle time reduction for coil setup process through standard work: Case study in ceramic industry. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1), 210– 220.
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2017). 5S – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 34(3), 334–361.
- Retamozo-Falcon, G., Silva, J., & Mauricio, D. (2019). Modelo para la mejora de procesos mediante técnicas Lean y BPM en PYMES. *Proceedings of the 2019 IEEE 26th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2019*, 1–4.
- Salvadorinho, J., & Teixeira, L. (2020). The bilateral effects between industry 4.0 and lean: Proposal of a framework based on literature review. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, August*.
- Simaria, A. S. A. (2001). *Uma metodologia para o balanceamento de linhas de montagem* Dissertação de Mestrado. Escola de Gestão do Porto.
- Simaria, A. S. A. (2006). *Assembly line balancing - new perspectives and procedures* Dissertação de Doutoramento. Universidade de Aveiro.
- Sin, A. B., Zailani, S., Iranmanesh, M., & Ramayah, T. (2015). Structural equation modelling on knowledge creation in Six Sigma DMAIC project and its impact on organizational performance. *International Journal of Production Economics*, 168, 105–117. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2015.06.007>
- Stevenson, W. J. (2015). Process selection and facility layout. In *Operations Management* (pp. 272–287). New York: Mcgraw-Hill Education.
- Suzaki, K. (2010). *Gestão de Operações Lean – Metodologias Kaizen para a Melhoria Contínua*. (1ª edição).

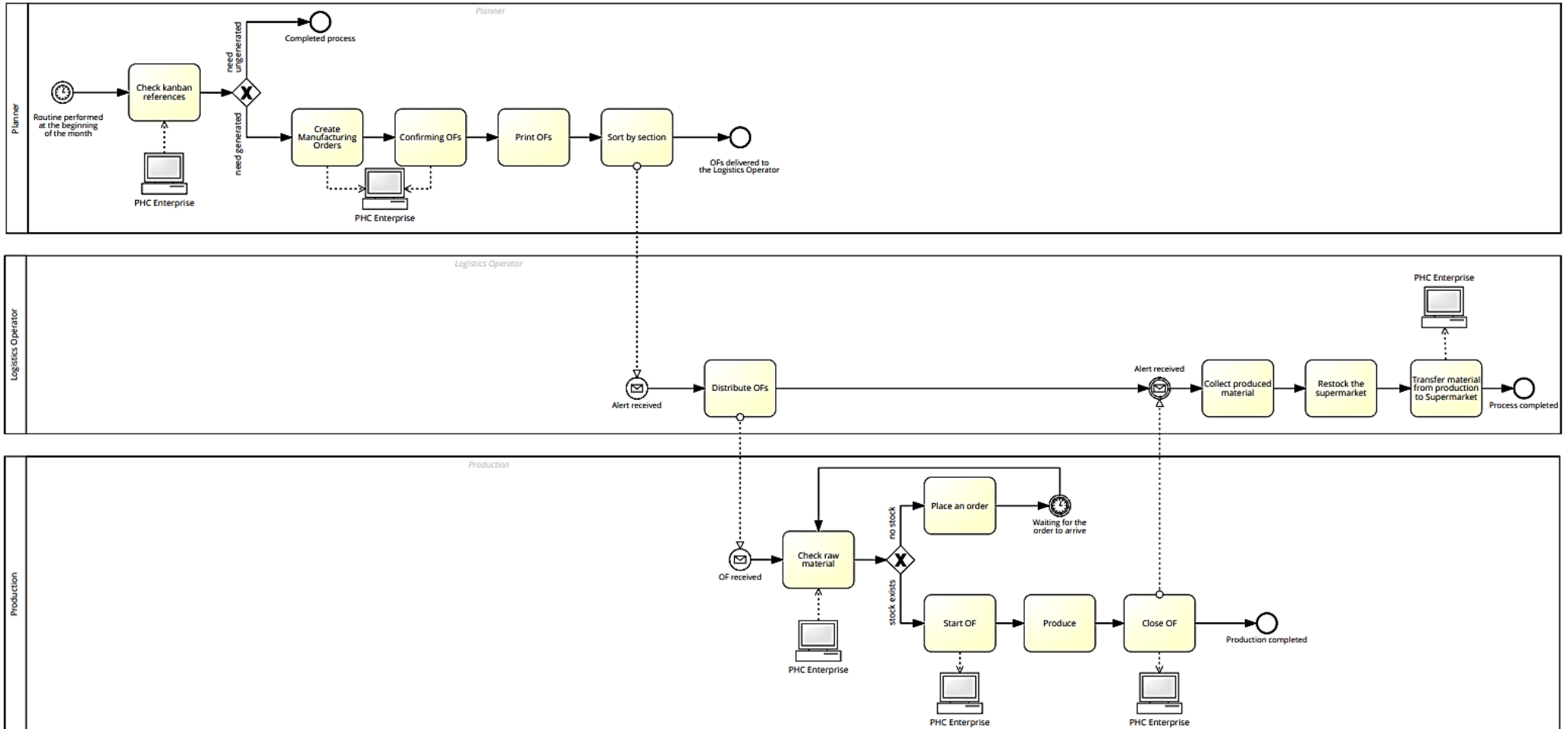
Womack, J. P. & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation (edição revista)*. New York: Simon Schuster.

Anexos

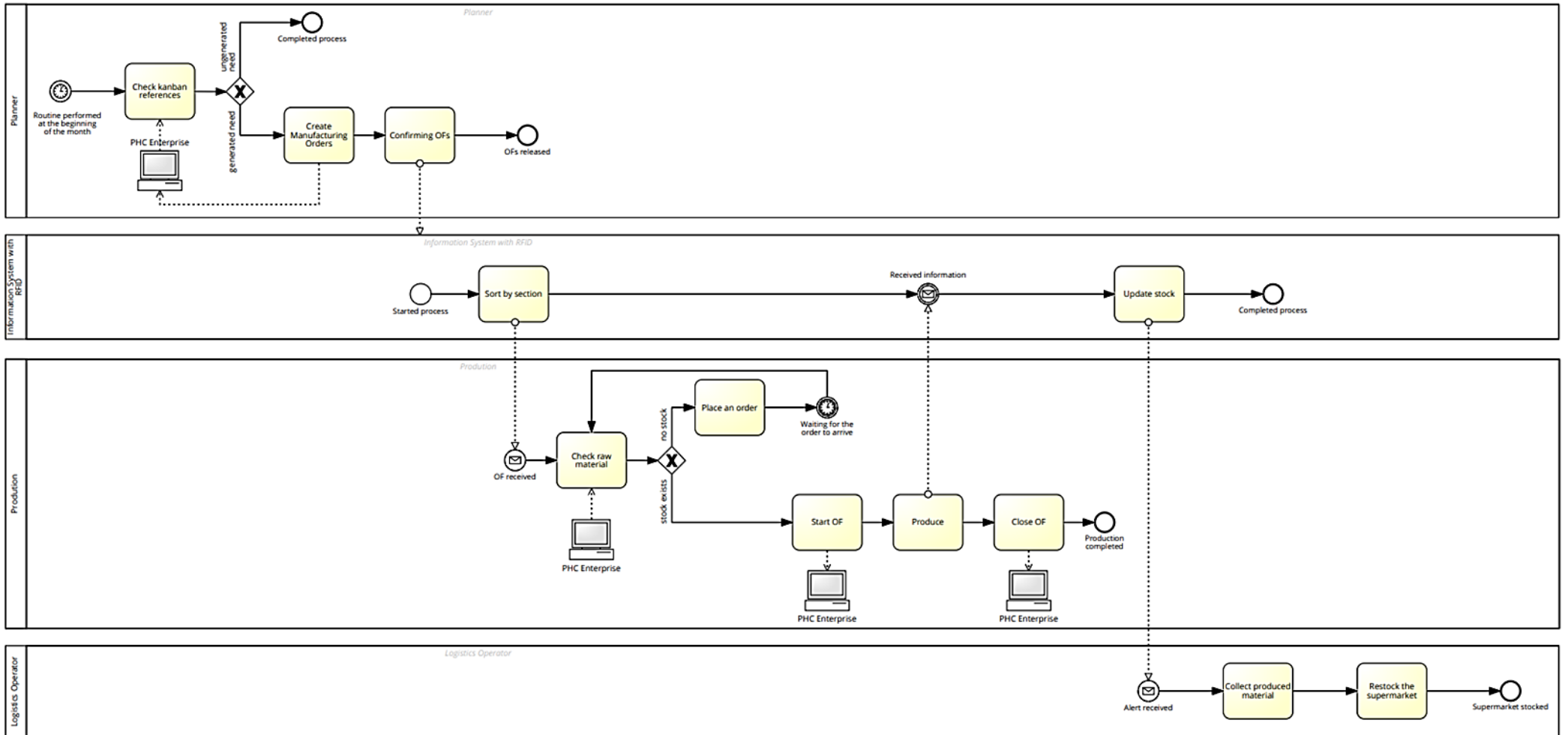
Anexo A. Registo de Interrupção de Trabalho.

| Tipo de Ocorrência | | Operador Dia | 219 | | | |
|--------------------|--|-----------------|-------|--------|-------|--|
| | | | 10/01 | 11/01 | 12/01 | |
| Qualidade | Material não conforme | | | | 11 | |
| | Retrabalho (repetição de operação já efetuada) | | | | 11 | |
| | Operador danifica a peça | | | | | |
| Falta de Material | Falta de material (pedido na OF) | 111 | 11 | | | |
| | Falta de material (não pedido na OF) | | | | | |
| | Falta de material no bordo de linha (parafusaria, etiquetas) | 1 | | 1111 | | |
| | Falta de consumíveis no bordo de linha (panos, produtos de limpeza, ...) | | | | | |
| Desenho | Desenho não está na rede | | | | | |
| | Desenho não tem as cotas/indicações necessárias | | | | | |
| | Falta de instrução de trabalho | | | | | |
| | Discordância entre o desenho e o pedido na OF | | | | | |
| Ferramenta | Ferramenta em falta (deslocação a outro posto de trabalho) | 1111 | 1111 | 111111 | | |
| | Ferramenta danificada | | | | | |
| | Ferramenta em manutenção | | | | | |
| Operador | Solicitado pelo Chefe de Secção | 1 | | | | |
| | Espera pelo Operador Logístico | | | | | |
| | Presta auxílio a outro Operador | | | 11111 | | |
| | Aguarda resposta do software PHC | | | | | |
| | Necessidade de esclarecimento (dúvida na operação) | | | | | |
| Outros | TRAB. DE IMPACTO | 1 | 11 | | | |
| | TRAB. DE CRAVAR | 111 | 11 | 1 | | |
| | REBARBADORA | | 1 | 1 | | |

Anexo B. Modelo As-Is | Sistema Kanban



Anexo C. Modelo To-Be | Sistema Kanban



Anexo D. Tarefas de montagem manual de X1 com respectivos tempos de execução e precedências.

| Tarefa | Descrição | Tempo Execução (s) | Precedências | Restrições |
|---------------|--|---------------------------|---------------------|---|
| 1 | Fixar spacers block [060]. | 75 | - | |
| 2 | Fixar as 3 turning wheel - colocar spacer, anilha, turning wheel e parafusos. | 180 | 1 | |
| 3 | Fixar cover [020] no side plate [080]. | 60 | - | |
| 4 | Fixar cover + side plate na estrutura já montada anteriormente. | 125 | 2, 3 | |
| 5 | Fixar protection [030]. | 20 | 4 | |
| 6 | Colar etiquetas. | 50 | 5 | |
| 7 | Colocar parafusos (sobrantes) no saco plástico. | 60 | 5 | |
| 8 | Colocar chain support [020] e [030]. | 160 | - | |
| 9 | Fixar spacer de modo a unir side plate e sliding curve. | 105 | 8 | |
| 10 | Fixar spacer [010]. | 50 | 9 | |
| 11 | Fixar drive wheel e unir side plates. | 160 | 10 | |
| 12 | Colocar guide [040] e [050]. | 80 | - | |
| 13 | Fixar spacer de modo a unir side plate e sliding curve. | 105 | 12 | |
| 14 | Fixar spacer [010], [020], anilhas e drive wheel. | 130 | 13 | |
| 15 | Unir side plates. | 160 | 14 | |
| 16 | Unir sliding curve e infeed. | 130 | 11, 15 | Tem obrigatoriamente de ser o OP219. |
| 17 | Fixar sliding curve + infeed no chain tensioner. | 180 | 6, 7, 16 | |
| 18 | Montar protection. | 310 | 17 | |
| 19 | Montar chain guard. | 285 | 17 | |
| 20 | Colar autocolantes. | 20 | 18, 19 | |
| 21 | Montar railing kit: colocar tubo no gabari, fixar rail holders, colocar parafusos no saco. | 170 | - | |
| 22 | Fixar railing kit no equipamento. | 120 | 20, 21 | |
| 23 | Fixar brackets [040]. | 130 | - | |
| 24 | Fixar spacer [020]. | 150 | 23 | |
| 25 | Colar autocolantes. | 40 | 24 | |
| 26 | Aparafusar [500]. | 75 | 24 | |
| 27 | Colocar parafusos (sobrantes) no saco plástico. | 35 | 24 | |
| 28 | Corte geral (switch + motor). | 770 | - | Tem obrigatoriamente de ser o OP219 ou 385. |

| | | | | |
|----|-----------------------------------|-----|-------------------|--|
| 29 | Limpar massa do motor. | 50 | 28 | |
| 30 | Fixar motor no motor shelf. | 145 | 25, 26, 27, 29 | |
| 31 | Fixar switch no motor shelf. | 85 | 30 | |
| 32 | Fixar sprocket e hub. | 160 | 31 | |
| 33 | Aparafusar [500], [510] e [520] . | 40 | - | |
| 34 | Colar autocolante. | 20 | 33 | |
| 35 | Aplicar cover [030] no motor. | 90 | 32, 34 | |
| 36 | Aplicar cover [020] no motor. | 65 | 35 | |
| 37 | Fixar cabo e fechar switch gear. | 115 | 36 | |