



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA E
GESTÃO INDUSTRIAL

**Implementação de comboios logísticos
para a melhoria dos processos de
logística interna**

DEFINITIVO

Autor

João Miguel Fonseca da Silva Venda

Orientador

Professor Doutor Silvino Dias Capitão

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, junho de 2022



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E
BIOLÓGICA

Implementação de comboios logísticos para a melhoria dos processos de logística interna

Relatório de Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Autor

João Miguel Fonseca da Silva Venda

Orientador

Professor Doutor Silvino Dias Capitão

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, junho de 2022

AGRADECIMENTOS

A todos que direta ou indiretamente estiveram ligados de alguma forma ao processo deste Relatório de Projeto.

Aos colegas e companheiros que estiveram e estão ligados ao meu percurso profissional, que me ajudaram a crescer profissionalmente e a ensinar desde o mais pequeno pormenor até aos grandes temas debatidos a fundo.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, em particular aos meus colegas e Professores que me acompanharam nestes anos no meu aprofundamento de conhecimentos, e em especial, ao Professor Doutor Silvino Capitão, pela orientação, troca de ideias, compreensão e enorme disponibilidade que permitiram a elaboração deste relatório.

A todos os meus amigos e familiares, pela ajuda e disponibilidade.

Finalmente, aos meus pilares, agradeço à minha família, particularmente à minha mãe, pai e irmã, por estarem sempre comigo, e uma gratidão muito especial, aos meus filhos e esposa pelo apoio, força, ajuda e pelas horas que estive ausente ao longo de todo este período e que me proporcionaram concluir esta etapa académica.

RESUMO

O presente relatório de projeto teve como principal foco a implementação de um comboio logístico e melhoria da logística interna, sustentado pelos princípios e fundamentos teóricos do *Lean Thinking*, apresentando alguns dos seus conceitos e ferramentas para uma melhor interpretação e desenvolvimento do caso prático.

As melhorias expectáveis que advêm deste estudo fomentam a competitividade, promovem a produtividade e qualidade dos produtos, permitindo a obtenção de uma melhor rentabilidade que faça frente a outras empresas concorrentes no mercado.

O caso prático apresentado assenta em parte na presumível realidade de uma empresa industrial, com o intuito de representar algumas das realidades das empresas industriais na generalidade. Para tal, foi feita a análise das necessidades, condições e constrangimentos para uma implementação de um comboio logístico para que o abastecimento às linhas de produção fosse mais eficiente. Foi realizada uma análise que contempla vários cenários de dimensionamento e características do comboio logístico, tendo em conta os fatores equacionados, no sentido de reduzir as movimentações de empilhadores, desperdícios e redução do *buffer* de *stocks*.

No final do relatório de projeto, mesmo com dados hipotéticos, foi possível verificar as melhorias resultantes de uma implementação de um comboio logístico face a uma realidade assegurada por empilhadores, eliminando tempos e movimentações desnecessárias.

Palavras-Chave: *Lean*, Comboio Logístico, Melhoria Contínua, RFID

ABSTRACT

This project report focused on the implementation of a logistic train and improvement of internal logistics, supported by the theoretical principles and foundations of Lean Thinking, presenting some of its concepts and tools for a better interpretation and development of the case study.

The expected improvements from this case study foster competitiveness by promoting productivity and product quality to obtain a better profitability compared to other companies competing in the market.

The presented case study is based on the presumed reality of an industrial company to represent and reflect some of the realities of industrial companies in general. The needs, conditions, and constraints for implementing a logistic train were analysed to guarantee a more efficient supply of the production lines. This case study was carried out assuming various scenarios concerning the design and characteristics of the logistic train, to reduce forklift movements, waste, and reduction of the stock buffer.

At the end of the project report, although based on hypothetical data, it was possible to verify improvements resulting from implementing a logistic train in comparison with a reality managed by forklifts, eliminating unnecessary time and movements.

Keywords: Lean, Logistic Train, Continuous Improvement, RFID

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE QUADROS	viii
SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS.....	ix
CAPÍTULO 1	1
Introdução	1
1.1 – Enquadramento do tema.....	1
1.2 – Objetivos e Metodologia.....	1
1.3 – Estrutura do Relatório	2
CAPÍTULO 2	3
Enquadramento Teórico.....	3
2.1 – <i>Lean Thinking</i>	3
2.1.1 – O Significado de Valor	3
2.1.2 – O Significado de Desperdício	3
2.1.3 – Identificação de Desperdícios.....	4
2.2 – Os princípios <i>Lean Thinking</i>	5
2.3 – Métodos e Ferramentas <i>Lean</i>	6
2.3.1 – <i>Value Stream Mapping</i> – VSM.....	6
2.3.2 – <i>Pull System</i>	7
2.3.3 – <i>Single-Minute Exchange of Dies</i> – SMED.....	7
2.3.4 – 5S's.....	8
2.3.5 – <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> – FMEA.....	9
2.3.6 – 5W2H.....	9
2.3.7 – Sistema <i>Just in Time</i>	11
2.3.8 – <i>Heijunka</i>	11
2.3.9 – <i>Kanban</i>	11

2.3.10 – Supermercados.....	12
2.3.11 – Comboio Logístico	14
2.3.12 – <i>Layout</i> da linha de produção.....	20
2.4 – <i>Radio-Frequency Identification</i> – RFID	22
CAPÍTULO 3	26
Caso de Estudo.....	26
3.1 – Implementação de um comboio logístico	26
3.1.1 – Definição da situação inicial.....	26
3.1.2 – Comparação de percursos.....	39
3.1.3 – Dimensionamento	43
3.1.4 – Comparação de soluções e tecnologias	54
3.1.5 – <i>Layout</i>	56
3.1.6 – RFID	58
CAPÍTULO 4	60
CONCLUSÃO.....	60
4.1 – Síntese do trabalho	60
4.2 – Principais Conclusões, e desenvolvimentos futuros	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
Anexo A - Mapa VSM.....	68
Anexo B - Símbolos usados no VSM	69
Anexo C - FMEA	70
Anexo D - <i>KANBAN</i>	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematização dos tipos de desperdício	5
Figura 2 - Esquematização dos princípios Lean.....	6
Figura 3 - Processo 5S's	8
Figura 4 - Exemplo de um supermercado (Manufactus GmbH, 2021)	13
Figura 5 - Exemplo de rebocador elétrico (JAC International, 2020).....	14
Figura 6 - Exemplo de Rebocador com carruagens (STILL S.A., 2020)	15
Figura 7 - Exemplo de Rebocador com carruagens a curvar (STILL S.A., 2020).....	15
Figura 8 - Exemplo de Rebocador com carruagens a curvar (Revista Logística, 2014)	16
Figura 9 - Comparação de rotas entre o mizusumashi e os sistemas tradicionais de abastecimento (Coimbra, 2013)	17
Figura 10 - Layout com implantação em células de fabrico (Courtois, Pillet, & Martin- Bonnefous, 2007)	22
Figura 11 - Componentes de um sistema RFID (Airsec, 2021).....	23
Figura 12 - Espectro de radiofrequência (Hunt, Puglia, & Puglia, 2007)	24
Figura 13 - Diagrama do fluxo de informação	27
Figura 14 - Exemplo de secção de chapa (Truninger AG, 2021)	28
Figura 15 - Exemplo de corte longitudinal de chapa (Heinrich Georg GmbH, 2021).28	
Figura 16 - Exemplo de corte de formatos (Heinrich Georg GmbH, 2021).....	29
Figura 17 - Exemplo de fabrico de tubo (EFD Induction, 2021).....	29
Figura 18 - Exemplo de máquina de corte (BLM Group, 2021)	29
Figura 19 - Exemplo de montagem (Shark Consulting, 2021)	30
Figura 20 - Exemplo de robôs de soldadura (Shark Consulting, 2021)	30
Figura 21 - Exemplo de máquina de dobragem (Transfluid Maschinenbau GmbH, 2021)	31
Figura 22 - Exemplo de máquina de prensa hidráulica (NingBo Goanwin Machinery Manufacturing Co., Ltd., 2021)	31
Figura 23 - Exemplo de controlo visual (PlanetCarsZ, 2021)	32
Figura 24 - Exemplo de monólitos cerâmicos (Car Stereo, 2021).....	32

Figura 25 - Exemplo de passadeira com monólitos (Warsztatowiec.info, 2021)	33
Figura 26 - Exemplo de secção de montagem (TWG Exhaust, 2021)	33
Figura 27 - Exemplo de soldadura manual (Shark Consulting, 2021)	34
Figura 28 - Exemplo de soldadura robotizada (Gasori, 2021)	34
Figura 29 - Layout hipotético do projeto	35
Figura 30 - Movimentação do empilhador aos vários locais. Adaptado de (Coimbra, 2013)	39
Figura 31 - Layout hipotético com representação do percurso do comboio logístico	40
Figura 32 - Movimentação completa do comboio logístico. Adaptado de (Coimbra, 2013)	41
Figura 33 - Exemplo de caixas KLT (Disset Odiseo, 2021)	50
Figura 34 - Exemplo de contentor usado pelos empilhadores (Packaging Revolution, 2021)	51
Figura 35 - Exemplo de um porta-paletes (Linde Material Handling, 2021)	55
Figura 36 - Exemplo de um stacker (Linde Material Handling, 2021)	55
Figura 37 - Exemplo de um veículo de orientação automático – AGV (Fedorko, Molnar, Honus, Neradilova, & Kampf, 2018)	56
Figura 38 - Reformulação de novo layout	57

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1 - Exemplo de lista de verificação de 5W2H (Pinto, 2014).....	10
Tabela 2 - Comparação entre o mizusumashi e os sistemas tradicionais de abastecimento (Pinto, 2014).....	18
Tabela 3 - Análise SWOT (Burganova, Grznar, Gregor, & Mozol, 2021)	19
Tabela 4 - Comparação entre produção contínua e produção descontínua (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).....	21
Tabela 5 - Comparação entre modelos de organização da produção (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).....	21
Tabela 6 - Comparação entre a tecnologia RFID e um sistema de códigos de barras (Finkenzeller, 2010).....	24
Tabela 7 - Distância em percursos com repetição de quatro vezes ao dia	36
Tabela 8 - Distância em percursos com repetição de dez vezes ao dia.....	36
Tabela 9 - Distância em percursos com repetição de hora a hora	37
Tabela 10 - Tempo em percursos com repetição de quatro vezes ao dia.....	38
Tabela 11 - Tempo em percursos com repetição de dez vezes ao dia	38
Tabela 12 - Tempo em percursos com repetição de hora a hora.....	38
Tabela 13 - Percursos do comboio logístico	41
Tabela 14 - Resumo das paragens do comboio logístico.....	43
Tabela 15 - Tempos de carga e descarga considerados	44
Tabela 16 - Tempos de paragem considerados	44
Tabela 17 - Definição de variáveis para os vários cenários	45
Tabela 18 - Resumo dos resultados obtidos para os vários cenários	49
Tabela 19 - Ocupação por carruagem num percurso com 9 paragens	52
Tabela 20 - Ocupação por carruagem num percurso com 8 paragens	53
Tabela 21 - Comparação da situação inicial (empilhadores) e com um comboio logístico	54
Tabela 22 - Percursos do comboio logístico em novo layout	58

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

5S - Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu and Shitsuke

5W2H - Who, What, Where, When, Why, How and How much

AGV - Automated Guided Vehicles

ERP - Enterprise Resource Planning

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis

JIT - Just In Time

RFID - Radio-Frequency IDentification

SMED - Single-Minute Exchange of Dies

SWOT - Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

TPS - Toyota Production System

VSM - Value Stream Mapping

CAPÍTULO 1

Introdução

1.1 – Enquadramento do tema

A metodologia *Lean* é globalmente uma mais-valia para as empresas, sendo cada vez mais estudada e equacionada no seio das empresas. Presentemente, é quase indispensável as empresas terem na base dos seus processos uma ou outra ferramenta *Lean* e respetivos conceitos implementados e interiorizados, na procura da melhoria contínua e do seu reposicionamento no mercado, para alcançar níveis de excelência.

Este projeto surgiu para analisar a situação típica de uma empresa, com necessidade em alterar os seus processos de logística interna, estudando a viabilidade de implementação de um comboio logístico e as suas implicações, por forma a reduzir custos e *stocks*, colmatar possíveis faltas de matérias-primas e melhorar a produtividade. Além disso, o tema é de interesse pessoal do candidato, por ser global e desafiante, o que lhe permitirá estudar e apresentar soluções em empresas onde venha a desempenhar funções.

1.2 – Objetivos e Metodologia

O presente projeto tem como objetivo abordar os processos e conceitos inerentes à implementação de comboios logísticos. Para análise da implementação, são abordadas várias ferramentas da metodologia *Lean*, com o objetivo final de melhoria dos processos de logística interna.

A metodologia adotada foi, numa fase inicial, fazer um levantamento dos possíveis problemas e necessidades à implementação de um comboio logístico numa empresa em concreto, focando-se principalmente na redução de desperdícios e aumentando a produtividade. De seguida, à medida que se desenrolava a análise crítica à bibliografia existente e aos conceitos teóricos, foi-se estruturando o relatório com as ferramentas com interesse e suscetíveis de fornecer suporte à implementação de um comboio logístico.

Por força das circunstâncias, ainda numa fase inicial e com algum trabalho já realizado, deixou de ser possível aplicar as metodologias a um caso de estudo concreto como tinha sido planeado, pelo que teve de se optar por uma análise mais genérica de implementação de um comboio logístico, adaptando as propostas, soluções e melhorias a um contexto de estudo mais geral.

Por fim, antes de ter sido feita a análise aos resultados obtidos para os diferentes cenários simulados, foi estabelecido o circuito e movimentação de produtos e identificados os clientes internos de cada secção e foram também determinadas as distâncias e tempos utilizados pelos empilhadores. Esta análise foi efetuada comparando as mesmas distâncias e tempos para a situação inicial e para o cenário de existência de comboio logístico. Nos cenários avaliados para a implementação do comboio logístico, consideraram-se várias paragens possíveis em função do nível de atividade e dos percursos, contabilizando os tempos de percurso, de descargas e de paragens, e avaliou-se a ocupação das carruagens.

1.3 – Estrutura do Relatório

O relatório está estruturado em quatro capítulos e quatro anexos.

No presente capítulo, o primeiro, é feito um enquadramento do tema, são identificados os objetivos propostos e a metodologia adotada para atingir esses mesmos objetivos. Por fim, é apresentada a estrutura do relatório.

No segundo capítulo, é feita uma resenha do estado da arte, descrevendo as ferramentas e a metodologia *Lean*, conceitos que serviram de base ao relatório, assim como uma síntese da tecnologia RFID.

No terceiro capítulo, é explanado um caso de estudo, servindo de base ao tema de implementação de um comboio logístico, comparando-se cenários e tecnologias, no sentido de ponderar as opções e as dificuldades na implementação do comboio logístico.

Finalmente, no quinto capítulo, são apresentadas as principais conclusões e as perspetivas de desenvolvimentos futuros.

Os quatro anexos apresentados ilustram as ferramentas VSM, FMEA e *KANBAN*.

CAPÍTULO 2

Enquadramento Teórico

Neste capítulo são abordados os conceitos teóricos que servem de base ao estudo realizado, orientando a análise para soluções e possíveis questões na implementação de um comboio logístico. Assim, são brevemente explanados os fundamentos da metodologia *Lean* e ferramentas inerentes que podem ser basilares no objetivo da implementação de comboios logísticos, assim como a tecnologia RFID (identificação por radiofrequência).

2.1 – *Lean Thinking*

A designação *Lean Thinking* (“pensamento magro”), segundo Pinto (Pinto, 2014), terá tido origem em Womack em 1996 (Womack & Jones, 2003), que passou a referenciar o termo mundialmente aplicado à filosofia de liderança e gestão, orientada para a eliminação do desperdício e criação de valor.

As suas raízes advêm do *Toyota Production System* (TPS), criado por Ohno, inicialmente aplicado ao sector da indústria automóvel, assentando na melhoria contínua e no respeito pelas pessoas (Ohno, 1988).

2.1.1 – O Significado de Valor

O valor de um produto ou serviço, quando se refere à satisfação, é um conceito redutor. “Valor é tudo aquilo que justifica a atenção, o tempo e o esforço que dedicamos a algo” (Pinto, 2014). Nas organizações, o valor gerado é o que satisfaz todas as partes interessadas (acionistas, clientes, colaboradores, sociedade, etc.).

É importante referir que uma definição de valor deve ser clara, inequívoca e completa (Oehmen, 2012). É a perceção que damos ao produto ou serviço, da compensação que se obteve em troca do que foi pago, e da satisfação da compra do produto ou serviço.

2.1.2 – O Significado de Desperdício

O desperdício é tudo o que não acrescenta valor, quer nas atividades que consomem recursos, quer nas atividades que consomem tempo. Atualmente, e de uma forma transversal na indústria, uma grande percentagem do tempo despendido numa organização é em atividades que não acrescentam valor. A capacidade de identificar

e eliminar desperdícios é uma habilidade crítica e fundamental para o *Lean Thinking* (Oehmen, 2012).

Na perceção e identificação criteriosa desse desperdício podemos distinguir o puro desperdício, totalmente desnecessário, como reuniões onde não foram tomadas decisões, paragens e avarias; e o desperdício necessário, que tem de ser realizado para a normal laboração da organização, como *setups* ou inspeções de matéria-prima.

“A redução de desperdícios é uma das questões fundamentais na sustentabilidade das sociedades modernas” (Nikolicic, Kilibarda, Maslaric, Mircetic, & Bojic, 2021).

2.1.3 – Identificação de Desperdícios

Os sete desperdícios manifestados pela Toyota, descritos por Shingo e Suzaki, que foram identificados e foram resultantes do desenvolvimento do TPS são (Shingo, 1981); (Suzaki, 2010):

- Excesso de produção – na realização de sobreprodução, ou seja, que não é necessária, quando não é necessária, em quantidades desnecessárias. Quando existe um desequilíbrio da produção com lotes desajustados.
- Esperas – o tempo que pessoas e máquinas não estão a produzir, perdendo rentabilidade produtiva, devido a avarias de máquinas, a acidentes, e a atrasos dos fornecedores.
- Transporte – as atividades que não acrescentam valor, em que crescem os custos e tempo de fabrico, e aumenta o risco de danos.
- Desperdício do próprio processo – as atividades e processos mal definidos, na falta de formação humana e em processos ineficientes. Os defeitos de produtos são o principal fator para o desperdício do próprio processo.
- *Stock* – motivados por um fraco *layout*, com elevados *setups* e existência de gargalos. Poderia, mesmo, dizer-se que o *stock* é um dos que mais contribui para o desperdício, sendo a sua redução um dos principais objetivos deste projeto.
- Defeitos – erros e problemas de qualidade que requerem retrabalho. A deteção da causa-raiz promove não só a identificação, mas também a eliminação destes desperdícios.
- Trabalho desnecessário – os movimentos desnecessários, operações isoladas, formações e competências insuficientes. “O trabalho é o movimento que se faz para criar valor ao produto ou ao serviço” (Pinto, 2014); (Haddad, Zouein, Salem, & Otayek, 2016).

De acordo com Liker (Liker & Meier, 2006), o desperdício de não ser aproveitada a criatividade dos colaboradores, as suas ideias, habilidades e melhorias inerentes, devem ser adicionadas à lista anterior.

Um dos objetivos das empresas é satisfazer as necessidades dos clientes com o menor custo logístico para ambas as partes. Um fator crítico na indústria é o

desperdício e perdas em operações e processos individuais (Pekarcikova, Trebuna, Kliment, & Dic, 2021).

Na Figura 1 esquematizam-se os tipos de desperdícios.

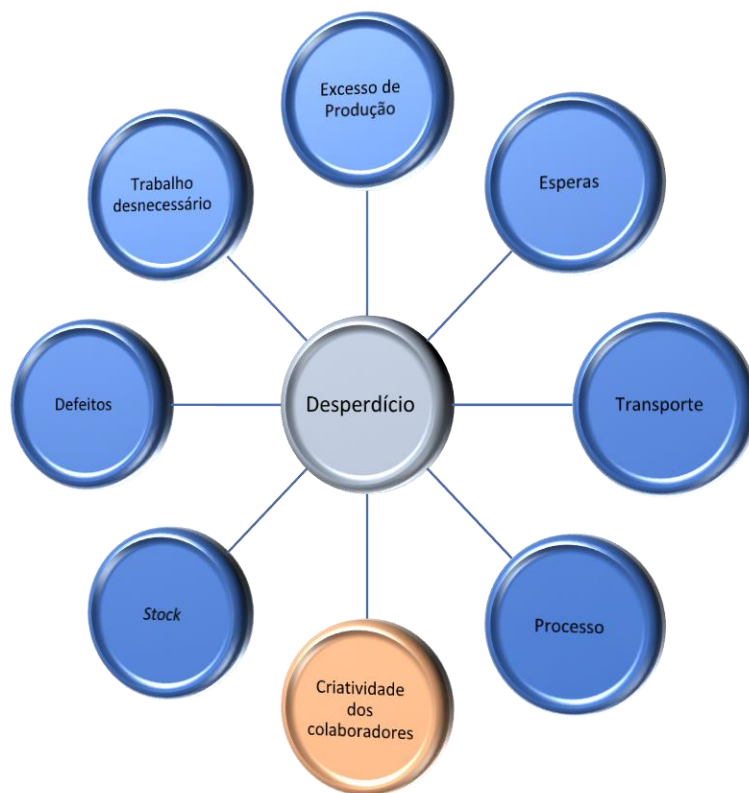


Figura 1 - Esquematização dos tipos de desperdício

2.2 – Os princípios *Lean Thinking*

Com vista a facilitar a implementação da metodologia *Lean* nas organizações, foram definidos por Womack cinco princípios, como se de um guião se tratasse (Womack & Jones, 2003):

- Criação de valor – ter em conta todas as partes interessadas, sem descorar nenhuma.
- Definição da cadeia de valor – definição de cada parte interessada, sem sobrepor nenhuma às demais, procurando o equilíbrio de interesses.
- Otimização do fluxo – sincronização dos meios envolvidos, nos fluxos de matérias, pessoas, informação e capital.
- *Pull System* – o sistema *pull* promove a capacidade de o cliente liderar os processos, desencadeando os pedidos.
- Perfeição – melhoria contínua, na procura de satisfação constante dos interesses e necessidades das partes interessadas.

Oehmen (Oehmen, 2012) identifica mais um princípio - o respeito pelas pessoas -, no qual distingue que as pessoas são o recurso mais importante de uma organização.

Na Figura 2 esquematizam-se os princípios *Lean*.



Figura 2 - Esquematização dos princípios Lean

2.3 – Métodos e Ferramentas *Lean*

São agora brevemente apresentados alguns métodos e ferramentas basilares ao propósito da implementação de um comboio logístico.

2.3.1 – *Value Stream Mapping* – VSM

O VSM consiste numa ferramenta simples e fulcral que faz um mapeamento da cadeia de valor, permitindo visualizar o percurso de um produto ou serviço por todas as operações desde o início, da obtenção do pedido, até ao final, na entrega ao cliente final. Possibilita a identificação da redução de tempos dos processos como também do custo dos mesmos, permitindo melhores análise e tomadas de decisão. Os benefícios do VSM decorrem da possibilidade de darem uma visão global de toda a cadeia de valor, da identificação da origem dos vários desperdícios, ao mesmo tempo que utiliza uma linguagem simples e intuitiva, com uma abordagem global aos

conceitos e ferramentas *Lean*, fornecendo uma base para um plano de implementação, demonstrando o fluxo de materiais, capital e informação (Pinto, 2014).

Para exemplificar a simplicidade desta ferramenta, foram adicionados um exemplo de VSM no Anexo A, e outro com alguns símbolos utilizados num VSM no Anexo B (Pinto, 2014).

O VSM é um bom ponto de partida para uma avaliação *Lean*, pois como já foi referido, retrata o fluxo global dos processos (Haddad, Zouein, Salem, & Otayek, 2016). Será com o recurso ao VSM que se demonstrará o fluxo de materiais do projeto de implementação de um comboio logístico.

2.3.2 – Pull System

O sistema pull caracteriza-se pelo fabrico ser puxado pela procura, ou seja, por a produção ser baseada em pedidos específicos. Tem como resultado não só a redução de *lead times*¹, mas também uma maior antecipação na redução de *stocks* e níveis de inventário, resultando numa maior capacidade de resposta aos mercados em permanente mudança (Wilson, 2010). Quando a procura apresenta uma elevada incerteza, é sugerido a utilização do sistema puxado (Pinto, 2014). Consiste na produção dos produtos pretendidos, na quantidade necessária no momento que são precisos (Christopher, 2011).

É com base neste sistema que o caso de estudo assenta em que os produtos intermédios são programados de acordo com a necessidade dos produtos anteriores, de forma puxada.

2.3.3 – Single-Minute Exchange of Dies – SMED

O SMED é um método de redução de tempos de *setup* que consiste na troca rápida de ferramentas, com ações concertadas de melhoria na redução de tempos e ajustes, maximizando a utilização dos meios e flexibilidade dos processos, consequentemente reduzindo custos e lotes de fabrico (Pinto, 2014).

Na base deste conceito está a distinção e conversão dos *setups* internos em externos, que por sua vez minimiza as paragens dos equipamentos, na necessidade de eliminação de ajustes, recorrendo a apertos rápidos, na uniformização de ferramentas, no uso de operações em paralelo e no desenvolvimento de sistemas mecânicos e/ou automáticos de *setup* (Shingo, 1981); (Suzaki, 2010).

¹ *Lead Time* é o tempo que um produto ou serviço demora a percorrer todas as etapas do seu processo, desde o momento do pedido do cliente até à sua entrega.

2.3.4 – 5S's

5S's é uma prática com uma abordagem simples que procura a redução de desperdício e a melhoria de desempenho dos colaboradores, baseando-se em cinco propósitos: a organização, a arrumação, a limpeza, a normalização e a autodisciplina. São estes propósitos que em japonês correspondem a *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*, respetivamente, começando todas as palavras pela letra “s”.

Concisamente, a abordagem procura separar o útil do inútil, definir os locais próprios para cada coisa, com ajudas visuais e de fácil acesso às mais frequentemente usadas. Implica também a definição de metodologias de limpeza, segmentando os locais de trabalho por zonas, se necessário, apostando ainda na rotina e sistematização dos procedimentos para que estes se tornem práticas comuns.

Um sexto S tem sido, cada vez mais, adicionado e referenciado pelas empresas, não podendo ser dissociado das práticas já descritas, relativo à componente de segurança que está constantemente presente (Liker & Meier, 2006); (Pinto, 2014); (Pombal, Ferreira, Sá, Pereira, & Silva, 2019).

5S's é uma prática que deveria ser transversal a toda a empresa e aplicável em qualquer departamento, assim como a qualquer tipo de indústria, como referiu Haddad, permitindo eliminar redundâncias e melhorar o fluxo de processos (Haddad, Zouein, Salem, & Otayek, 2016).

A Figura 3 representa os princípios dos 5S's.



Figura 3 - Processo 5S's

2.3.5 – *Failure Mode and Effect Analysis* – FMEA

A FMEA é uma abordagem de análise modal de falhas e seus efeitos, orientada para a identificação dos modos de falha de um produto ou serviço, eliminando ou reduzindo o risco de acontecimento dos mesmos, ajudando a tomada de ações na prevenção desses mesmos riscos ou falhas. No Anexo C encontra-se um exemplo de uma folha FMEA. Para uma abordagem bem-sucedida devem ser criteriosamente seguidos os seguintes princípios (Pinto, 2014):

- Determinação de que formas o processo pode falhar;
- Para cada forma de falha determina-se os efeitos;
- Identificação das potenciais causas de cada modo de falha;
- Listam-se os controlos atuais para cada causa identificada;
- Atribuem-se graus de severidade, ocorrência e deteção, multiplicando os vários graus e determinando o número de prioridade de risco;
- Determinam-se, executam-se e documentam-se as ações recomendadas para reduzir os números de prioridade de risco mais elevados;
- Calculam-se novos números de prioridade de risco e vai-se intervencionando, a começar pelos mais elevados.

Esta abordagem pode ser utilizada na identificação de possíveis falhas de matérias-primas, contribuindo para a redução do risco de ocorrerem, sendo expectável que diminuam na implementação de um comboio logístico.

2.3.6 – 5W2H

A fórmula 5W2H que tem uma aplicação global em qualquer processo de decisão, procura dar respostas a questões importantes. Questões simples como quem (*who*), o quê (*what*), onde (*where*), quando (*when*), porquê (*why*), como (*how*) e quanto (*how much*). Para um entendimento mais simples da fórmula resumem-se os seus componentes na Tabela 1, empregando alguns exemplos (Pinto, 2014).

A procura das respostas às questões e a identificação das causas-raiz de cada pergunta, ajudam a identificar possíveis problemas. Segundo Shingo (Shingo, 1981), na Toyota os cinco W's realmente significam cinco porquês, para cada questão perguntam no mínimo cinco vezes “porquê?” para chegar às causas-raiz, para depois da clarificação as poderem solucionar.

Neste processo é fundamental trabalhar em equipa, registando as soluções encontradas e partilhando as boas práticas.

Tabela 1 - Exemplo de lista de verificação de 5W2H (Pinto, 2014)

Quem	<ul style="list-style-type: none"> • Quem faz? • Quem poderá ser envolvido? • Quem mais pode ajudar? • Quem necessita de ser envolvido ou contactado? • Quem precisa de ser informado? • A quem se dirige a intervenção?
Onde	<ul style="list-style-type: none"> • Em que local acontece? • Onde poderá acontecer? • Onde encontrar meios? (ex. pessoas e materiais) • Onde divulgar? • Onde obter apoios?
O Quê	<ul style="list-style-type: none"> • O que é que acontece? • O que é necessário fazer? • O que fazer em primeiro lugar? • O que pode ser feito por outros? • Que recursos são necessários? • Qual o objetivo?
Quando	<ul style="list-style-type: none"> • Quando acontece? • Quando começar e terminar? • Quando se sabe que se alcançou o objetivo? • Quando envolver os outros? • Quando teremos tempo para iniciar?
Porquê	<ul style="list-style-type: none"> • Por que acontece? • Por que fazer? • Porque é que é necessário? • Por que não tentar? • Porque é que este projeto vai resultar?
Como e Quanto	<ul style="list-style-type: none"> • Como se processa? • Como se desenvolve o problema? • Como resolver o problema? • Como envolver as pessoas? • Como avaliar? • Como funciona? • Quanto custa?

2.3.7 – Sistema *Just in Time*

Segundo Ohno (Ohno, 1988), o Sistema de *Just in Time* (JIT) centra-se em dois elementos, o nivelamento da produção, denominado por *heijunka*, e o sistema *kanban*, referência do sistema de produção da Toyota. “O JIT é uma técnica de produção puxada segundo o qual todos os *outputs* são realizados no momento certo, na quantidade pedida e no local combinado, recorrendo ao paradigma *pull* e ao *kanban* para controlar e disciplinar o fluxo de materiais, pessoas e informação” (Miwa, Nomura, & Takakuwa, 2017) (Pinto, 2014).

O sistema JIT foi amplamente expandido pelo mundo em diferentes tipos de indústria, focando-se na redução de desperdício e *lead times* (Tortorella, Moliner Farjas, & Li, 2020).

2.3.8 – *Heijunka*

O nivelamento da produção permite o fabrico constante de diferentes produtos, de forma a garantir um fluxo contínuo, nivelando a procura de recursos de produção. Constitui um modo simples de armazenamento recorrendo a tempo ou a *stocks*. Se acontecer um pico de procura, haverá rotura de *stocks*, se o armazenamento anterior não for suficiente. Contrariamente, se houver um adiamento da entrega de encomendas, o aumento de *stock* de produto acabado cria um pulmão de ar às flutuações da procura. Este nivelamento terá sempre em conta a procura e o *takt time*². De realçar que o *heijunka* permite o nivelamento da carga de trabalho, na verificação de forma visual se a oferta está em consonância com a procura e redução dos tempos de espera, facilitando o fluxo contínuo da produção (Pinto, 2014); (Wilson, 2010).

No nivelamento da produção recorrendo a *stocks* existirá um equilíbrio a contemplar. Por um lado, o nivelamento da produção, que é o que as empresas procuram alcançar e, por outro lado, a redução de *stocks* e desperdícios.

2.3.9 – *Kanban*

Foi desenvolvido na Toyota por Ohno para minimizar os custos com o material em processamento e reduzir os *stocks* entre processos (Ohno, 1988).

É um processo visual recorrendo a cartões para informar sobre a necessidade de produzir determinado produto com base no nível de *stocks*, evitando excesso de *stocks* e a produção de produtos não requisitados. No Anexo D encontra-se um exemplo de um cartão *kanban*.

Um *kanban* normalmente inclui informações como a descrição do produto, o tamanho do contentor, unidade de carga e quantidade por contentor, o número de identificação *kanban*, processo anterior, processo subsequente e algumas informações opcionais

² *Takt time* é o ritmo do tempo determinado pelo pedido do cliente e que se obtém dividindo o número de horas diárias de trabalho pelo total de unidades de trabalho requeridas.

como o tamanho do lote, o número de *kanbans* por lote, o método de fabrico, o método de embalagem, etc. (Hasani Goodarzi & Zegordi, 2018).

Este sistema produz pequenos lotes, bem definidos, em recipientes uniformizados. Caracteriza-se por ser um método disciplinador, associado ao sistema *pull*. Para garantir um bom funcionamento deverá estar assegurado um fluxo estável com tempos reduzidos de *setup* e transporte, ou seja, com um *layout* adequado, no qual a procura deverá ser regular e previsível, e com a garantia de polivalência dos colaboradores (Pinto, 2014); (Shingo, 1981).

Além de reduzir os *stocks* em pequenos lotes, reduzir o *lead time* dos produtos e a margem de *buffer* de *stock* de segurança, Pekarcikova enumera as seguintes regras na utilização do *kanban* (Pekarcikova, Trebuna, Kliment, & Dic, 2021):

- os processos subsequentes retiram os itens dos processos anteriores;
- os processos anteriores produzem apenas o que foi retirado;
- todos os processos enviam apenas produtos sem qualquer defeito para o processo seguinte, e nenhum processo aceita defeitos nas suas operações;
- o nível de produção é estabelecido para assegurar os padrões de mercado;
- os *kanbans* acompanham sempre as próprias peças para controlo visual;
- o número de *kanbans* diminui ao longo do tempo para que sobressaiam áreas ocultas para aplicação de melhoria contínua.

O sistema *kanban* é largamente usado no mundo (Nomura & Soemon, 2006). Nas empresas envolvidas em estudos referenciados no artigo de Thüerer, cerca de 50% de pequenas e médias empresas e 70% das grandes empresas tinham já adotado o sistema de *kanban* como parte da implementação do sistema JIT. De referir também que o *kanban* ajuda a alcançar o *heijunka* (Thüerer, et al., 2019).

2.3.10 – Supermercados

São locais de armazenamento estrategicamente localizados, onde é possível abastecer com os materiais necessários, quando são precisos e nas quantidades necessárias.

Pretendem alcançar a produção sustentável por meio da entrega de material em *just in time* nas linhas de montagem. Com uma decisão eficiente permite minimizar os custos logísticos (Fathi, Nourmohammadi, Ghobakhloo, & Yousefi, 2020).

O abastecimento pode ter dois meios de fornecimento, em linhas de armazenamento ou na constituição de conjuntos.

Nas linhas de armazenamento, a maior vantagem é não existir necessidade de manuseamento dos contentores por parte do colaborador, ou seja, os materiais são acondicionados nos próprios contentores vindos do fornecedor ou em caixas com quantidades mais reduzidas. Por outro lado, existe a desvantagem do significativo

espaço necessário no bordo de linha³ e a necessidade do colaborador ter de procurar o material correto para a produção que está em processo. O bordo de linha com o *stock* intermédio é um método muito habitual que armazena todas as peças necessárias para a produção do dia, como um *buffer* terminal para reduzir os custos totais e melhorar a eficiência do transporte (Mao, Huang, Fang, Wang, & Lu, 2019).

Na constituição de conjuntos, o colaborador necessita de compor o conjunto com o material necessário para produção, o que constitui maior desvantagem, mas, por outro lado, agrega todos os componentes necessários para o produto em assemblagem. A decisão de constituir um conjunto de um produto não depende apenas das suas próprias características, mas também das características de outros produtos com as quais podem ser assemblados (Limère, Van Landeghem, & Goetschalckx, 2015).

Envolve muito tempo na sua preparação e existe sempre a possibilidade de erro humano na sua constituição, o que torna um trabalho fisicamente stressante (Caputo, Pelagagge, & Salini, 2017).

Na Figura 4 mostra-se um exemplo de um supermercado.



Figura 4 - Exemplo de um supermercado (Manufactus GmbH, 2021)

³ Bordo de linha são áreas circundantes aos postos de trabalho com *stock* intermédio.

Num ambiente JIT, o comboio logístico abastece-se no supermercado, retirando os produtos requeridos nos *kanbans*, deixa os *kanbans* que estavam juntos com o material em *stock* e segue para fornecer as áreas de trabalho. Outro colaborador com esses *kanbans*, faz o reabastecimento das prateleiras para na rota seguinte do comboio logístico ser fornecido dos materiais necessários (Pinto, 2014); (Shingo, 1981).

Na indústria automóvel as entregas são frequentes e em JIT (Staab, Klenk, Galka, & Günthner, 2016), em recipientes pequenos em toda a linha de produção, denominados por caixas KLT⁴ (ver exemplo na Figura 4), de forma eficiente e estável, com baixo *stock* no bordo de linha. (Fathi, Nourmohammadi, Ghobakhloo, & Yousefi, 2020) acrescentam também que o uso de supermercados e de comboios logísticos permite não só as entregas frequentes em pequenos lotes e na redução de *stocks*, como também a redução das entregas de longa distância do armazenamento centralizado, embora traduzindo-se num aumento de número de supermercados.

2.3.11 – Comboio Logístico

Comboio logístico, também conhecido como *mizusumashi*⁵ ou *milk run*⁶, é um conjunto de carruagens ou vagões que são puxados por um rebocador (Figura 5 e Figura 6), operado por um colaborador, denominado por operador logístico, que faz a recolha e abastecimento de produtos em todos os locais pré-estabelecidos de produção denominados supermercados.



Figura 5 - Exemplo de rebocador elétrico (JAC International, 2020)

⁴ Caixas KLT é uma caixa padronizada para transporte e armazenamento de acordo com a Associação da Indústria Automóvel (VDA).

⁵ A designação *mizusumashi* também apelidada de *mizu* é por norma empregue a comboios logísticos internos.

⁶ A designação *milk run* é associada a comboios logísticos externos, entre empresas, ou seja, entre fornecedores e clientes.



Figura 6 - Exemplo de Rebocador com carruagens (STILL S.A., 2020)

A recolha e abastecimento pode ser feita por *kanbans*, com o objetivo de que nos postos de trabalho esteja apenas o estritamente necessário, seguindo a metodologia *Lean*. Evita-se a sobrecarga nos postos de trabalho, mantendo-se a limpeza e a organização do local de trabalho.

O comboio tem a particularidade de fazer curvas apertadas (Figura 7 e Figura 8), ou seja, por onde o rebocador passa, as carruagens passam exatamente no mesmo local, fazendo a mesma trajetória.



Figura 7 - Exemplo de Rebocador com carruagens a curvar (STILL S.A., 2020)



Figura 8 - Exemplo de Rebocador com carruagens a curvar (Revista Logística, 2014)

O comboio tem uma rota definida com intervalos previamente estipulados e regulares, abastecendo as áreas circundantes aos postos de trabalho (Coimbra, 2013). As rotas e horários bem definidos e cíclicos constituem uma das maiores vantagens do *mizu* (Bocewicz, Nielsen, Gola, & Banaszak, 2021). Além disso, é o transporte intralogístico com mais capacidade de transporte em cada percurso efetuado (Paszkwia, Bartkowiak, & Pelic, 2021). O comboio logístico permite um ganho potencial substancial, quer ao nível ambiental, quer ao nível de recursos humanos (Bocewicz, et al., 2020).

O *mizu* tem a característica de passar com frequência, evitando que haja rotura de matérias-primas. Para isso, é necessário ter em conta o *layout* da área produtiva, ter localizações únicas e fixas que apenas dependam do operador logístico para o processo e tempos de abastecimento os mais reduzidos possíveis.

Na escolha de um rebocador, existem algumas características a ter em consideração na seleção da melhor opção para a realidade da empresa onde se quer implementar o comboio logístico. Na verificação do peso do rebocador, considerar e ter em atenção a potência na barra de tração, o número de marchas, a força de tração e velocidade de cada uma, a sua força máxima e capacidade e, por último, mas não menos importante, a carga máxima que poderá ser rebocada (Pinto, 2014).

As escolhas e determinações devem estar relacionadas entre si para uma boa decisão, no tipo de veículos, nas localizações e quantidades de paragens, nos tempos de carga e descarga, nas rotas e horários, e na própria infraestrutura empresarial (Bocewicz, Nielsen, Gola, & Banaszak, 2021).

Na Figura 9 apresenta-se, de forma visual e simplificada, a comparação da quantidade de rotas necessárias num sistema tradicional, face à rota necessária para um *mizu*, para abastecimento dos mesmos pontos de entrega.

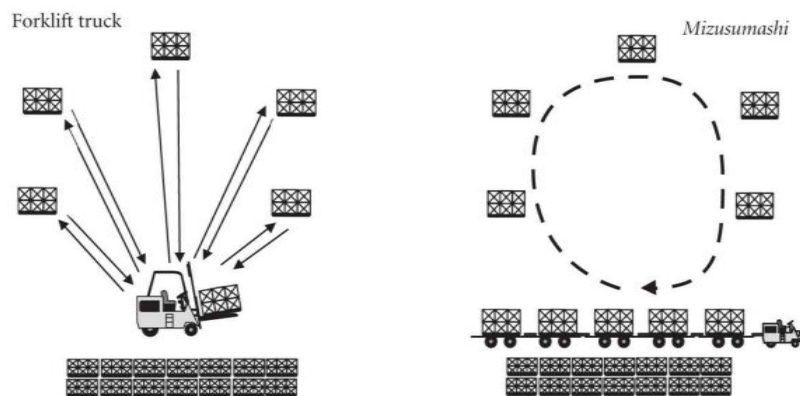


Figura 9 - Comparação de rotas entre o mizusumashi e os sistemas tradicionais de abastecimento (Coimbra, 2013)

A implementação de um comboio logístico permite aumentar a eficiência, obter melhorias ao nível da economia, flexibilidade, versatilidade e ao nível de segurança (Alnahhal, Ridwan, & Noche, 2014); (Paszkwia, Bartkowiak, & Pelic, 2019), permitindo minimizar os custos de transporte e tempos de produção (Paszkwia, Bartkowiak, & Pelic, 2021).

Para Simić (Simić, et al., 2020), o comboio logístico é o sistema mais eficiente e popular usado para melhorar as operações logísticas em todos os ambientes produtivos. As implementações destes sistemas ainda estão pouco diversificadas, sendo principalmente implementados em *layouts* de grandes empresas da indústria automóvel, tendo as pequenas e médias empresas restrições rígidas, como a gestão, a resistência à mudança e a pouca flexibilidade (Urru, Bonini, & Echelmeyer, 2018).

Rahman (Rahman, Janardhanan, & Nielsen, 2020) evidencia a melhoria da produtividade, e a melhoria e eficiência no sistema de manuseamento dos materiais, assegurando um suave fluxo produtivo e uma melhor gestão de custos dos materiais.

O custo de manuseamento de materiais numa empresa constitui cerca de 30% do valor total de produção, sendo o benefício mais comum apresentado a minimização de pontos de abastecimento e de tempo de ciclo. No entanto, para garantir um bom fluxo de produção é essencial garantir um sistema eficiente de abastecimento de materiais (Rahman, Janardhanan, & Nielsen, 2020).

O comboio logístico compete com os tradicionais empilhadores e/ou porta-paletes, contando com algumas vantagens que são identificadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre o mizusumashi e os sistemas tradicionais de abastecimento (Pinto, 2014)

Argumentos a favor da aplicação do <i>Mizusumashi</i>	Argumentos contra os métodos tradicionais (empilhadores e/ou porta-paletes)
<ul style="list-style-type: none"> ○ Apenas os materiais necessários são entregues (uso de caixas ou contentores de menor capacidade) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Devido ao uso de paletes, é frequente transportarem-se grandes quantidades (como uma vez por dia)
<ul style="list-style-type: none"> ○ O abastecimento é normalizado e planeado, evitando roturas por falta de materiais 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Frequentes paragens por falta de material
<ul style="list-style-type: none"> ○ Falhas no fornecimento de matérias são detetadas atempadamente e corrigidas 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Falhas no fornecimento só detetadas tardiamente
<ul style="list-style-type: none"> ○ Há apenas um interveniente no manuseamento de materiais (comboio logístico) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Materiais tendem a danificar-se com os “dentes” do empilhador ou porta-paletes
<ul style="list-style-type: none"> ○ Entregas frequentes e de acordo com as necessidades de cada posto de trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Entregas diárias e planeadas para otimizar o uso do meio de transporte
<ul style="list-style-type: none"> ○ Entrega de múltiplos materiais e componentes (em pequenas quantidades) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Entrega de apenas um material de cada vez
<ul style="list-style-type: none"> ○ Melhor utilização do comboio logístico (usado em ambos os sentidos: leva contentores cheios e traz contentores vazios) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Com frequência, o empilhador ou porta-paletes desloca-se vazio
<ul style="list-style-type: none"> ○ Amigo do ambiente (movidos a energia elétrica e silenciosos) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Deslocam-se em locais fechados, havendo uma grande percentagem movida a gasóleo ou a gás, sendo poluidores e ruidosos

Resumidamente, Burganova (Burganova, Grznar, Gregor, & Mozol, 2021) apresenta uma análise SWOT⁷, com as forças ou pontos fortes, as fraquezas ou pontos fracos, as oportunidades e as ameaças de um sistema de comboio logístico como pode ser visto na Tabela 3:

Tabela 3 - Análise SWOT (Burganova, Grznar, Gregor, & Mozol, 2021)

Forças (Strengths)	Fraquezas (Weaknesses)
Tempo-eficiência	Planeamento avançado
Melhor utilização	Produção em massa ou peças idênticas
Horários	Avaria de máquinas
Fácil planeamento	
Melhor comunicação	
Menos inventário	
Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
Gestão de <i>stocks</i> dos fornecedores	Entregas erradas de fornecedores
	Entregas atrasadas de fornecedores

No dimensionamento de comboios logísticos, Staab (Staab, Klenk, Galka, & Günthner, 2016) menciona que os sistemas de comboios logísticos não são sistemas padronizados em relação aos processos, especialmente no que se refere a cargas e descargas, e também a tecnologias. Uma estrutura genérica como modelo de simulação, deve ser transposta e aplicável a vários sistemas, de modo a modelar consoante cada caso.

Num sistema destes há condicionantes que são, logo à partida, equacionados: o nível de serviço, contabilizando o risco de fornecimento - quanto maior for o tempo de entrega, maior será esse risco de fornecimento; a capacidade de utilização, racionalizando o número de caixas a serem entregues com base no número total de caixas a transportar em cada percurso; o tempo de ciclo, que é o período de tempo que decorre desde a partida da zona de carregamento ou supermercado, até chegar novamente à zona de carregamento ou supermercado, contemplando o tempo do percurso, os respetivos carregamentos e paragens; o cumprimento da programação, contabilizando os percursos e tempos previamente definidos (Staab, Klenk, Galka, & Günthner, 2016).

⁷ SWOT – Técnica de análise de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, que auxilia no planeamento estratégico das empresas.

Vários autores identificam nos seus artigos o uso da fórmula matemática (2.1), que correlaciona várias variáveis como, o tempo de percurso, o tempo de cargas e descargas e o tempo de paragem, de formas mais ou menos complexas (Fedorko, Molnar, Honus, Neradilova, & Kampf, 2018); (Gil Vilda, Yagüe-Fabra, & Sunyer Torrents, 2020); (Lieb, Prinz, Gunthner, & Fottner, 2019); (Schmidt, Meinhardt, & Schulze, 2016). Em geral, a equação (2.1) é a adotada para correlacionar as diferentes variáveis:

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

Trata-se de um modelo genérico, com uma abordagem que relaciona o tempo de ciclo com os diferentes tempos inerentes às deslocações de um comboio logístico. Esta abordagem facilita a reconstrução sistemática de vários cenários, quer a nível de processo organizacional, quer em design técnico, quer em infraestruturas (Lieb, Prinz, Gunthner, & Fottner, 2019).

Na otimização e planeamento das rotas, as paragens causadas por interdependências e bloqueios que possam existir devem ser consideradas e contempladas, especialmente em *layouts* dispersos e grandes, ou com caminhos com um só sentido. Estes caminhos podem afetar negativamente a *performance* de um comboio logístico, mas, contudo, requerem sempre uma análise caso-a-caso, dependendo das características de cada situação.

Um bom planeamento de rotas é um fator influenciador na melhoria da eficiência de tempos e percursos (Staab, Klenk, Galka, & Günthner, 2016), e da organização dos fluxos, um dos obstáculos básicos à otimização da capacidade de um bom sistema de distribuição (Bocewicz, Nielsen, Gola, & Banaszak, 2021). Rotas mal definidas e falhas ocasionais, podem comprometer a performance, ou até a implementação, de um comboio logístico (Tortorella, Moliner Farjas, & Li, 2020). O sistema deve assegurar o transporte no tempo certo e na rota mais otimizada (Simić, et al., 2020).

2.3.12 – *Layout* da linha de produção

O *Layout* é a disposição das secções e equipamentos na área produtiva de uma empresa. O fluxo do processo produtivo é determinado pelo *layout*, como a informação, os colaboradores e os materiais se relacionam entre si.

Na base de uma estratégia de produção que passa por produtos, processos, mercados e clientes, está o *layout*, com a gestão de fluxos, sendo a essência para a estratégia de fabrico nos quatro tipos de ambientes de produção: produção para *stock*; produção por encomenda; montagem por encomenda; engenharia por encomenda (Maldaner & Kreling, 2019).

O fluxo de produção pode ter três tipos de produção: contínua, descontínua e por projeto. A Tabela 4 sintetiza as características de produção contínua e produção descontínua. Quanto à produção por projeto, é orientada para um produto único, com encadeamento de operações e flexível a perturbações externas (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007).

Tabela 4 - Comparação entre produção contínua e produção descontínua (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

Produção contínua	Produção descontínua
Grandes quantidades	Pequenas quantidades
Linha de produção	Grupo de máquinas
Rígida	Flexível
Prazos curtos	Prazos longos
<i>Stocks</i> intermédios reduzidos	<i>Stocks</i> intermédios altos
REP ⁸ médio, de 80% a 100%	REP médio, de 5% a 30%

No que se refere aos modelos de organização da produção, a Tabela 5 resume as vantagens e desvantagens da implantação em secções homogéneas, em linhas de fabrico e em células de fabrico.

Tabela 5 - Comparação entre modelos de organização da produção (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

Implantação em secções homogéneas	Em processos descontínuos, com agrupamento de máquinas, flexível, mas com fluxos complexos e elevado <i>stock</i> intermédio.
Implantação em linhas de fabrico	Em processos contínuos, com máquinas em linha, com ausência de pontos de inversão e facilidade de identificação dos fluxos.
Implantação em células de fabrico	Em ilhas de produção, com redução de <i>stock</i> intermédio e prazos no caso de processos descontínuos. Antecipação de problemas, flexível, baixa movimentação dos produtos.

Quanto ao *layout* da zona produtiva, a configuração que permite diminuir substancialmente os *stocks* e o prazo, no caso dos processos descontínuos e com

⁸ REP – Rácio de eficácia do processo que representa o tempo de trabalho efetivo sobre o tempo total, incluindo os tempos de espera.

flexibilidade para produção de series pequenas, é a configuração em células (Figura 10) ao invés da configuração em linhas de fabrico. Normalmente, em processos contínuos e com pouca flexibilidade, ou em secções homogéneas, a melhor configuração corresponde a agrupar tecnologias semelhantes que apresentam elevado nível de produtos em curso de fabrico (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007); (Ichikawa, 2009).

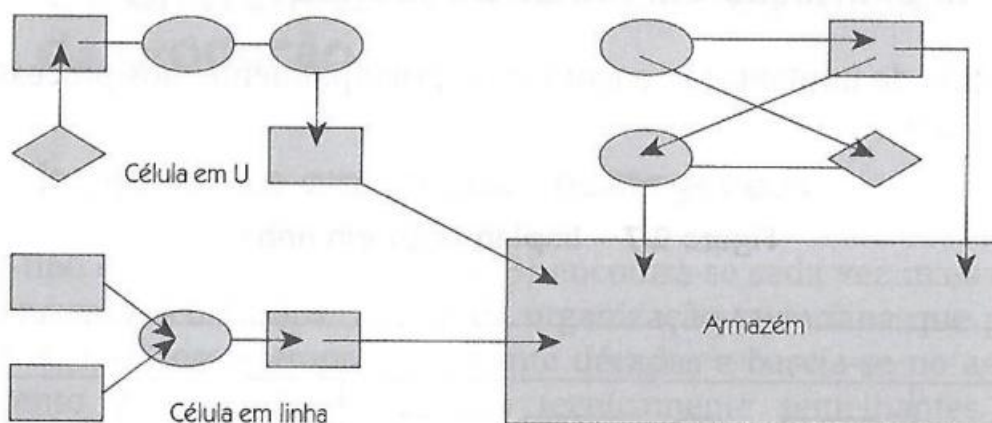


Figura 10 - Layout com implantação em células de fabrico (Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007)

2.4 – Radio-Frequency Identification – RFID

A identificação por radiofrequência é uma tecnologia de identificação baseada num sistema de transmissão-receção que, na sua ampla aplicação, permite identificar e localizar objetos, pessoas e animais. Com a associação de uma *tag*, ou seja, uma etiqueta que contém informação única, distinguível dos restantes elementos à sua volta.

Neste sistema de identificação por radiofrequência, as *tags* podem ser lidas a uma distância considerável em comparação com os tradicionais códigos de barras. Enquanto os códigos de barras e respetivos leitores têm de se encontrar a uma distância relativamente próxima e em linha de visão, na identificação RFID a proximidade não é tão imposta, sendo a leitura simultânea uma característica vantajosa, assim como a quantidade de informação armazenada.

Uma mais-valia da tecnologia RFID é a versatilidade da informação, podendo ser exequível a sua alteração ao longo do ciclo de vida do objeto, tal como a informação sobre a sua validade, características e/ou datas de alterações. Na identificação dos produtos, esta tecnologia permite que os fluxos de mercadorias e informações estejam conectados, como um pré-requisito para uma eficiente partilha de informação e coordenação na tomada de decisões (Nikolicic, Kilibarda, Maslaric, Mircetic, & Bojic, 2021).

Um sistema RFID é composto por etiquetas RFID, leitores RFID e sistemas de recolha e armazenamento de informação (Finkenzeller, 2010). Tal como se ilustra na Figura 11, a *tag*, através de um *chip* e da antena, é ativada por ondas de radiofrequência emitidas pelo leitor, que após a ativação através de energia recebida do leitor, emite sinais que são convertidos digitalmente e guardados numa base de dados do sistema informático (Hunt, Puglia, & Puglia, 2007); (Gotthardt, Hulla, Eder, Karre, & Ramsauer, 2019).

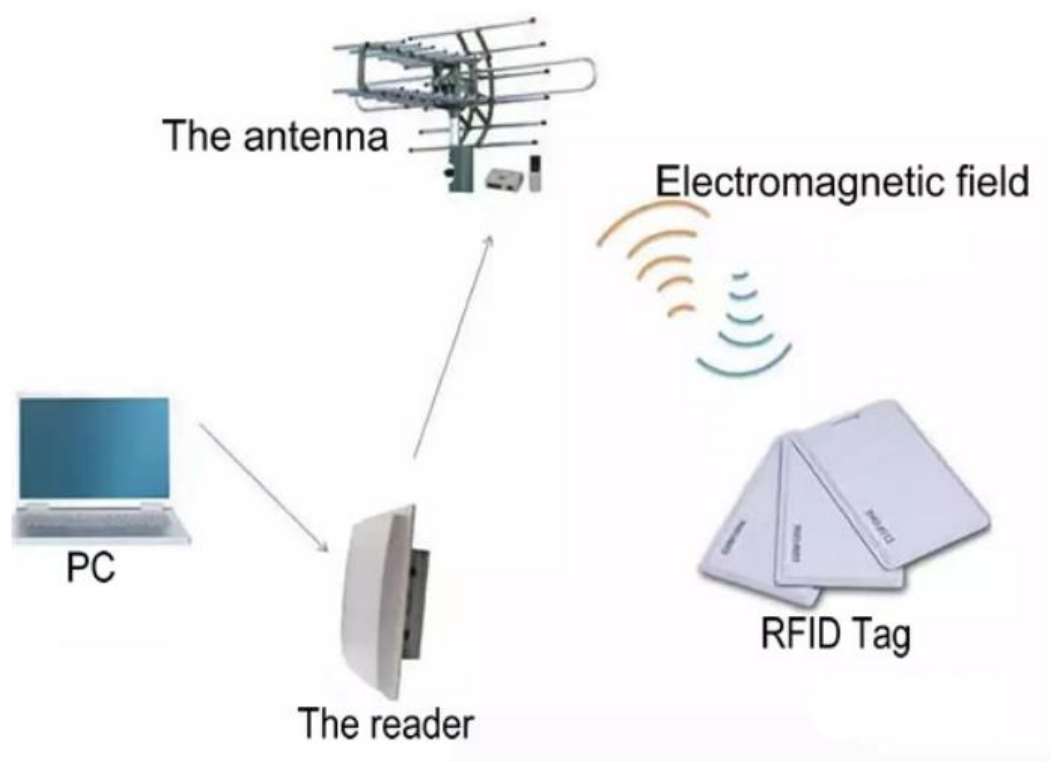


Figura 11 - Componentes de um sistema RFID (Airsec, 2021)

A frequência utilizada no RFID pode ter diferentes comprimentos de onda de comunicação. Os sistemas de baixa frequência são utilizados na rastreabilidade, identificação e controlo de acessos em curtas distâncias de leitura, enquanto os sistemas de alta frequência são utilizados na leitura de *tags* em veículos e recolha automática de dados em médias e longas distâncias, e leitura a alta velocidade.

Para a rastreabilidade de paletes e produtos num ambiente industrial é aconselhado um comprimento de onda de alta frequência, por volta dos 860-960 MHz (Hunt, Puglia, & Puglia, 2007). Na Figura 12 é possível verificar a gama de frequências utilizada no sistema RFID.

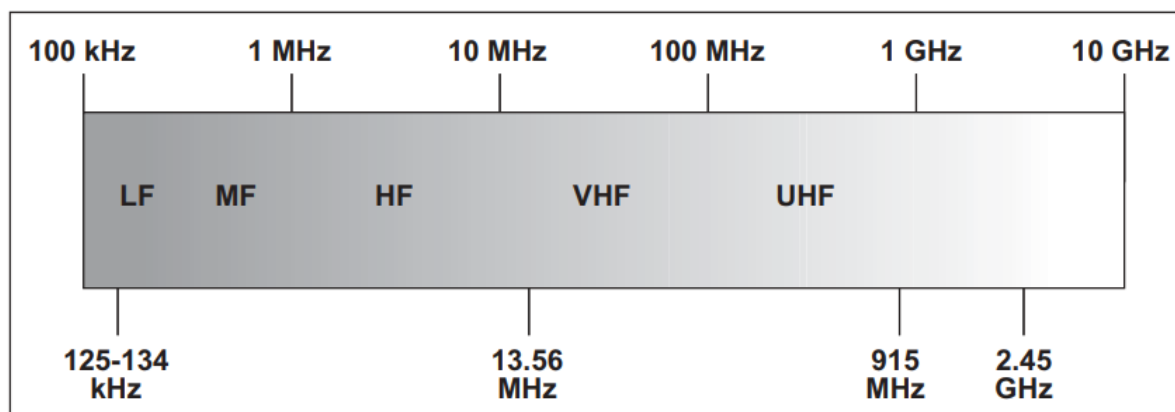


Figura 12 - Espectro de radiofrequência (Hunt, Puglia, & Puglia, 2007)

Na banda de baixas frequências, existe o *low frequency* (LF) com 125-134 kHz e o *high frequency* (HF) com 13,56 MHz. Na banda de altas frequências, existe o *ultra-high frequency* (UHF) com 860-960 MHz, e no comprimento de onda das micro-ondas, frequências superiores a 2,4 GHz (Hunt, Puglia, & Puglia, 2007).

Na Tabela 6 comparam-se alguns aspetos da tecnologia RFID com a de código de barras.

Tabela 6 - Comparação entre a tecnologia RFID e um sistema de códigos de barras (Finkenzeller, 2010)

Características	RFID	Código de Barras
Armazenamento	Elevada	Baixa
Influência de lixo/humidade	Baixa	Elevada
Influência de cobertura ótica	Baixa	Elevada
Leitura em simultâneo	Sim	Não
Custo	Alto	Baixo
Custo de manutenção	Baixo	Alto
Reutilização	Sim	Não
Distância máxima leitura	Aproximadamente 5 metros	Aproximadamente 50 centímetros

Nas vantagens do sistema de RFID, destaca-se a permissão de automatizar a cadeia logística, a recolha de uma maior quantidade de informação, a redução de mão-de-obra necessária e de erros relacionados com a intervenção humana. Além disso, ainda aquele sistema contribui para a redução de custos da cadeia logística, a otimização da rastreabilidade em tempo real, o aumento da visibilidade do processo

de *stocks*, aumentando a fiabilidade e a eficiência do sistema logístico. Como desvantagem, destaca-se, principalmente o elevado custo dos equipamentos (Finkenzeller, 2010); (Qu, Fu, Huang, Luo, & Huang, 2014).

Uma das possibilidades mencionadas por Kliment e também por Nikolicic (Kliment, Pekarcikova, Trebuna, & Trebuna, 2021); (Nikolicic, Kilibarda, Maslaric, Mircetic, & Bojic, 2021) é a transformação dos dados de localização recolhidos, em mapas interativos, ferramentas de localização, mapas térmicos, entre outras funcionalidades, localizando pessoas, produtos, máquinas, paletes e outros, tornando interativamente perceptível as suas localizações em tempo real. Thürer (Thürer, et al., 2019) menciona melhorias a alcançar no sistema *kanban* quando se utiliza RFID, estando a ser amplamente implementado em empresas de fabrico e nos seus processos de logística.

CAPÍTULO 3

Caso de Estudo

3.1 – Implementação de um comboio logístico

3.1.1 – Definição da situação inicial

No presente capítulo é apresentada uma situação inicial hipotética numa empresa industrial como ponto de partida para a análise e apresentação de soluções, e dimensionamento de um comboio logístico.

A empresa em questão teve a necessidade de equacionar a possibilidade de substituir os empilhadores atualmente usados para movimentações e abastecimentos, no sentido de reduzir o desperdício de tempo em movimentações em vazio e, conseqüentemente, desperdício de tempo dos colaboradores que faziam essas mesmas movimentações, ou seja, tempo e custos que nada acrescentam ao processo produtivo.

Foi então considerado analisar a viabilidade de implementação de um comboio logístico, para ir ao encontro dos objetivos da empresa, apresentando e analisando os pressupostos da análise.

Considera-se, como ponto forte inicial para a implementação do comboio logístico, a existência de um sistema informático⁹ com uma versão aproximada de *kanban* informatizado ou digital, que tem a capacidade de fornecer as quantidades a serem produzidas atempadamente, de acordo com o sistema *pull*, ou seja, na definição dos produtos intermédios e dos produtos acabados, os quais são programados de acordo com a necessidade dos produtos acabados e dos pedidos dos clientes, respetivamente. A Figura 13 representa de forma esquemática os fluxos informacionais considerados.

⁹ Sistema informático (*Enterprise Resource Planning* - ERP) é um sistema de gestão de dados integrado que centraliza as diversas áreas de uma empresa em um só sistema, numa só base de dados.

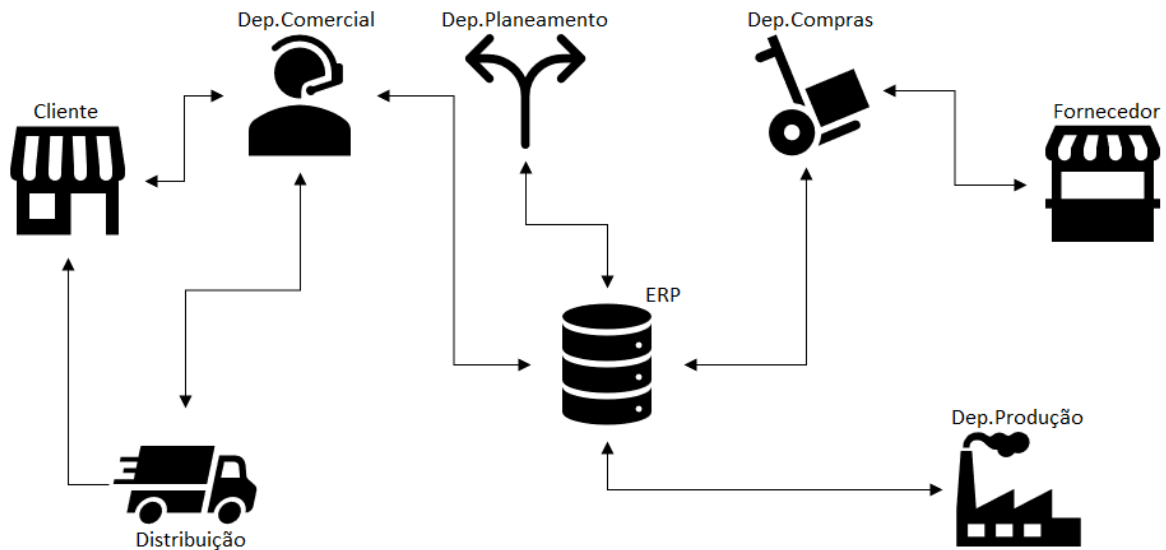


Figura 13 - Diagrama do fluxo de informação

O fluxo de informação inicia-se a partir dos pedidos de clientes cujas encomendas são inseridas no sistema ERP pelo departamento comercial. Por sua vez, o departamento de planeamento analisa as encomendas e datas pretendidas para as satisfazer, executando um plano de produção para cumprir os prazos estipulados para os artigos finais. O departamento de compras analisa a informação disponibilizada e a necessidade de encomenda de matérias-primas aos fornecedores.

Depois de agregadas todas as necessidades, inicia-se o processo produtivo dos produtos, respeitando o plano determinado através da informação disponibilizada pelo ERP, nomeadamente as ordens de produção e *kanbans* eletrónicos. Uma vez determinados os prazos dos artigos finais, a produção segue o plano definido de forma puxada.

Após conclusão das produções, o departamento comercial, através do serviço de distribuição, entrega os produtos ao cliente.

Considera-se que, nesta situação inicial, para um razoável funcionamento produtivo, são assegurados os movimentos de produtos entre secções por cinco empilhadores com os respetivos colaboradores. Além disso, no final de um dia laboral faz-se ainda a movimentação de produto acabado por 1 a 2 empilhadores alocados ao armazém de produto acabado.

No que diz respeito ao armazém de matérias-primas, são acauteladas previamente as necessidades produtivas da semana posterior, recebendo várias encomendas de matérias-primas de vários fornecedores ao longo da semana e, normalmente, até ao final da manhã do último dia útil dessa semana, para que a semana seguinte decorra sem imprevistos, de modo que caso aconteçam constrangimentos, estes sejam colmatados atempadamente.

Relativamente a bobines de chapa, principal matéria-prima, são armazenadas três a quatro vezes por ano na secção de chapa.

Neste processo produtivo, que irá ser descrito com as principais operações realizadas, considera-se que o fluxo se inicia numa secção de chapa (Figura 14), transformando bobines de chapa, em cortes longitudinais (Figura 15) para fabrico de tubo e em formatos (Figura 16) que alimentam várias outras secções intermédias.



Figura 14 - Exemplo de secção de chapa (Truninger AG, 2021)



Figura 15 - Exemplo de corte longitudinal de chapa (Heinrich Georg GmbH, 2021)

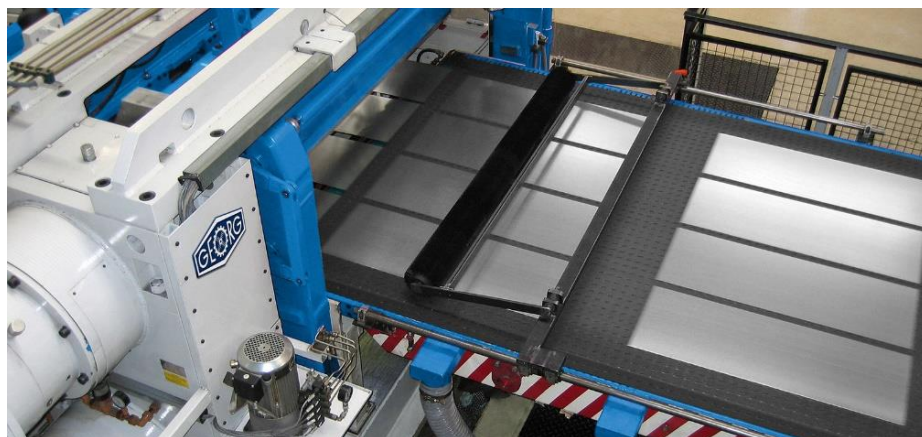


Figura 16 - Exemplo de corte de formatos (Heinrich Georg GmbH, 2021)

Numa etapa seguinte, na secção de tubo é fabricado tubo com soldadura por indução (Figura 17) e cortado nas várias medidas necessárias ao processo (Figura 18).

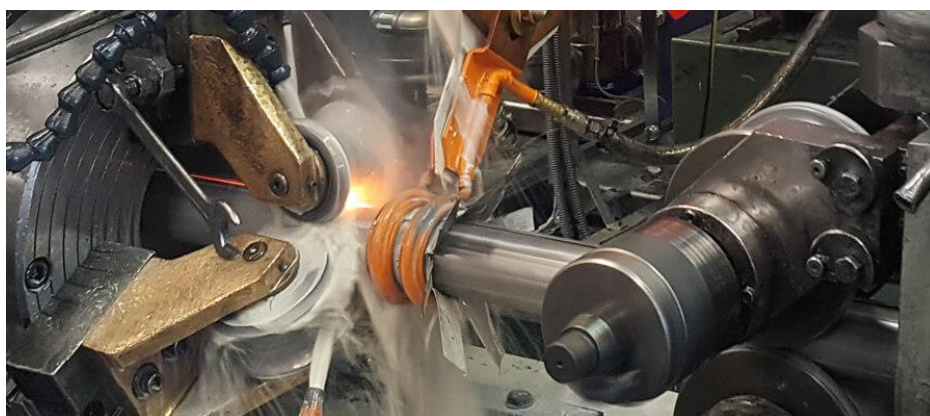


Figura 17 - Exemplo de fabrico de tubo (EFD Induction, 2021)



Figura 18 - Exemplo de máquina de corte (BLM Group, 2021)

Numa seção de montagem de produtos intermédios são conformados (Figura 19) e soldados (Figura 20) alguns pequenos conjuntos de produtos que serão acoplados no produto final.



Figura 19 - Exemplo de montagem (Shark Consulting, 2021)



Figura 20 - Exemplo de robôs de soldadura (Shark Consulting, 2021)

Na secção de dobragem as máquinas moldam e curvam o tubo para a assemblagem final (Figura 21), efetuando também operações de rasgo, expansão e redução.



Figura 21 - Exemplo de máquina de dobragem (Transfluid Maschinenbau GmbH, 2021)

Numa secção de estampagem um conjunto de prensas (Figura 22) estampam os formatos de chapa cortados anteriormente em vários componentes necessários à fabricação.



Figura 22 - Exemplo de máquina de prensa hidráulica (NingBo Goanwin Machinery Manufacturing Co., Ltd., 2021)

Numa seção de controlo de emissões verificam-se e controlam-se (Figura 23 e Figura 24) alguns parâmetros de produtos específicos (Figura 25).



Figura 23 - Exemplo de controlo visual (PlanetCarsZ, 2021)



Figura 24 - Exemplo de monólitos cerâmicos (Car Stereo, 2021)



Figura 25 - Exemplo de passadeira com monólitos (Warsztatowiec.info, 2021)

Por fim, a montagem final (Figura 26) faz-se através de soldadura manual, semiautomática e robotizada (Figura 27 e Figura 28), ficando concluído o processo de produção do produto.



Figura 26 - Exemplo de secção de montagem (TWG Exhaust, 2021)



Figura 27 - Exemplo de soldadura manual (Shark Consulting, 2021)

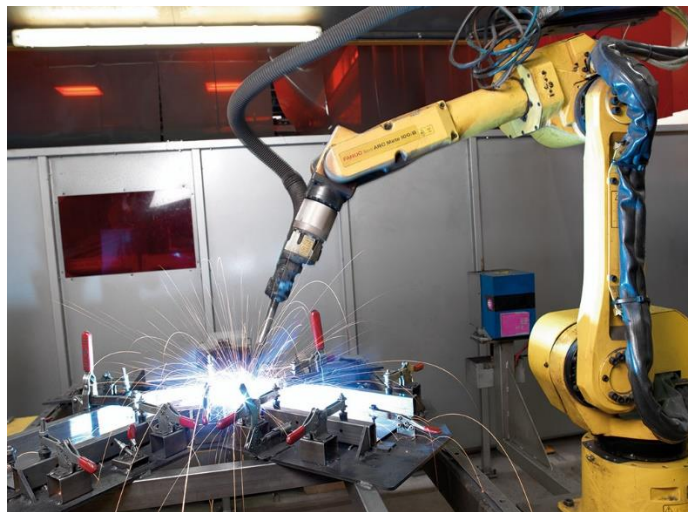


Figura 28 - Exemplo de soldadura robotizada (Gasori, 2021)

A análise do problema baseia-se no *layout* ilustrado na Figura 29, com um equilíbrio produtivo entre as várias secções representadas por letras. Este *layout* demonstra o processo produtivo desde os armazéns de matéria-prima e produto acabado, passando pelas secções de transformação de matéria-prima, secções intermédias até à montagem final. De realçar que, nesta situação hipotética, as secções apresentam um pequeno *buffer* de *stock* excedente, estimado em cerca de 30%, aguardando ser integrado no processo cuja melhoria que se pretende alcançar. Um dos objetivos é a redução deste *stock* parado, indo ao encontro do princípio *heijunka* da metodologia *Lean*. A carga transportada caracteriza-se por ter dimensões relativamente pequenas em comparação com o tamanho dos contentores movimentados pelos empilhadores. Essa carga é movimentada secção a secção com cargas reduzidas, uma vez que a necessidade de movimentação é ativada pela

necessidade dos produtos na secção seguinte e não o facto de os contentores estarem completos.

Nas instalações representadas na Figura 29 considera-se que as secções A e B são armazéns de matéria-prima e produto acabado, respetivamente, e que o processo produtivo desta empresa termina na montagem final na secção I. O restante fluxo produtivo, ordenado de forma alfabética, passa ainda pelas seguintes secções: C, secção de chapa; D, secção de tubo; E, montagem de produtos intermédios; F, secção de dobragem; G, secção de estampagem; H, secção de controlo de emissões. Considera-se que a movimentação de produtos entre secções vai ser da seguinte forma:

- A abastece todas as secções à exceção de B e C;
- C movimenta produtos intermédios para D, E, G e H;
- D movimenta produtos intermédios para E e F;
- G abastece E;
- E, F e H abastecem I.

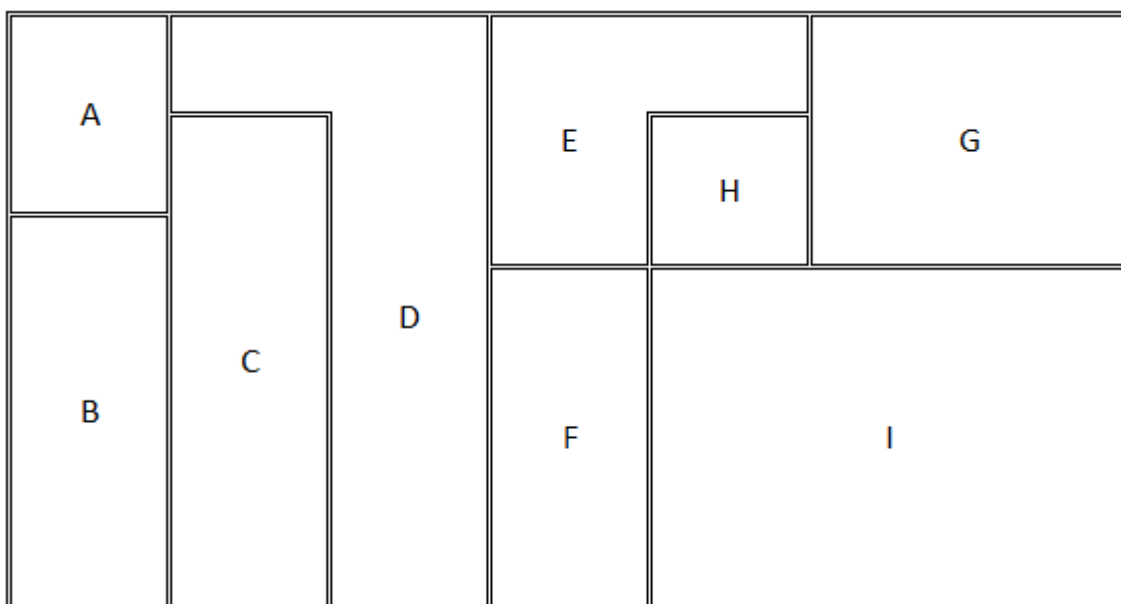


Figura 29 - Layout hipotético do projeto

Legenda: A – Armazém de matéria-prima; B – Armazém de produto acabado; C – Secção de chapa; D – Secção de tubo; E – Assemblagem de produtos intermédios; F – Secção de dobragem; G – Secção de estampagem; H – Secção de controlo de emissões; I – Assemblagem final

Considera-se um nível de atividade intensa/intermédia, uma vez que a hipotética empresa trabalha maioritariamente para o mercado de reposição, ou seja, no sentido de repor *stocks* de produto acabado. A secção D é abastecida em média quatro vezes

ao dia, o armazém B é reabastecido em média dez vezes ao dia e as restantes secções E, F, G, H e I têm um abastecimento de hora a hora e, em média, um empilhador faz dez a quinze metros de distância entre cada secção. A Tabela 7 apresenta um resumo das distâncias efetuadas que se consideraram para percursos realizados quatro vezes ao dia.

Tabela 7 - Distância em percursos com repetição de quatro vezes ao dia

Percurso	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
A ↔ D	$2 \times 20 = 40$	$2 \times 30 = 60$
C ↔ D	$2 \times 10 = 20$	$2 \times 15 = 30$
Total	60 m	90 m

Nestes percursos realizados com uma repetição de quatro vezes ao dia (Tabela 7), a distância total feita pelos empilhadores está compreendida entre 240 e 360 metros, ou seja, multiplicando as quatro repetições pelas distâncias mínima e máxima, obtêm-se, respetivamente, as distâncias totais de 240 e 360 metros.

Nos percursos com uma repetição de dez vezes ao dia, a distância feita pelos empilhadores está compreendida entre 800 e 1200 metros, que correspondem à multiplicação de dez repetições pelas respetivas distâncias indicadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Distância em percursos com repetição de dez vezes ao dia

Percurso	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
I ↔ B	$2 \times 40 = 80$	$2 \times 60 = 120$
Total	80 m	120 m

Nos percursos com uma repetição de hora a hora, considerando 8 horas laborais, a distância feita pelos empilhadores está compreendida entre 5760 e 8640 metros, considerando as distâncias indicadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Distância em percursos com repetição de hora a hora

Percurso	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
A ↔ E	2 x 30 = 60	2 x 45 = 90
A ↔ F	2 x 30 = 60	2 x 45 = 90
A ↔ G	2 x 50 = 100	2 x 75 = 150
A ↔ H	2 x 40 = 80	2 x 60 = 120
A ↔ I	2 x 40 = 80	2 x 60 = 120
C ↔ E	2 x 20 = 40	2 x 30 = 60
C ↔ G	2 x 40 = 80	2 x 60 = 120
C ↔ H	2 x 30 = 60	2 x 45 = 90
D ↔ E	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
D ↔ F	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
G ↔ E	2 x 20 = 40	2 x 30 = 60
E ↔ I	2 x 20 = 40	2 x 30 = 60
F ↔ I	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
H ↔ I	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
Total	720 m	1080 m

Resumindo, o percurso completo efetuado por todos os empilhadores, resulta no somatório de todas as distâncias previamente identificadas, as quais variam de cerca de 7 quilómetros a 10 quilómetros diários.

Para avaliar o tempo necessário para realizar as distâncias calculadas, considerou-se a obrigatoriedade interna de não exceder a velocidade de 10 km/h nas movimentações dentro das instalações. Os valores obtidos basearam-se nas distâncias indicadas nas tabelas anteriores, considerando que, à velocidade máxima admitida, cada metro é percorrido em 0,36 segundos ou, representando de outra forma, considerando uma velocidade de aproximadamente 2,78 m/s (Tabela 10 a Tabela 12).

Tabela 10 - Tempo em percursos com repetição de quatro vezes ao dia

Percurso	Distância mínima (m) x Tempo (s)	Distância máxima (m) x Tempo (s)
A ↔ D	40 x 0,36 = 14,4	60 x 0,36 = 21,6
C ↔ D	20 x 0,36 = 7,2	30 x 0,36 = 10,8
Total	21,6 s	32,4 s

Tabela 11 - Tempo em percursos com repetição de dez vezes ao dia

Percurso	Distância mínima (m) x Tempo (s)	Distância máxima (m) x Tempo (s)
I ↔ B	80 x 0,36 = 28,8	120 x 0,36 = 43,2
Total	28,8 s	43,2 s

Tabela 12 - Tempo em percursos com repetição de hora a hora

Percurso	Distância mínima (m) x Tempo (s)	Distância máxima (m) x Tempo (s)
A ↔ E	60 x 0,36 = 21,6	90 x 0,36 = 32,4
A ↔ F	60 x 0,36 = 21,6	90 x 0,36 = 32,4
A ↔ G	100 x 0,36 = 36	150 x 0,36 = 54
A ↔ H	80 x 0,36 = 28,8	120 x 0,36 = 43,2
A ↔ I	80 x 0,36 = 28,8	120 x 0,36 = 43,2
C ↔ E	40 x 0,36 = 14,4	60 x 0,36 = 21,6
C ↔ G	80 x 0,36 = 28,8	120 x 0,36 = 43,2
C ↔ H	60 x 0,36 = 21,6	90 x 0,36 = 32,4
D ↔ E	20 x 0,36 = 7,2	30 x 0,36 = 10,8
D ↔ F	20 x 0,36 = 7,2	30 x 0,36 = 10,8
G ↔ E	40 x 0,36 = 14,4	60 x 0,36 = 21,6
E ↔ I	40 x 0,36 = 14,4	60 x 0,36 = 21,6
F ↔ I	20 x 0,36 = 7,2	30 x 0,36 = 10,8
H ↔ I	20 x 0,36 = 7,2	30 x 0,36 = 10,8
Total	259,2 s	388,8 s

Dos resultados indicados na Tabela 10, com uma repetição de quatro vezes ao dia, obtêm-se valores compreendidos entre 86,4 e 129,6 segundos. A partir dos tempos indicados na Tabela 11, com uma repetição de percursos de dez vezes ao dia, obtêm-se valores compreendidos entre 288 e 432 segundos. Com os tempos obtidos na Tabela 12, com uma repetição de hora a hora, obtêm-se valores compreendidos entre 2073,6 e 3110,4 segundos. A Figura 30 ilustra as situações assinaladas.

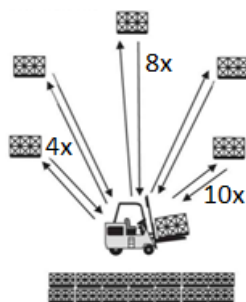


Figura 30 - Movimentação do empilhador aos vários locais. Adaptado de (Coimbra, 2013)

Como resultado dos valores obtidos, conclui-se que o somatório dos tempos de percurso fica compreendido entre 2448 e 3672 segundos, ou seja, tempos entre cerca de 40 minutos e 1 hora diárias, despendidos em movimentações realizadas pelos vários empilhadores.

3.1.2 – Comparação de percursos

Seguidamente, expõe-se o resultado hipotético da implementação de um comboio logístico, tendo em conta a informação mencionada, comparando com a situação inicial considerada.

Segundo Coimbra (Coimbra, 2013), o tempo de ciclo comum situa-se entre 20 e 60 minutos, ou seja, rotas que à partida sejam muito extensas podem ser divididas noutras menores, de modo a operarem mais comboios logísticos nas suas respetivas rotas.

Uma vez que o caso simulado apresenta secções com diferentes frequências de abastecimento, partiu-se do trajeto que necessita de mais entregas ao longo da jornada laboral para determinar o tempo de ciclo. Para a definição de quantos em quantos minutos seria necessário o comboio logístico passar, para assegurar dez abastecimentos em oito horas laborais, considerou-se o número de minutos de uma jornada de trabalho de 8 horas, ou seja, 480 minutos, tendo-se dividido este tempo por 10 abastecimentos e, assim, determinado um tempo de ciclo de 48 minutos para que comboio logístico passe em todas as secções.

Foi definida previamente a rota ideal com base no fluxo inicial implantado. Destaca-se a secção E, com grande influência no fluxo produtivo, pelo que, por uma questão

preventiva, se considerou que o comboio faria duas paragens nesta secção em cada percurso. Desta análise resulta a sequência de movimentos entre secções que se indica a seguir e está representada na Figura 31: A → C → D → E → H → G → H → E → F → I → F → D → C → B.

Poder-se-ia idealizar dois percursos diferentes, uma vez que as secções C e D apenas são abastecidas 4 vezes ao dia e as restantes sempre que o comboio faz um ciclo completo. No entanto, essas mesmas secções são abastecedoras de outras secções, pelo que apenas é equacionado um percurso neste caso de estudo.

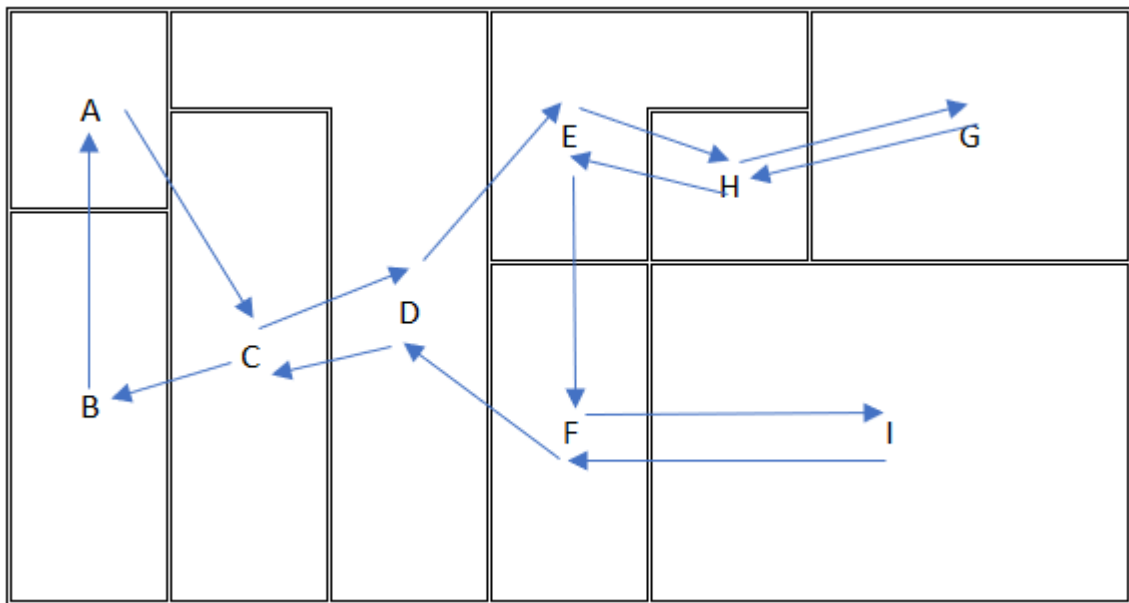


Figura 31 - Layout hipotético com representação do percurso do comboio logístico

Legenda: A – Armazém de matéria-prima; B – Armazém de produto acabado; C – Secção de chapa; D – Secção de tubo; E – Assemblagem de produtos intermédios; F – Secção de dobragem; G – Secção de estampagem; H – Secção de controlo de emissões; I – Assemblagem final

Tendo em conta a rota definida e fazendo a contabilização de movimentos entre secções, é possível apresentar o resumo desses movimentos na Tabela 13.

Tabela 13 - Percursos do comboio logístico

Percurso	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
A → C	10	15
C ↔ D	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
D → E	10	15
E ↔ H	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
H ↔ G	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
E → F	10	15
F ↔ I	2 x 10 = 20	2 x 15 = 30
F → D	10	15
C → B	10	15
B → A	10	15
Total	140 m	210 m

Atendendo a que é necessário realizar dez vezes ao dia o percurso indicado, e agregando a informação exibida na Tabela 13, é possível estimar as deslocações diárias aproximadamente entre 1,5 quilómetros e 2 quilómetros.

Considerando o máximo do percurso de 2 quilómetros e tendo por base que, na maioria dos comboios logísticos, a velocidade média de deslocação é de 8 km/h, conclui-se que em cerca de 15 minutos o comboio logístico efetua todo o seu percurso Figura 32.

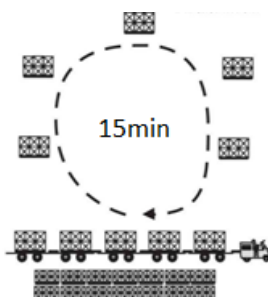


Figura 32 - Movimentação completa do comboio logístico. Adaptado de (Coimbra, 2013)

Com base no tempo de ciclo, anteriormente definido de 48 minutos, e subtraindo os 15 minutos utilizados para completar o percurso, restam 33 minutos para as restantes tarefas necessárias do comboio logístico.

Além do percurso a realizar, o comboio tem agora cerca de 33 minutos para cargas e descargas nas recolhas e nos abastecimentos, tanto nos locais de paragem definidos nas secções para o efeito, como no supermercado do armazém de produtos intermédios, o que é um tempo bastante razoável para efetuar as operações.

Na gama de comboios logísticos existentes no mercado, como foi referido, os mais comuns deslocam-se a cerca de 8 km/h. No entanto, existem opções com velocidades de 6 km/h e outras opções com velocidades até 15 km/h. Tendo em conta estes valores, o percurso demoraria entre 8 e 20 minutos a ser realizado, respetivamente, para a velocidade mais rápida e para a mais lenta. Note-se que, as velocidades referidas dizem respeito a velocidades médias e não velocidades de ponta, tendo em conta as desacelerações ao curvar e nas aproximações aos bordos de linha.

Para um cenário de nível de atividade intermédia/fraca, que ocorre apenas ocasionalmente, seria de considerar uma alteração em relação ao nível de atividade intensa/intermédia apenas para a secção H que é abastecida, em média, apenas uma vez durante um dia laboral. Embora no abastecimento da secção H haja uma redução de 90% da necessidade de movimentações, a procura de abastecimento da secção G faz com que o percurso continue a ser o mesmo, sem variação da distância a ser percorrida pelo comboio logístico.

Na Tabela 14 são apresentadas hipóteses de paragens e rotas que podem ocorrer no percurso do comboio logístico, dependendo das necessidades. Como se poderá constatar, considera-se à partida a hipótese B como a situação padrão, uma vez que neste caso de estudo, a secção E, tem influência direta na montagem final, com junção de vários pequenos produtos intermédios vindos de secções anteriores.

Na hipótese A pode-se verificar que o comboio apenas efetua uma paragem em cada secção ao longo da rota, tendo em conta um atividade intensa/intermédia, que dará um total de 8 paragens no percurso. Na hipótese B, considerado como padrão por ser o mais provável, inclui-se a repetição da paragem na secção E, com um total de 9 paragens no percurso, tendo em conta um nível de atividade intenso/intermédio. Na hipótese C, o comboio efetua paragens em todas as secções ao longo da rota, repetindo por duas vezes a paragem nas secções E e H, o que perfaz um total de 10 paragens no percurso, tendo em consideração uma atividade intensa/intermédia. Por fim, considerou-se a hipótese D, com uma intensidade intermédia/fraca, que não tem a necessidade de abastecer a secção H e, portanto, apresenta apenas 7 paragens nesta rota.

Tabela 14 - Resumo das paragens do comboio logístico

Paragens		Total de Paragens
Hipótese A	Percurso em atividade intensa/intermédia com o mínimo de paragens necessárias.	
Rota da hipótese A	C → D → G → H → E → F → I → B	8
Hipótese B	Percurso em atividade intensa/intermédia com repetição de uma paragem durante o percurso. Situação considerada como padrão no caso de estudo.	
Rota da hipótese B	C → D → E → G → H → E → F → I → B	9
Hipótese C	Percurso em atividade intensa/intermédia com paragens em todas as secções durante o percurso.	
Rota da hipótese C	C → D → E → H → G → H → E → F → I → B	10
Hipótese D	Percurso em atividade intermédia/fraca com o mínimo de paragens necessárias.	
Rota da hipótese D	C → D → G → E → F → I → B	7

3.1.3 – Dimensionamento

Tendo em consideração que no caso de estudo simulado, maioritariamente os produtos movimentados não apresentam grandes dimensões, e os lotes são relativamente reduzidos, devido às secções existentes, numa primeira fase, considerou-se para o tempo do percurso do comboio ($t_{percurso}$), o tempo de carga e descarga ($t_{descarga}$) no supermercado de cada carruagem e o tempo de paragem ($t_{paragem}$) em todas as estações necessárias.

No caso concreto, os tempos usados podem ser obtidos por observação da duração de tarefas realizadas pelos colaboradores, semelhantes às necessárias ao funcionamento de um comboio logístico. Os tempos médios medidos podem ser transpostos para o processo de dimensionamento do comboio, considerando uma margem de segurança. Na Tabela 15 e na Tabela 16 apresentam-se tempos típicos, observados em situações semelhantes, para atividades de carga/descarga e para tempos de paragem. Para que haja uma folga no arranque da implementação do comboio logístico, de modo a não pôr em causa a viabilidade de um projeto de implementação, os valores de referência considerados são de 4 minutos para o tempo de carga e descarga de uma carruagem, e de 2 minutos para o tempo de paragem numa estação.

Tabela 15 - Tempos de carga e descarga considerados

Observação de tempos de carga e descarga (m:ss)	
Observação 1	3:30
Observação 2	3:41
Observação 3	3:34
Observação 4	3:44
Observação 5	3:48
Observação 6	3:48
Observação 7	3:39
Observação 8	3:44
Observação 9	3:38
Observação 10	3:35
Observação 11	3:45
Observação 12	3:39
Observação 13	3:25
Observação 14	3:40

Tabela 16 - Tempos de paragem considerados

Observação de tempos de paragem (m:ss)	
Observação 1	1:33
Observação 2	1:41
Observação 3	1:32
Observação 4	1:40
Observação 5	1:43
Observação 6	1:45
Observação 7	1:41
Observação 8	1:33
Observação 9	1:46

Na Tabela 17 são apresentados os valores das variáveis que são refletidas posteriormente na simulação dos vários cenários.

Tabela 17 - Definição de variáveis para os vários cenários

Cenário	Variáveis (min)					
	t_{ciclo}	$t_{percurso}$	$t_{descarga}$	$n_{carruagens}$	$t_{paragem}$	$n_{estações}$
C1	48	15	4	?	2	9
C2	48	15	4	?	2	10
C3	48	15	4	?	2	8
C4	48	15	4	?	2	7
C5	48	15	?	4	2	9
C6	48	8	4	?	2	9
C7	48	20	4	?	2	9
C8	?	8	4	4	2	8

- Cenário 1

Para o cenário 1, considera-se um tempo de ciclo de 48 minutos, que o percurso demora em média cerca de 15 minutos, como referido anteriormente, tendo em conta a deslocação média da gama de comboios logísticos mais correntes no mercado, o tempo de carga e descarga de 4 minutos por cada carruagem e o tempo de paragem de 2 minutos por cada uma das 9 estações necessárias. Resulta da substituição dos valores das variáveis conhecidas na equação (2.1) um número ideal de 3 carruagens no comboio logístico.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 15 + (4 \times n_{carruagens}) + (2 \times 9)$$

$$n_{carruagens} \approx 3$$

A simulação efetuada, considerada a situação padrão, com um valor médio de tempo de percurso e com o máximo de 9 abastecimentos nas estações, que corresponde à hipótese B como se mostrou na Tabela 14.

Determinado o cenário padrão e conhecido o número de carruagens possíveis para as variáveis estabelecidas, vão agora simular-se outros cenários, alterando as diferentes variáveis e aferindo os resultados obtidos.

- Cenário 2

O cenário 2 corresponde à variação do número de paragens máximo, ou seja, 10 paragens, correspondente à hipótese C da Tabela 14. Trata-se de uma situação que não é a mais comum e desejável num ambiente industrial, porque fará aumentar o tempo de ciclo, tornando-se um estrangulador no próprio fluxo produtivo. As restantes variáveis mantêm-se todas inalteradas. O resultado da aplicação da equação (2.1) é o que se indica a seguir.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 15 + (4 \times n_{carruagens}) + (2 \times 10)$$

$$n_{carruagens} \approx 3$$

- Cenário 3

O cenário 3 corresponde a alterar o número de paragens para 8, hipótese A da Tabela 14, mantendo as restantes variáveis inalteradas.

Este cenário corresponde a uma situação previsivelmente comum no futuro, após estabilização e melhoria de processos, sendo possível, como se pode verificar, o comboio transitar com 4 carruagens.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 15 + (4 \times n_{carruagens}) + (2 \times 8)$$

$$n_{carruagens} \approx 4$$

- Cenário 4

O cenário 4 considera um número de paragens mínimo, ou seja, como se mostrou na Tabela 14, com a hipótese D, que poderá acontecer num contexto de atividade intermédia/fraca, sendo também possível, como resulta do cálculo abaixo, o comboio transitar com 4 carruagens.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 15 + (4 \times n_{carruagens}) + (2 \times 7)$$

$$n_{carruagens} \approx 4$$

- Cenário 5

O cenário 5 simula a variação do tempo de carga e descarga, considerando a utilização de 4 carruagens e o tempo de carga e descarga por carruagem a ser otimizado.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 15 + (t_{descarga} \times 4) + (2 \times 9)$$

$$t_{descarga} \approx 3,75$$

O cálculo efetuado permitiu verificar que se o tempo de carga e descarga for um valor igual ou inferior a 3,75, ou seja, 3 minutos e 45 segundos, seria praticável a comboio logístico percorrer toda a distância necessária dentro do tempo de ciclo estipulado.

- Cenário 6

O cenário 6 apresenta uma simulação para a situação com o menor tempo de percurso referido (8 minutos), mantendo as restantes variáveis da situação padrão.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 8 + (4 \times n_{carruagens}) + (2 \times 9)$$

$$n_{carruagens} \approx 5$$

Nesta situação, verifica-se que utilizando rebocadores que tenham velocidades superiores aos equipamentos mais comuns no mercado, quando o tempo de percurso diminui, podem ser utilizadas até 5 carruagens. Ou seja, o tempo despendido nos cenários anteriores no tempo de percurso, estaria a ser utilizado para carga e descarga de mais carruagens.

- Cenário 7

O cenário 7 corresponde à situação apresentada com um pior desempenho no tempo de percurso (duração de 20 minutos), mantendo as restantes variáveis da situação padrão.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$48 \geq 20 + (4 \times n_{carruagens}) + (2 \times 9)$$

$$n_{carruagens} \approx 2$$

Utilizando um rebocador mais lento, tendo a necessidade de efetuar 9 paragens, com um tempo de ciclo de 48 minutos, o cálculo apresentado indica a possibilidade de apenas ser possível usar 2 carruagens.

- Cenário 8

O cenário 8 refere-se a uma situação de perfeição com a otimização razoável das várias variáveis, poder-se-ia equacionar um comboio logístico com 4 carruagens, parando em 8 estações e efetuando o percurso em 8 minutos.

$$t_{ciclo} \geq t_{percurso} + (t_{descarga} \times n_{carruagens}) + (t_{paragem} \times n_{estações}) \quad (2.1)$$

$$t_{ciclo} \geq 8 + (4 \times 4) + (2 \times 8)$$

$$t_{ciclo} \approx 40$$

Esta situação resultaria, num tempo de ciclo de 40 minutos, o que aumentaria de 10 vezes para 12 vezes, o número de percursos a realizar num dia pelo comboio.

- Análise comparativa dos cenários estudados

Comparando apenas os cenários 1 e 2, podemos concluir que o número máximo de carruagens é de 3 quando existe a necessidade de abastecer o máximo de secções, com 9 ou 10 paragens. Isto acontece quando se considera o tempo de ciclo de 48 minutos previamente estipulado, com o tempo de percurso de 15 minutos para uma deslocação média dos comboios logísticos, 4 minutos para cargas e descargas de cada carruagem e 2 minutos de paragem em cada estação.

De seguida, com os cenários 3 e 4, é possível confirmar, a exequibilidade de o comboio logístico ter 4 carruagens, poder completar o percurso dentro do tempo de ciclo definido, embora com o constrangimento do número de paragens.

Num cenário 5 foi testada qual seria a necessidade de otimizar os tempos de descarga de 4 carruagens, numa rota de 9 paragens e no tempo de ciclo definido.

No cenário 6 analisou-se qual seria o aumento do número de carruagens, investindo num rebocador mais veloz. No cenário 7, estudou-se a situação oposta, investindo num rebocador menos veloz, determinando o número máximo possível de carruagens, considerando as restantes variáveis inalteradas em ambos os cenários.

Por fim, no cenário 8, foi considerada um equilíbrio moderado das variáveis, de modo a obter um menor tempo de ciclo.

Para uma melhor perceção dos resultados obtidos foi elaborada a Tabela 18:

Tabela 18 - Resumo dos resultados obtidos para os vários cenários

Cenário	Tempo (min)						
	t_{ciclo}	$t_{percurso}$	$t_{descarga}$	$n_{carruagens}$	$t_{paragem}$	$n_{estações}$	$t_{remanescente}$
C1	48	15	4	3	2	9	3
C2	48	15	4	3	2	10	1
C3	48	15	4	4	2	8	1
C4	48	15	4	4	2	7	3
C5	48	15	3,75	4	2	9	0
C6	48	8	4	5	2	9	2
C7	48	20	4	2	2	9	2
C8	40	8	4	4	2	8	8

O tempo remanescente ($t_{remanescente}$) indicado na Tabela 18 corresponde à subtração ao tempo de ciclo (t_{ciclo}) dos tempos de percurso ($t_{percurso}$), dos tempos de descarga ($t_{descarga}$) das várias carruagens e dos tempos de paragem ($t_{paragem}$) nas várias estações. O tempo remanescente é o tempo sobranete em cada giro e, portanto, o tempo disponível que o comboio logístico teria entre cada ciclo. Verifica-se que no cenário 1, considerada a situação padrão, o comboio logístico teria 3 minutos de margem em cada ciclo, o que ao final de um dia laboral (10 giros), seriam 30 minutos. No caso do cenário 8, em que se pretendia otimizar o tempo de ciclo e se obteve 40 minutos de tempo de ciclo, há duas situações a considerar. Mantendo os 10 percursos

diários, obtém-se 8 minutos de margem, o que diariamente perfaria 80 minutos; na possibilidade de fazer 12 percursos diários, haveria uma margem de zero minutos, o que poderia causar impacto negativo na *performance* do nível de serviço, porque não haveria tempo para colmatar alguma eventualidade que possa correr menos bem.

No dimensionamento das carruagens, teve-se em consideração que em cada carruagem é possível o transporte até 16 caixas KLT (ver exemplo na Figura 33), com um tamanho máximo de 600mm por 400mm, ou seja, 4 caixas de tamanho máximo por 4 níveis de altura. Em comparação com o transporte efetuado pelos empilhadores na situação de partida, normalmente em contentores com área aproximada de uma europaleta¹⁰, com 1200mm por 800mm, foi considerado bastante razoável para efetuar o mesmo tipo de movimentações e espaço necessário, uma vez que os contentores são transportados no máximo em 4 níveis empilhados entre si, e que na grande maioria das vezes, ao serem transportados, não apresentarem o possível espaço disponível, totalmente ocupado.



Figura 33 - Exemplo de caixas KLT (Disset Odiseo, 2021)

¹⁰ Europaleta é a denominação dada a uma paleta com as dimensões específicas mais utilizadas (1200 mm por 800 mm) e com os anagramas circulares com as letras EUR e EPAL (símbolo da *European Pallet Association*).

Verifica-se ainda que, neste caso de estudo, e tendo em conta estes dados para a próxima etapa do caso, uma carruagem do comboio logístico tem uma capacidade praticamente igual (exemplo na Figura 34) ao contentor transportado por um empilhador.



Figura 34 - Exemplo de contentor usado pelos empilhadores (Packaging Revolution, 2021)

Levando em conta que, na sua maioria, os empilhadores transportam, em média, um contentor com 2/3 de carga completa, numa segunda fase, foi avaliada a respetiva carga no comboio logístico.

Contabilizando as deslocações para uma situação representativa da maioria das secções, com 8 deslocações diárias, e considerando $2/3 \approx 67\%$ da ocupação disponível de carga em 8 deslocações, obtém-se o valor aproximado de 5,33 contentores totalmente preenchidos diariamente para essas secções. Para os percursos a realizar pelo comboio logístico, que são 10 percursos diários, e dividindo os 5,33 contentores pelas 10 movimentações, chega-se à conclusão que em cada carruagem é apenas ocupado 53% do espaço da carruagem por cada secção.

No entanto, como um dos objetivos seria reduzir os *stocks* intermédios em cada secção, vai simular-se a redução de 25% do material no bordo de linha, sem comprometimento do normal fluxo de abastecimento.

Assim sendo, reduzindo 25% dos 53% de ocupação que cada secção ocupa em cada carruagem em cada percurso, estima-se que a ocupação seja de 40% aproximadamente. Este valor é satisfatório quando idealizado para um comboio logístico com 4 carruagens.

Tabela 19 - Ocupação por carruagem num percurso com 9 paragens

Percurso	Secções a abastecer	Número total de secções que tinham enviado para esta paragem	Número total de secções no comboio logístico	Ocupação por cada secção (em carruagens)
A → C	D; E; F; G; H; I (+6)	0	6	40% x 6 = 2,4
C → D	D; E; G; H (+4)	0	10	40% x 10 = 4
D → E	E; F (+2)	2	10	40% x 10 = 4
E → G	(+0)	3	7	40% x 7 = 2,8
G → H	E (+1)	2	6	40% x 6 = 2,4
H → E	I (+1)	2	5	40% x 5 = 2
E → F	I (+1)	1	5	40% x 5 = 2
F → I	I (+1)	2	4	40% x 4 = 1,6

Relativamente ao percurso I → B, não foi adicionado à Tabela 19, porque na última paragem I, todas as carruagens são descarregadas para montagem final, ficando todo o espaço do comboio logístico disponível para o transporte de produtos acabados para o armazém B.

Após esta análise, verificou-se que algumas das premissas assumidas no início do estudo poderiam ser melhoradas, pelo que se aprofundou a questão da necessidade de efetuar duas paragens na secção E, e que consequências poderia trazer ao funcionamento do comboio logístico.

Refez-se a tabela anterior, Tabela 19, incluindo apenas uma paragem na secção E, de modo a verificar se comprometiam as análises anteriormente efetuadas. Apurou-se que a necessidade de dupla paragem na referida secção não é totalmente necessária, confirmando-se que o número mínimo necessário de carruagens para o bom funcionamento do comboio logístico é de 4 carruagens, como pode ver-se na Tabela 20.

Tabela 20 - Ocupação por carruagem num percurso com 8 paragens

Percurso	Secções a abastecer	Número total de secções que tinham enviado para esta paragem	Número total de secções no comboio logístico	Ocupação por cada secção (em carruagens)
A → C	D; E; F; G; H; I (+6)	0	6	40% x 6 = 2,4
C → D	D; E; G; H (+4)	0	10	40% x 10 = 4
D → G	E; F (+2)	2	10	40% x 10 = 4
G → H	E (+1)	2	9	40% x 9 = 3,6
H → E	I (+1)	2	8	40% x 8 = 3,2
E → F	I (+1)	4	5	40% x 5 = 2
F → I	I (+1)	2	4	40% x 4 = 1,6

Com estas comparações de cargas e redução de *stocks* intermédios, é perceptível que a situação padrão inicialmente idealizada, poderá não corresponder às necessidades, porque serão necessárias 4 carruagens para fazer o transporte de todas as matérias-primas e produtos intermédios necessários à laboração normal deste caso de estudo, sendo necessário equacionar outras medidas para implementar um comboio logístico. Portanto, todos os cenários que apresentaram o número de três carruagens foram abandonados e todas as situações que equacionem o número mínimo de 4 carruagens e de 8 paragens são exequíveis.

Com todos estes dados, o cenário 3 passa a ser considerado o cenário padrão, não pondo em risco a performance ou o bom funcionamento do comboio logístico.

Quanto aos colaboradores necessários para o funcionamento de um comboio logístico, é consensual na literatura, que o número de colaboradores mínimo são dois, um como operador logístico, que manobra o rebocador, deixando e recolhendo contentores de matéria-prima nos locais definidos, e um outro colaborador para constante reabastecimento do supermercado com os produtos necessários à cadeia de abastecimento. Contudo e de acordo com o tamanho da empresa e a complexidade dos produtos, a hipótese de equacionar mais um colaborador para o reabastecimento do supermercado será sempre uma opção a ter em conta.

3.1.4 – Comparação de soluções e tecnologias

Fazendo uma comparação entre a situação de uso de empilhadores e a solução de comboio logístico apresentada, poder-se-á retirar algumas ilações que se resumem na Tabela 21.

Tabela 21 - Comparação da situação inicial (empilhadores) e com um comboio logístico

Situação Inicial (Empilhadores)	Comboio logístico
<ul style="list-style-type: none"> • 5 empilhadores para transporte de produtos intermédios 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 comboio logístico com 4 carruagens
<ul style="list-style-type: none"> • 1 ou 2 empilhadores para transporte de produto acabado 	
<ul style="list-style-type: none"> • 6 a 7 colaboradores diretamente alocados a movimentações em tempo parcial 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 operador logístico a tempo inteiro
<ul style="list-style-type: none"> • 1 colaborador no reabastecimento de matérias-primas 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 a 2 colaboradores no reabastecimento do supermercado
<ul style="list-style-type: none"> • 7 a 10 quilómetros diários 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,5 a 2 quilómetros diários
<ul style="list-style-type: none"> • 1 hora diária de movimentações distribuídas pelos vários empilhadores 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 horas e 30 minutos diários de movimentações

Resulta da avaliação efetuada que a redução em recursos humanos diretamente alocados a movimentações apresenta uma redução de 83% a 86% face à situação inicial, passando de 6 a 7 colaboradores para apenas 1 operador logístico. No reabastecimento do supermercado, poder-se-ia realocar um colaborador de movimentações. Na redução de distâncias efetuadas cifra-se em valores da ordem de 79% a 80%, passando de distâncias de 7 a 10 quilómetros para 1,5 a 2 quilómetros e culminando em termos de tempo despendido nas movimentações, com um aumento de 60%, que representa a alteração de 1 hora para 2 horas e 30 minutos diários de movimentações.

Apesar das vantagens de implementação de um comboio logístico, em alternativa existem outras tecnologias mais simples e baratas, como os porta-paletes e os *stackers* que a empresa pode utilizar para pequenas movimentações.

O porta-paletes (Figura 35) proporciona versatilidade, manutenção reduzida e extrema resistência, mas que depende do esforço do colaborador para ser manipulado.



Figura 35 - Exemplo de um porta-paletes (Linde Material Handling, 2021)

Quanto aos *stackers* (Figura 36), por serem elétricos, apresentam o benefício de redução de esforço físico ao colaborador, embora exijam maior manutenção e necessidade de formação dos colaboradores para serem manipulados (Linde Material Handling, 2021).



Figura 36 - Exemplo de um stacker (Linde Material Handling, 2021)

Estas duas tecnologias, tal como os empilhadores, dependem sempre de um colaborador por equipamento.

Uma outra solução que emergiu posteriormente ao comboio logístico, é a utilização de veículos de orientação automáticos (AGV). Apresentam um custo mais elevado que as demais soluções, têm elevada manutenção, mas, em contrapartida, têm uma redução dos custos laborais por serem autónomos e de navegação automática, guiados por bandas magnéticas, ou por orientação a laser, ou geolocalizados, apresentando também um aumento no nível de segurança industrial.

A tecnologia AGV (Figura 37) seria uma ótima alternativa ao comboio logístico e que poderia ser esmiuçada e também equacionada como solução pelas empresas. Embora apresente um custo de investimento inicial alto, superior ao da implementação de um comboio logístico, os possíveis ganhos são igualmente fatores a ter em consideração.

Segundo Rahman (Rahman, Janardhanan, & Nielsen, 2020), os AGV estão dependentes de um bom sistema de planeamento ERP, para alcançar um abastecimento eficiente das linhas de produção.



Figura 37 - Exemplo de um veículo de orientação automático – AGV (Fedorko, Molnar, Honus, Neradilova, & Kampf, 2018)

3.1.5 – Layout

É proposto um novo *layout* ao esquema apresentado na situação inicial, que visa melhorar a distribuição das secções no espaço laboral existente, indo ao encontro de um melhor fluxo de materiais desta unidade.

Esta melhoria traria não só uma menor movimentação de produtos relativamente à situação inicial, o que diminuiria o desperdício de movimentações.

A sugestão de novo *layout* é hipotética, não tendo em consideração as dificuldades reais que por vezes as unidades fabris apresentam. As secções apresentam áreas relativamente semelhantes, mantendo as características já existentes, sendo proposta apenas a alteração de forma geral, a distribuição numa visão global desta empresa.

Na Figura 38 é possível observar o novo *layout* proposto em forma de “ \supset ”, com um processo fluído desde o início da transformação da matéria-prima até ao término do produto final, que permitiria manter a flexibilidade existente.

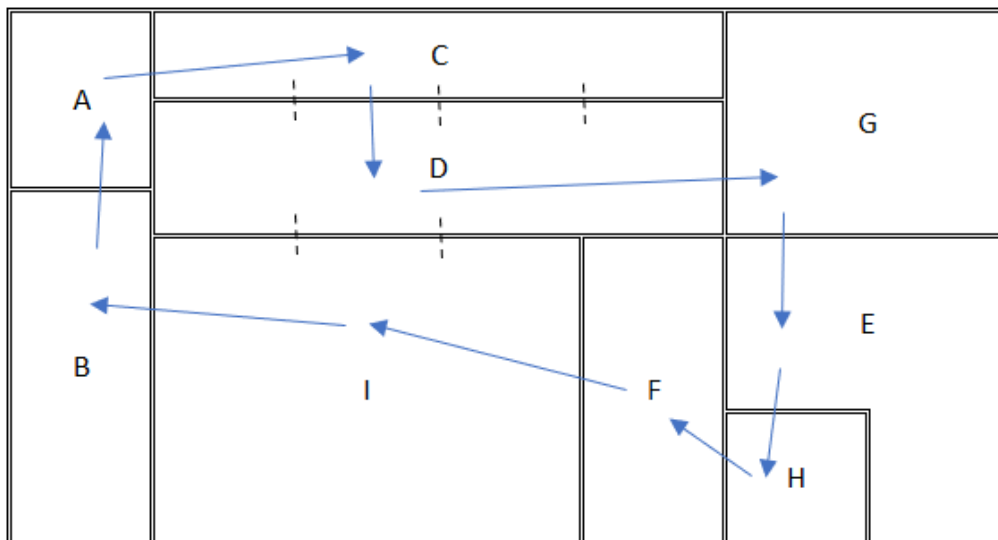


Figura 38 - Reformulação de novo layout

Legenda: A – Armazém de matéria-prima; B – Armazém de produto acabado; C – Secção de chapa; D – Secção de Tubo; E – Assemblagem de produtos intermédios; F – Secção de dobragem; G – Secção de estampagem; H – Secção de controlo de emissões; I – Assemblagem final

As movimentações necessárias dentro de cada secção diminuiriam, proporcionando um encadeamento produtivo, o que simplificaria o fluxo de produtos intermédios e, conseqüentemente, uma diminuição dos *stocks* intermédios.

Com este novo *layout*, é apresentado na Tabela 22, o resumo do novo percurso que seria realizado pelo comboio logístico.

Tabela 22 - Percursos do comboio logístico em novo layout

Percurso	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
A → C	20	30
C → D	10	15
D → G	30	45
G → E	10	15
E → H	10	15
H → F	10	15
F → I	20	30
I → B	20	30
B → A	10	15
Total	140 m	210 m

Com os dados apresentados, é possível observar os benefícios que um novo *layout* mais fluído poderia trazer à empresa, como flexibilidade quanto ao lote dos produtos e a diminuição de *stocks* intermédios. No entanto, com a aplicação do comboio logístico, quer no *layout* existente, quer no *layout* proposto, o comprimento de percurso seria exatamente o mesmo, nas duas situações.

3.1.6 – RFID

A tecnologia RFID, por si só, apresenta variados benefícios, os quais poderiam aliar-se à implementação de um comboio logístico, trazendo ao projeto simplicidade, controlo e rigor, que permitiriam adicionar ainda mais vantagens competitivas.

“A velocidade de implementação de novas tecnologias ajudará as empresas não só a economizar custos, mas também a manterem-se competitivas. A interconexão de tecnologias com elementos físicos traz novas possibilidades na produção, transporte, armazenamento, manutenção, em tudo no geral, são uma oportunidade para as empresas” (Pekarcikova, Trebuna, Kliment, & Dic, 2021)

Para a implementação da tecnologia RFID, considerar-se-ia uma *tag* por contentor/lote de produtos, o que representaria milhares de *tags* ativas simultaneamente, multiplicadas pelos vários artigos em processo. Relativamente a leitores RFID, seria necessária a utilização de dois pórticos, quer para o armazém de matérias-primas, quer para o armazém de produto acabado, para controlo do *stock* dos produtos em vias de fabrico. Posteriormente através de leitores de RFID

diretamente interligados com os postos de recolha de dados, estes estariam disponíveis para movimentação de *stocks* e ordens de fabrico.

Das características que podem dificultar uma implementação do RFID, destaca-se a resistência à mudança intrínseca ao ser humano a novas tecnologias, os custos iniciais desta tecnologia, quer das infraestruturas, quer de todos os componentes necessários. Tratando-se neste caso prático de uma empresa em que as principais matérias-primas são metais, estes podem interferir com as corretas leituras e funcionamento, sendo necessário *hardware* robusto e de qualidade, o que pode encarecer mais este tipo de implementação (Finkenzeller, 2010), (Hunt, Puglia, & Puglia, 2007).

Assim propõe-se tirar partido da tecnologia, não só na aplicação de identificação dos produtos, mas aplicando especificamente ao *kanban* eletrónico que suporta o cenário inicial, substituindo a identificação através de código de barras pela tecnologia RFID. Isso permitiria continuar com a funcionalidade existente de forma puxada da necessidade de produção dos produtos anteriores, assim como a partilha de informação de atualização do *stock* existente de forma ainda mais concisa e correta, e de modo que seja mais “*on time*” com a necessidade mais facilitada para o colaborador.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÃO

4.1 – Síntese do trabalho

O presente documento foi o resultado do estudo e pesquisa dos processos necessários para a implementação de um comboio logístico para a melhoria dos processos de logística interna.

Durante a elaboração deste projeto, houve alguns percalços, como uma mudança de local de trabalho e uma pandemia, o que obrigou a alguns interregnos na elaboração deste documento, assim como algumas alterações das metodologias iniciais e do desenrolar natural do projeto.

Numa primeira fase, indo ao encontro aos objetivos da empresa, analisaram-se as necessidades e principais problemas a colmatar na empresa. Este processo foi dos mais enriquecedores do projeto, adicionando neste caso particular, a vantagem da possibilidade de ser “*in loco*”, podendo-se analisar e retirar informação do processo existente, percebendo a dimensão da alteração pretendida e da perceção visual do seu funcionamento.

Na etapa seguinte, realizada praticamente em simultâneo, efetuou-se uma pesquisa bibliográfica para o aprofundamento dos conhecimentos da metodologia *Lean*, o que fez com que se fosse idealizando como seria a possível implementação de um comboio logístico.

De seguida, e já com as restrições mencionadas a impactarem a realização do projeto, iniciou-se a estruturação do projeto com base no conhecimento obtido e o *know-how* adquirido durante a permanência na empresa. Isso serviu para se ir conjeturando de uma forma mais generalizada um possível funcionamento industrial de um comboio logístico, encontrando soluções para o objetivo pretendido.

Finalmente, desenvolveu-se o projeto, evidenciando as características, os conceitos e alguns aspetos a ter em conta na implementação, considerando as informações recolhidas inicialmente, para que os objetivos pudessem ser alcançados.

4.2 – Principais Conclusões, e desenvolvimentos futuros

Com este projeto pretendia-se estudar a implementação de um comboio logístico, para obter uma redução dos *stocks* intermédios e os desperdícios existentes.

Pode concluir-se que das várias tecnologias disponíveis, a implementação de um comboio logístico poderia suprir as necessidades, reduzindo os *stocks* intermédios, e os custos. Estes seriam reduzidos numa perspetiva de longo prazo, quer em *stocks* não rotativos, quer em mão-de-obra. Verificou-se que seria possível passar de 6 a 7 colaboradores diretamente alocados a movimentações para apenas 1 colaborador como operador logístico, o que corresponderia a uma redução na ordem de 83% a 86%. Da mesma maneira, as possíveis faltas de matéria-prima estariam mais controladas, as paragens de máquinas e pessoas, seria uma situação quase inexistente, o que também promoveria uma melhoria da produtividade.

De referir que o comboio logístico, relativamente aos empilhadores, iria ser muito mais eficiente nas deslocações, quer em deslocações em vazio, quer em deslocações mal rentabilizadas, e iria também, percorrer muito menos distâncias totais que a totalidade de empilhadores necessários para fazer as mesmas tarefas, como foi apresentado no capítulo anterior, obtendo-se uma redução de 79% a 80%, embora represente também um acréscimo de 60% de tempo despendido em movimentações.

Numa primeira fase, na comparação dos vários cenários, pode concluir-se que o uso de 3 carruagens era possível para situações iguais ou superiores a 9 paragens, e o uso de 4 carruagens em situações em que o percurso tivesse menos de 9 paragens.

Num outro cenário, com 9 paragens, foi possível demonstrar que, havendo a possibilidade de baixar o tempo de carga e descarga em 15 segundos por carruagem, seria praticável utilizar 4 carruagens.

Poder-se-ia utilizar 5 carruagens num comboio logístico em situações idênticas ao caso de estudo, caso o rebocador utilizado fosse mais rápido que os rebocadores mais comuns. No entanto, utilizando apenas 4 carruagens, seria possível e mais vantajoso, portanto teria o custo de menos uma carruagem, baixaria o tempo de ciclo e poderiam ser efetuadas mais cargas e descargas se necessário.

Posteriormente, na análise de ocupação de cargas, a implementação do comboio logístico inicialmente considerado, com a utilização de três carruagens, como padrão neste caso de estudo, deixou de apresentar os mínimos necessários para a implementação, reestabelecendo-se, como mínimo quatro carruagens para oito

paragens. Para este caso de estudo, é expectável que os tempos de carga e descarga e/ou paragem possam ser otimizados com formação, experiência e conhecimento que os colaboradores vão adquirindo ao longo do tempo. Além disso, poderão equacionar-se outros cenários, para a implementação de um comboio logístico com quatro carruagens sem comprometer os abastecimentos necessários.

A possibilidade de alteração do *layout* indo ao encontro do sentido do fluxo dos materiais, traria ganhos significativos a vários níveis, embora não diretamente ligados à implementação de um comboio logístico, mas no que respeita à metodologia *Lean* e melhoria contínua.

No que concerne aos desenvolvimentos futuros, com o amadurecimento da tecnologia AGV, seria uma tecnologia a idealizar e a apresentar no seguimento do trabalho aqui desenvolvido, comparando com a possível implementação do comboio logístico as vantagens e desvantagens que cada tecnologia apresenta, assim como os benefícios na possível alteração de tecnologia.

Quanto à tecnologia RFID, abordada superficialmente, propõe-se a sua implementação, uma vez que na ideia inicial seria apenas para explorar as sinergias conjuntas com a implementação do comboio logístico.

Ao nível ergonómico, seria de avaliar o estudo de possíveis lesões para os colaboradores diretamente ligados ao comboio logístico, no que toca ao abastecimento de cargas e descargas das carruagens, para compreender as possíveis implicações nos colaboradores e sugerir alterações de processo e melhoria contínua.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Airsec. (2021). Obtido de <https://airsec-eas.com/quickly-understand-rfid-in-a-few-minutes.html>
- Alnahhal, M., Ridwan, A., & Noche, B. (2014). In-plant milk run decision problems. *International Conference on Logistics Operations Management*. IEEE. doi:10.1109/gol.2014.6887421
- BLM Group. (2021). Obtido de <https://www.blmgroup.com/pt/>
- Bocewicz, G., Banaszak, Z., Rudnik, K., Witczak, M., Smutnicki, C., & Wikarek, J. (2020). Milk-run Routing and Scheduling Subject to Fuzzy Pickup and Delivery Time Constraints: An Ordered Fuzzy Numbers Approach. *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, pp. 1-10. doi:10.1109/fuzz48607.2020.9177733
- Bocewicz, G., Nielsen, I., Gola, A., & Banaszak, Z. (2021). Reference model of milk-run traffic systems prototyping. *International Journal of Production Research*, *59*(15), pp. 4495-4512. doi:10.1080/00207543.2020.1766717
- Burganova, N., Grznar, P., Gregor, M., & Mozol, Š. (2021). Optimisation of Internal Logistics Transport Time Through Warehouse Management: Case Study. *Transportation Research Procedia*, *55*, pp. 553-560. doi:10.1016/j.trpro.2021.07.021
- Caputo, A., Pelagagge, P., & Salini, P. (2017). Modeling errors in parts supply processes for assembly lines feeding. *Industrial Management & Data Systems*, *117*(6), pp. 1263-1294. doi:10.1108/IMDS-08-2016-0333
- Car Stereo. (2021). Obtido de <https://www.carstereo.com.br/>
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management* (4^a ed.). Harlow: Financial Times Prentice Hall.
- Coimbra, E. A. (2013). *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. New York: McGraw-Hill Education.
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2007). *Gestão da Produção* (5^a ed.). Paris, France: Lidel.
- Disset Odiseo. (2021). Obtido de <https://www.dissetodiseo.com/pt/produto/gran-contenedor-para-materias-primas/>
- EFD Induction. (2021). Obtido de <https://www.efd-induction.com/en>
- Fathi, M., Nourmohammadi, A., Ghobakhloo, M., & Yousefi, M. (2020). Production Sustainability via Supermarket Location Optimization in Assembly Lines. *Sustainability*, *12*(11), p. 4728. doi:10.3390/su12114728

- Fedorko, G., Molnar, V., Honus, S., Neradilova, H., & Kampf, R. (2018). The Application of Simulation Model of a Milk Run to Identify the Occurrence of Failures. *International Journal of Simulation Modelling*, 17(3), pp. 444–457. doi:10.2507/ijssimm17(3)440
- Finkenzeller, K. (2010). *RFID handbook : fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Gasori. (2021). Obtido de <http://www.gasori.com/urbelaser/>
- Gil Vilda, F., Yagüe-Fabra, J. A., & Sunyer Torrents, A. (2020). An in-plant milk-run design method for improving surface occupation and optimizing mizusumashi work time. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 69(1), pp. 405-408. doi:10.1016/j.cirp.2020.03.012
- Gotthardt, S., Hulla, M., Eder, M., Karre, H., & Ramsauer, C. (2019). Digitalized milk-run system for a learning factory assembly line. *Procedia Manufacturing*, 31, pp. 175-179. doi:10.1016/j.promfg.2019.03.028
- Haddad, M. G., Zouein, P. P., Salem, J., & Otayek, R. (2016). Case Study of Lean in Hospital Admissions to Inspire Culture Change. *Engineering Management Journal*, 28(4), 209-223. doi:10.1080/10429247.2016.1234896
- Hasani Goodarzi, A., & Zegordi, S. H. (2018). Vehicle routing problem in a kanban controlled supply chain system considering cross-docking strategy. *Operational Research*, 20(4), pp. 2397-2425. doi:10.1007/s12351-018-0421-2
- Heinrich Georg GmbH. (2021). Obtido de <https://www.georg.com/de/>
- Hunt, V., Puglia, A., & Puglia, M. (2007). *RFID: a guide to radio frequency identification*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Ichikawa, H. (2009). Simulating an applied model to optimize cell production and parts supply (Mizusumashi) for laptop assembly. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*. IEEE. doi:10.1109/WSC.2009.5429193
- JAC International. (2020). Obtido de <http://jac-automobile.com.br/2-6-electric-tow-tractor-02.html>
- Kliment, M., Pekarcikova, M., Trebuna, P., & Trebuna, M. (2021). Application of TestBed 4.0 Technology within the Implementation of Industry 4.0 in Teaching Methods of Industrial Engineering as Well as Industrial Practice. *Sustainability*, 13(16), p. 8963. doi:10.3390/su13168963
- Lieb, C., Prinz, T., Gunthner, W. A., & Fottner, J. (2019). Modeling and Simulation of Generic Handling Operations in In-Plant Milk-Run Systems. *2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)*. doi:10.1109/icitm.2019.8710720

- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *The Toyota way fieldbook: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*. New York: McGraw-Hill.
- Limère, V., Van Landeghem, H., & Goetschalckx, M. (2015). A decision model for kitting and line stocking with variable operator walking distances. *Assembly Automation*, 35(1), pp. 47-56. doi:10.1108/AA-05-2014-043
- Linde Material Handling. (2021). Obtido de <https://www.linde-mh.pt/pt/>
- Maldaner, L., & Kreling, R. (2019). Strategic management of manufacturing – Proposal of a method that recommends production techniques to leverage different competitive dimensions. *Brazilian Business Review*, 16(2), pp. 118-135. doi:10.15728/bbr.2019.16.2.2
- Manufactus GmbH. (2021). Obtido de <https://www.kanban-system.com/kanban-system-and-pull-control/>
- Mao, Z., Huang, D., Fang, K., Wang, C., & Lu, D. (2019). Milk-run routing problem with progress-lane in the collection of automobile parts. *Annals of Operations Research*, 291(1-2), pp. 657-684. doi:10.1007/s10479-019-03218-x
- Miwa, K., Nomura, J., & Takakuwa, S. (2017). Module-based modeling and analysis of just-in-time production adopting dual-card kanban system and Mizusumashi worker. *2017 Winter Simulation Conference (WSC)*. IEEE. doi:10.1109/WSC.2017.8248088
- Nikolicic, S., Kilibarda, M., Maslaric, M., Mircetic, D., & Bojic, S. (2021). Reducing Food Waste in the Retail Supply Chains by Improving Efficiency of Logistics Operations. *Sustainability*, 13(12), p. 6511. doi:10.3390/su13126511
- NingBo Goanwin Machinery Manufacturing Co., Ltd. (2021). Obtido de <https://www.goanwin.com/>
- Nomura, J., & Soemon, T. (2006). Optimization of a number of containers for assembly lines: The fixed-course pick-up system. *International Journal of Simulation Modelling*, 5(4), 155-166. doi:10.2507/IJSIMM05(4)3.066
- Oehmen, J. (2012). *The Guide to Lean Enablers for Managing Engineering Programs*. Cambridge: Joint MIT-PMI-INCOSE Community of Practice on Lean in Program Management.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System : Beyond Large-Scale Production*. New York: Productivity Press.
- Packaging Revolution. (2021). Obtido de <https://packagingrevolution.net/reusable-automotive-boxes-can-help-uk-manufacturing-efficiencies/>
- Paszковиak, W., Bartковиak, T., & Pelic, M. (2019). Kinematic model of multiple trailers on a tractor system for production logistics applications. *Archives of Mechanical Technology and Materials*, 39(1), 16-25. doi:10.2478/amtm-2019-0004

- Paszковиak, W., Bartkowiak, T., & Pelic, M. (2021). Kinematic Model of a Logistic Train with a Double Ackermann Steering System. *International Journal of Simulation Modelling*, 20(2), pp. 243-254. doi:10.2507/ijssimm20-2-550
- Pekarcikova, M., Trebuna, P., Kliment, M., & Dic, M. (2021). Solution of Bottlenecks in the Logistics Flow by Applying the Kanban Module in the Tecnomatix Plant Simulation Software. *Sustainability*, 13(14), p. 7989. doi:10.3390/su13147989
- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento Lean* (6^o ed.). Lisboa: Lidel.
- PlanetCarsZ. (2021). Obtido de <https://www.planetcarsz.com/>
- Pombal, T., Ferreira, L. P., Sá, J. C., Pereira, M. T., & Silva, F. J. (2019). Implementation of Lean Methodologies in the Management of Consumable Materials in the Maintenance Workshops of an Industrial Company. *Procedia Manufacturing*, 38, pp. 975-982. doi:10.1016/j.promfg.2020.01.181
- Qu, T., Fu, H., Huang, Z., Luo, H., & Huang, G. Q. (2014). System dynamics analysis for RFID-enabled milk-run logistics system in industrial park. *Proceedings of the 2014 International Conference on Innovative Design and Manufacturing (ICIDM)*. IEEE. doi:10.1109/IDAM.2014.6912690
- Rahman, H., Janardhanan, M., & Nielsen, P. (2020). An integrated approach for line balancing and AGV scheduling towards smart assembly systems. *Assembly Automation*, 40(2), pp. 219-234. doi:10.1108/AA-03-2019-0057
- Revista Logística. (2014). Deslocamento na horizontal. *Revista Logística*, 26-27.
- Schmidt, T., Meinhardt, I., & Schulze, F. (2016). New Design Guidelines for in-plant Milk-run Systems. *14th IMHRC Proceedings (Karlsruhe, Germany – 2016)*, 25.
- Shark Consulting. (2021). Obtido de <https://shark.eng.br/>
- Shingo, S. (1981). *Study of Toyota Production System - from Industrial Engineering Viewpoint*. Cambridge, Mass.: Productivity Press.
- Simić, D., Svirčević, V., Corchado, E., Calvo-Rolle, J. L., Simić, S. D., & Simić, S. (2020). Modelling material flow using the Milk run and Kanban systems in the automotive industry. *Expert Systems*, 38(1). doi:10.1111/exsy.12546
- Staab, T., Klenk, E., Galka, S., & Günthner, W. A. (2016). Efficiency in in-plant milk-run systems. *The influence of routing strategies on system utilization and process stability*, *Journal of Simulation*, 10(2), pp. 137-143. doi:10.1057/jos.2015.6
- STILL S.A. (2020). Obtido de <https://www.still.pt/empilhadores/empilhadores-novos/comboios-de-reboque-still-liftrunner/still-liftrunnerr.html>
- Suzaki, K. (2010). *Gestão de Operações Lean - Metodologias Kaizen para a melhoria contínua* (1^a ed.). Mansores: LeanOp Press.

- Thürer, M., Pan, Y. H., Qu, T., Luo, H., Li, C. D., & Huang, G. Q. (2019). Internet of Things (IoT) driven kanban system for reverse logistics: solid waste collection. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30, pp. 2621-2630. doi:10.1007/s10845-016-1278-y
- Tortorella, G., Moliner Farjas, G., & Li, W. (2020). Reliability of internal logistics distribution in a hospital. *The TQM Journal*, 33(3), pp. 596-617. doi:10.1108/TQM-03-2020-0056
- Transfluid Maschinenbau GmbH. (2021). Obtido de <https://transfluid.net/pt/inicio.html>
- Truninger AG. (2021). Obtido de <https://www.truninger.com/pt/truninger/home/>
- TWG Exhaust. (2021). Obtido de <http://www.twgperformance.com/>
- Urru, A., Bonini, M., & Echelmeyer, W. (2018). Planning of a Milk-Run Systems in High Constrained Industrial Scenarios. *2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)*. IEEE. doi:10.1109/INES.2018.8523926
- Warsztatowiec.info. (2021). Obtido de <https://warsztatowiec.info/>
- Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. New York: McGraw-Hill.
- Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation* (2^a ed.). New York: Free Press.

Anexo A - Mapa VSM

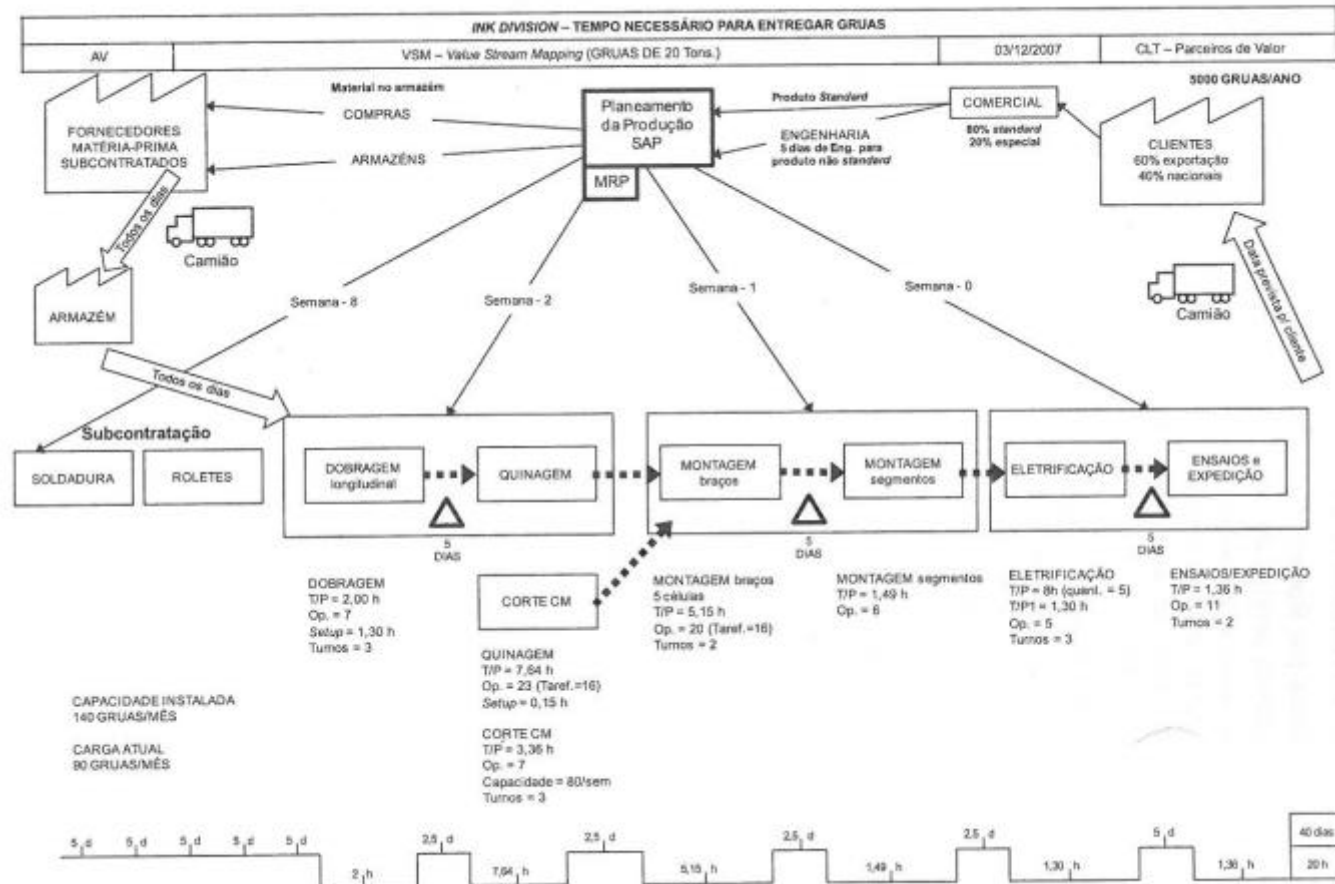


Figura A.1 - Exemplo de um VSM para uma empresa de produção de gruas (Pinto, 2014)

Anexo B - Símbolos usados no VSM

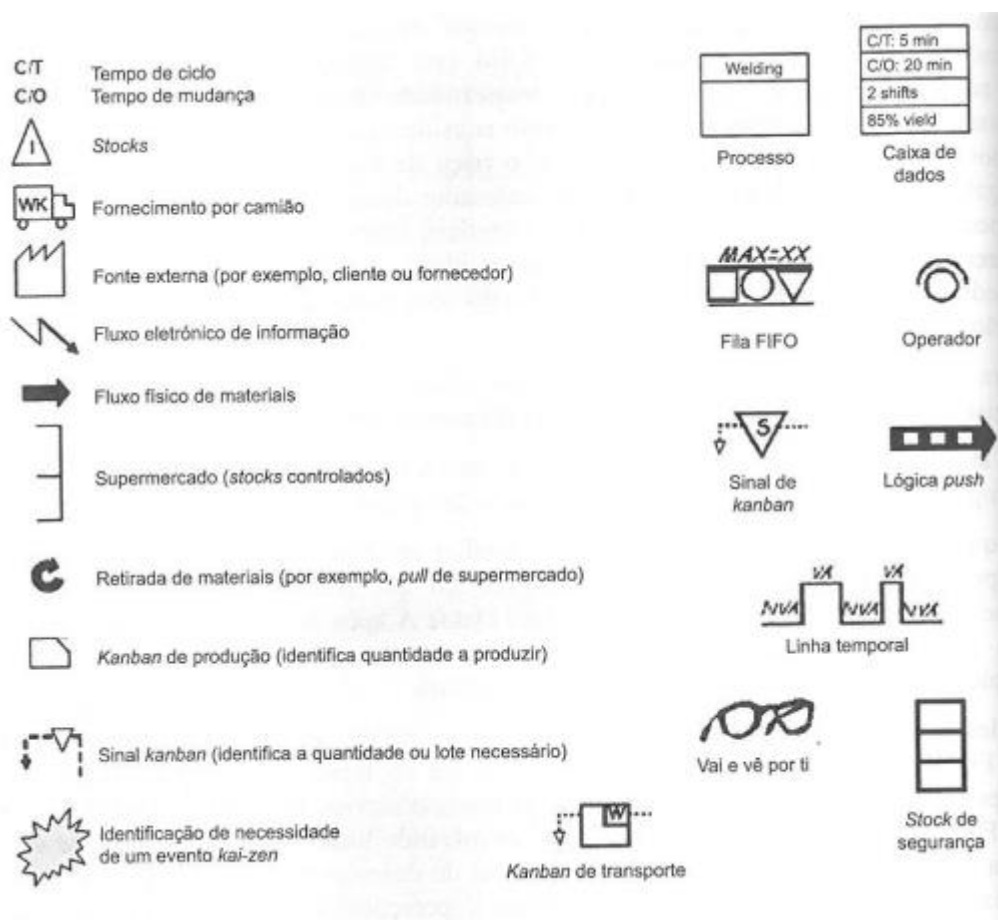


Figura B.1 - Alguns dos símbolos usados no VSM (Pinto, 2014)

Anexo D - KANBAN

Supplier: PU1 Description: Production Unit 1 #Kanbans: 9	Customer: PU2 Location: Loc02 Container: Box 1 Quantity: 100
Created: 10/12/2013 22:33:00 Printed: 11/12/2013 12:10:11	Description: Item 012345
 INTEGRATED KANBAN SYSTEM Item ID: 012345	Kanban ID:  1090

Figura D.1 - Exemplo de um cartão Kanban (Manufactus GmbH, 2021)