



Lean Green - A importância da integração do ambiente na filosofia Lean - Caso de estudo

SAMUEL JOSÉ MOREIRA DO COUTO E SILVA

novembro de 2019

LEAN GREEN – A IMPORTÂNCIA DA INTEGRAÇÃO DO AMBIENTE NA FILOSOFIA LEAN – CASO DE ESTUDO

Samuel José Moreira Couto Silva
1141172

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

LEAN GREEN – A IMPORTÂNCIA DA INTEGRAÇÃO DO AMBIENTE NA FILOSOFIA LEAN – CASO DE ESTUDO

Samuel José Moreira Couto Silva
1141172

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Mestre/Especialista José Carlos Vieira Sá e coorientação do Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva.

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

Orientador

Mestre/Especialista José Carlos Vieira Sá

Professor Adjunto Convidado, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

Arguente

Doutor Luís Manuel Cerqueira Barreto

Professor Adjunto, Escola Superior de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Viana do Castelo (IPVC)

AGRADECIMENTOS

A toda a equipa da empresa Portimpact pelo apoio prestado na resolução de problemas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao orientador, Professor José Carlos Sá e coorientador, Professor Francisco José Gomes da Silva, pela orientação e pelos ensinamentos ao longo da realização desta dissertação e do artigo.

Aos meus pais e família por todo o apoio e por terem possibilitado esta dissertação.

PALAVRAS CHAVE

Lean; Green; Redução de desperdícios; Produção; Redução de sucata; Aumento da produtividade; Redução de energia; Redução de tempos de ciclo

RESUMO

A presente dissertação aborda a relação entre a indústria atual e o ambiente, revelando técnicas que permitem reduzir o impacto ambiental causado pelos seus processos de produção. Este trabalho é apoiado por um caso de estudo em que é utilizado o modelo de investigação *Action Research* e onde é realizada a identificação e quantificação do impacto económico e ambiental na integração dos conceitos *Lean* e *Green* numa empresa do setor da metalomecânica, e onde o principal foco de análise foi o processo de soldadura robotizada.

Numa época em que há uma preocupação crescente com o meio ambiente e a sua preservação e, conseqüentemente, existe uma grande pressão para a redução de resíduos industriais, é fundamental que as empresas encontrem técnicas que permitam reduzir os seus desperdícios, sem que isso implique a redução dos seus ganhos económicos. Nesse contexto, a filosofia *Lean* surge como um conjunto de técnicas que, quando bem aplicadas, permitem que as organizações atinjam determinado objetivo com a utilização de menos recursos, energia e matérias-primas, concentrando-se na eliminação de resíduos e aumentando, ao mesmo tempo, a produtividade e qualidade dos seus produtos.

Os resultados positivos, comprovados em diversos artigos na implementação da produção *Lean*, levam as pessoas a olharem para o *Lean* como uma filosofia de gestão capaz de reduzir o impacto ambiental dos sistemas de produção. No entanto, da revisão da literatura conclui-se que isso ainda não é consensual, e no caso de estudo deste trabalho, demonstra-se a importância da relação *Lean/Green* para o desempenho ambiental e económico das empresas com a implementação de quatro ferramentas e metodologias *Lean: Kaizen, Jidoka, Total Productive Maintenance (TPM)* e produção em células. A aplicação destas ferramentas e metodologias permitiu aumentar a eficiência do sistema de produção e reduzir o impacto ambiental da empresa em estudo, em que alguns dos resultados obtidos foram a redução em 25% dos tempos de ciclo do processo, em média, a redução do consumo de energia em 38% e a redução da sucata proveniente do processo em 66%. Os resultados revelaram uma relação positiva entre a utilização das técnicas *Lean* e a melhoria do desempenho ambiental da empresa.

KEYWORDS

Lean; Green; Waste reduction; Manufacturing; Scrap reduction; Increasing productivity; Energy reduction; Cycle time reduction.

ABSTRACT

This dissertation discusses the relationship between the current industry and the environment and reveals techniques to reduce the environmental impact caused by manufacturing processes. This work is supported by a case study using the Action Research methodology. The identification and quantification of the economic and environmental impact in the integration of Lean and Green concepts in a metalworking company is carried out and the analysis focus was the robot welding process.

At a time when there is a growing concern about the environment and its preservation and consequently there is a great pressure for an industrial waste reduction, it is essential for companies to find techniques that allow a waste reduction without reducing their economic gains. In this context, the Lean philosophy emerges as a set of techniques that, when well applied, allow organizations to achieve an objective by using less resources, energy and raw materials, focusing on eliminating waste and increasing productivity and product quality.

The positive results proven in many articles in implementing Lean production lead people see Lean as a management philosophy that can reduce environmental impact of production systems. However, from the literature review it is concluded that this is still not consensual and in the case study it is demonstrated the importance of Lean/Green relation for the companies environmental and economic performance by implementing four Lean tools and methodologies: Kaizen, Jidoka, Total Productive Maintenance (TPM) and Cell Production. The application of these tools and methodologies increased the production efficiency and reduced the environmental impact of the company under study, where some of the results obtained were the cycle time reduction by 25%, the reduction of energy consumption by 38% and the reduction of scrap from the process by 66%. The results revealed a positive relationship between the use of Lean techniques and the improvement of the company's environmental performance.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

CMT	<i>Cold Metal Transfer</i>
CPA	Corte de perfis de alumínio
CTC	Corte e transformação de chapa e perfis de aço
JIT	<i>Just in Time</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
VSM	<i>Value Stream Map</i>
WIP	<i>Work in Process</i>

Lista de Unidades

kWh	Quilowatt-hora
kWh/mês	Quilowatt-hora por mês
kW/hora	Quilowatts por hora
min.	Minutos
A	Amperes
g	Gramas
g/min	Gramas por minuto
g/produto	Gramas por produto
kg	Quilogramas
kg/produto	Quilogramas por produto
mm	Milímetros
m	Metros
m/dia	Metros por dia
m ³	Metros cúbicos
m ³ /hora	Metros cúbicos por hora
m ³ /mês	Metros cúbicos por mês

Lista de Símbolos

€	Euro
%	Porcentagem
Ar	Árgon
O	Oxigênio

GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>5S's</i>	Ferramenta <i>Lean</i> com o objetivo de aprimorar o ambiente de trabalho
<i>Bottleneck</i>	Ponto de estrangulamento que limita a capacidade do processo
<i>Brainstorming</i>	Reunião em grupo para troca de ideias que levem à resolução de um problema ou a determinado objetivo
Técnicas <i>Green</i>	Técnicas com foco na redução do impacto ambiental
<i>Lean</i>	Metodologia composta por diversas ferramentas que permitem a redução de desperdícios e de custos no processo produtivo.
<i>Muda</i>	Desperdício
<i>Payback</i>	Retorno do investimento
<i>Poka-yoke</i>	Conceito da produção <i>Lean</i> . É um dispositivo à prova de erros que é desenvolvido a fim de evitar defeitos num processo de fabrico
<i>Setup</i>	Representa a troca de produtos, ferramentas, ou ajustes no início do processo.
<i>Trade-offs</i>	Caracteriza a ação económica que visa a resolução de um problema, mas que acarreta outro.

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
GLOSSÁRIO DE TERMOS	XV
ÍNDICE.....	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
1 INTRODUÇÃO	3
1.1 Enquadramento.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodologia da investigação	4
1.4 Apresentação da empresa.....	5
1.5 Estrutura e organização do relatório.....	6
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 A filosofia <i>Lean</i>	11
2.1.1 A origem da filosofia <i>Lean</i>	11
2.1.2 Os princípios do <i>Lean</i>	12
2.1.3 Desperdícios <i>Lean</i> e o impacto ambiental	13
2.2 Ferramentas <i>Lean</i> e produção <i>Green</i>	15
2.2.1 <i>Kaizen</i>	15
2.2.2 <i>Value Stream Mapping</i>	16
2.2.3 <i>Total Productive Maintenance</i>	17
2.2.4 Produção em células	19

2.3	Impacto das ferramentas <i>Lean</i> no desempenho ambiental	21
3	DESENVOLVIMENTO.....	27
3.1	Descrição do processo de fabrico.....	27
3.1.1	Diagrama do processo de fabrico do produto A.....	29
3.1.2	Diagrama do processo de fabrico do produto B.....	30
3.1.3	O processo de soldadura.....	31
3.2	Análise da situação antes das implementações <i>Lean</i>	32
3.2.1	Excesso de transporte ao longo do processo.....	32
3.2.2	Elevados tempos de espera	38
3.2.3	Não conformidades no processo de soldadura	40
3.2.4	Falta de manutenção preventiva	44
3.3	Melhorias e implementações <i>Lean/Green</i>	45
3.3.1	Implementação da produção em células.....	45
3.3.2	Implementação da filosofia <i>Kaizen</i> (melhoria contínua)	52
3.3.3	Implementação da TPM e <i>Jidoka</i>	56
3.4	Síntese de resultados <i>Lean</i> e <i>Green</i>	62
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	67
4.1	CONCLUSÕES	67
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	67
5	BIBLIOGRAFIA.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - CICLO DA METODOLOGIA DE <i>ACTION RESEARCH</i> - ADAPTADO DE SUSMAN E EVERED (2012)	5
FIGURA 2 - A EMPRESA PORTIMPACT	6
FIGURA 3 - CICLO DE DEMING (CICLO PDCA)	16
FIGURA 4 - <i>LAYOUT</i> DE PRODUÇÃO POR LOTES - ADAPTADO DE US EPA (2015)	20
FIGURA 5 - <i>LAYOUT</i> DE PRODUÇÃO POR CÉLULAS - ADAPTADO DE US EPA (2015)	20
FIGURA 6 - <i>LAYOUT</i> ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO <i>LEAN PRODUCTION</i>	28
FIGURA 7 - PRODUTO A - PALETE UNIVERSAL EM AÇO GALVANIZADO	29
FIGURA 8 - PRODUTO B - PALETE <i>HYGIENIC</i> EM ALUMÍNIO	29
FIGURA 9 - DIAGRAMA DE PROCESSO DO PRODUTO A	30
FIGURA 10 - DIAGRAMA DE PROCESSO DO PRODUTO B	31
FIGURA 11 - CÉLULA ROBOTIZADA DE SOLDADURA	32
FIGURA 12 - FLUXO DO PROCESSO E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PARA O PRODUTO A	33
FIGURA 13 - FLUXO DO PROCESSO E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PARA O PRODUTO B	34
FIGURA 14 - TRANSPORTE EFETUADO COM EMPILHADOR PARA O PRODUTO A	36
FIGURA 15 - TRANSPORTE EFETUADO COM EMPILHADOR PARA O PRODUTO B	37
FIGURA 16 - GRÁFICO DE FLUXO DO PROCESSO DO PRODUTO A	39
FIGURA 17 - GRÁFICO DE FLUXO DO PROCESSO DO PRODUTO B	39
FIGURA 18 - DETALHE DO PRODUTO B	40
FIGURA 19 - EXEMPLO DE DEFEITO POR FURO NO MATERIAL	41
FIGURA 20 - NÃO CONFORMIDADES REGISTRADAS EM TORNO DO PRODUTO A	41
FIGURA 21 - NÃO CONFORMIDADES REGISTRADAS EM TORNO DO PRODUTO B	42
FIGURA 22 - DIAGRAMA DE CAUSA-EFEITO DO PROCESSO DE SOLDADURA	43
FIGURA 23 - <i>LAYOUT</i> DO PROCESSO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CÉLULAS	46
FIGURA 24 - FLUXO DO PROCESSO DE FABRICO DO PRODUTO A, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CÉLULAS	47
FIGURA 25 - FLUXO DO PROCESSO DE FABRICO DO PRODUTO B, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CÉLULAS	48
FIGURA 26 - TRANSPORTE EFETUADO COM EMPILHADOR PARA O PRODUTO A, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CÉLULAS	49
FIGURA 27 - TRANSPORTE EFETUADO COM EMPILHADOR PARA O PRODUTO B, APÓS IMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO EM CÉLULAS	50
FIGURA 28 - GRÁFICO DE FLUXO DO PROCESSO DO PRODUTO A APÓS IMPLEMENTAÇÃO <i>LEAN PRODUCTION</i>	54
FIGURA 29 - GRÁFICO DE FLUXO DO PROCESSO DO PRODUTO B APÓS IMPLEMENTAÇÃO <i>LEAN PRODUCTION</i>	54
FIGURA 30 - SOLDADURA DE UMA PEÇA ANTES DO <i>KAIZEN</i>	55
FIGURA 31 - SOLDADURA DE UMA PEÇA DEPOIS DO <i>KAIZEN</i>	55
FIGURA 32 - PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE 2019	57
FIGURA 33 - SOLDADURA CONFORME NO PRODUTO B	59

FIGURA 34 - NÃO CONFORMIDADES DO PRODUTO A, APÓS IMPLEMENTAÇÃO <i>LEAN PRODUCTION</i>	59
FIGURA 35 - NÃO CONFORMIDADES DO PRODUTO B, APÓS IMPLEMENTAÇÃO <i>LEAN PRODUCTION</i>	60
FIGURA 36 - NÃO CONFORMIDADES NOS PRODUTOS A E B, ANTES E APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS FERRAMENTAS <i>LEAN</i>	61

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - REFLEXO DOS DESPERDÍCIOS (<i>MUDA</i>) NO IMPACTO AMBIENTAL	14
TABELA 2 - REVISÃO DA LITERATURA <i>LEAN/GREEN</i>	22
TABELA 3 - TEMPOS DE OPERAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDADURA	38
TABELA 4 - VALORES MÉDIOS MENSIS DE NÃO CONFORMIDADES	42
TABELA 5 - TEMPO MÉDIO DE VIDA DOS ACESSÓRIOS DE SOLDADURA	45
TABELA 6 - SÍNTESE DE RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PRODUÇÃO EM CÉLULAS	51
TABELA 7 - COMPARATIVO DE NÃO CONFORMIDADES POR PRODUTO ANTES E APÓS A APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS <i>LEAN</i>	60
TABELA 8 - COMPARATIVO DE NÃO CONFORMIDADES DE AMBOS OS PRODUTOS ANTES E APÓS A APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS <i>LEAN</i>	60
TABELA 9 - SÍNTESE DOS GANHOS OBTIDOS NA REDUÇÃO DO RETRABALHO	62
TABELA 10 - SÍNTESE E QUANTIFICAÇÃO DE GANHOS <i>LEAN</i> E <i>GREEN</i>	63

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA DA INVESTIGAÇÃO

1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

1.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

1 INTRODUÇÃO

No capítulo que se segue pretende-se fazer a apresentação do conteúdo desta dissertação, bem como delinear os objetivos propostos para a mesma que passam por investigar a importância da relação *Lean* e *Green*. Posto isso, é feita a apresentação da metodologia de investigação adotada e ainda dado a conhecer o estudo de caso que é realizado. Por último, é ainda descrita a estrutura desta dissertação.

1.1 Enquadramento

As preocupações atuais com os impactos ambientais e a preservação do meio ambiente forçam cada vez mais as organizações a adotar técnicas *Green* que lhes permitam reduzir os impactos ambientais, reduzindo as emissões poluentes e os consumos resultantes dos seus processos de fabrico, sem que prejudiquem a sua eficiência e competitividade (Silva & Gouveia, 2019). Na literatura, as técnicas *Green* surgem muitas vezes associadas a técnicas *Lean*, porque elas partilham alguns princípios e a literatura também demonstra que em muitas aplicações *Lean*, são alcançados ganhos *Green* que permitem às empresas reduzir emissões poluentes, consumos energéticos, consumos de componentes que prejudicam o meio ambiente, entre outros (Rothenberg, Pil & Maxwell, 2001; Verma & Sharma, 2016).

Sendo o *Lean* uma metodologia composta por um conjunto de ferramentas que permitem reduzir desperdícios e aumentar a qualidade do produto, é consensual entre os autores que esta filosofia permite às organizações reduzir os seus custos de operação e potenciar a produção. No entanto, ainda são poucas as investigações que relacionam a implementação da produção *Lean* com os resultados a nível ambiental, pelo que não é ainda consensual entre os autores que a relação entre os conceitos *Lean* e *Green* seja positiva, ou seja, que conduza a ganhos ambientais e económicos para as empresas. Este trabalho foi então desenvolvido de forma a avaliar se a interação entre estes dois conceitos conduz as organizações a melhorar o seu desempenho ambiental e ainda se é possível, ao mesmo tempo, melhorar o seu desempenho económico. Para isso, este trabalho é apoiado por um caso de estudo na empresa Portimpact, do ramo da metalomecânica, onde são identificados os principais desperdícios *Lean* (*muda*) existentes no processo e são aplicadas quatro ferramentas e metodologias *Lean* com o objetivo de os eliminar: produção em células, *Kaizen*, *Jidoka* e *Total Productive Maintenance* (TPM). Após a implementação da metodologia *Lean*, pretende-se avaliar e quantificar o seu impacto no desempenho ambiental e económico da empresa.

1.2 Objetivos

Com a realização desta dissertação, pretende-se demonstrar a importância das implementações *Lean* na melhoria do desempenho ambiental e de que forma a ligação *Lean* e *Green* pode trazer valor às organizações. A dissertação é apoiada por um caso de estudo realizado na empresa Portimpact e pretende-se cumprir os seguintes objetivos:

- Identificar desperdícios e potencialidades para aplicação das ferramentas *Lean* no processo produtivo;
- Inculcar uma filosofia *Lean* em toda a organização;
- Implementar as ferramentas *Lean* identificadas como potenciais;
- Eliminar os desperdícios identificados anteriormente;
- Quantificar o impacto ambiental e económico com a implementação da filosofia *Lean*;

Por fim, tem-se como objetivo crucial na realização deste trabalho, fornecer a outras organizações as ferramentas necessárias para que possam melhorar o seu desempenho ambiental e assim poderem contribuir para um meio ambiente mais sustentável.

1.3 Metodologia da investigação

Na realização desta dissertação, adotou-se como metodologia da investigação o modelo *Action Research*. Esta metodologia de investigação procura superar o habitual dualismo entre teoria e prática e, desta forma, encontrar as soluções para os problemas encontrados, através da execução de ciclos de investigação e ação. No decorrer desta dissertação, as ideias são colocadas em prática para assim conseguir tirar conclusões e incrementar o conhecimento. Esta estratégia de investigação enfatiza a natureza interativa das fases que a compõem, sendo essas o diagnóstico, planeamento, implementação de ações, avaliação das ações implementadas e especificação da aprendizagem, como é possível observar na Figura 1 (Latorre & España, 2003).

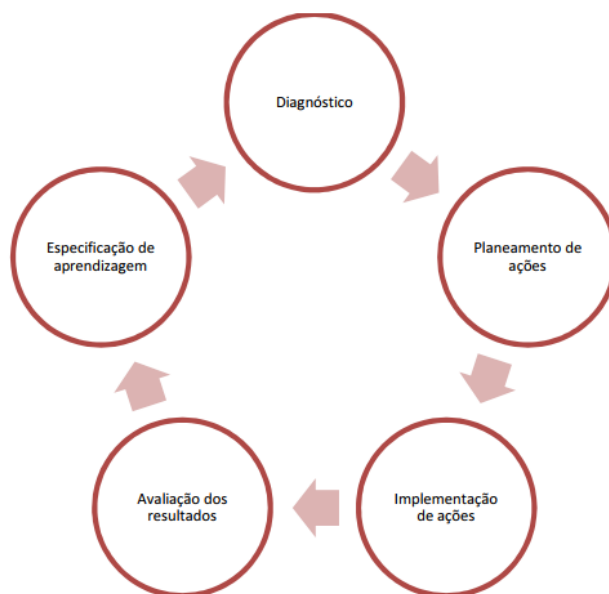


Figura 1 - Ciclo da metodologia de *Action Research* - Adaptado de Susman e Evered (2012)

A primeira fase desta dissertação consiste no diagnóstico do processo de produção e da consciência ambiental da organização, bem como oportunidades de melhoria. Desta forma, tornou-se possível na segunda fase, o planeamento e identificação das melhores ferramentas *Lean* a aplicar na organização, para que fosse possível melhorar a gestão ambiental e reduzir custos. De forma a dar seguimento à metodologia, na terceira fase, que tem como objetivo a implementação das ações, são colocadas em prática as ferramentas identificadas no planeamento e registados os resultados obtidos, tal como a evolução do sistema, para que na quarta fase, que consiste na avaliação das ações implementadas, se procedesse ao estudo e discussão dos resultados e assim aferir se existem ganhos ambientais com a adoção da filosofia *Lean* e consequente redução de custos na organização.

Por fim, na quinta fase, procede-se à especificação da aprendizagem que passa pela transcrição do que foi realizado e dos resultados obtidos e que dão origem à dissertação.

1.4 Apresentação da empresa

A Portimpact, Lda é uma empresa sediada em Lordelo, Paredes, e que se iniciou há 17 anos na produção de escadas e escadotes em alumínio, contando atualmente com muito experiência e uma forte implementação neste mercado. No entanto, em 2016, na procura de novos desafios e de inovação, a Portimpact iniciou um novo projeto que consiste na produção de soluções para logística e que conta com paletes metálicas, em aço e alumínio, como alguns dos seus produtos *standard*. As paletes metálicas foram desenvolvidas para satisfazer as necessidades e exigências dos clientes de indústrias químicas, alimentar, farmacêutica, agroindústria e outras para além das mencionadas, em termos de higiene e segurança no manuseio dos seus produtos, estando ainda a

empresa capacitada para a possibilidade de projetar soluções à medida do cliente e de as produzir em elevadas quantidades, graças às suas células robotizadas e sistemas automatizados. As exigências deste novo projeto levaram a Portimpact a duplicar a sua área fabril, passando de 2500 m² para 5000 m² e constituindo uma nova unidade fabril, bem como a adquirir vários equipamentos produtivos. Sendo este projeto bastante recente, pois conta apenas com 3 anos, a análise dos seus processos produtivos é de muito interesse, pois estes não se encontram otimizados, pelo que é expectável a existência e identificação de mais problemas e desperdícios.



Figura 2 - A empresa Portimpact

1.5 Estrutura e organização do relatório

Esta dissertação encontra-se distribuída em quatro capítulos. No primeiro capítulo, onde se insere este subcapítulo, é feito o enquadramento geral ao tema da dissertação, são definidos os objetivos que se pretendem atingir, é descrita a metodologia a ser seguida ao longo da investigação e é feita a apresentação da empresa onde é realizado o caso de estudo, para além de descrita a estrutura e a organização do presente relatório. O segundo capítulo consiste na revisão da literatura. Nesse capítulo, são identificados os princípios da filosofia *Lean* e algumas das ferramentas desta metodologia. É ainda abordada a relação entre os conceitos *Lean* e *Green*, e são apresentados resultados de artigos científicos que relacionam o *Lean* com o ambiente, de forma a tentar perceber de que forma as ferramentas e conceitos desta filosofia influenciam o desempenho ambiental das organizações. No terceiro capítulo é iniciado o caso de estudo, onde na fase de diagnóstico é feita a descrição do processo de fabrico

e identificados os desperdícios (*muda*) existentes no mesmo. Posto isto, são apresentadas as ferramentas e metodologias *Lean* que foram aplicadas ao processo, de forma a reduzir ou eliminar os desperdícios, assim como os resultados dessas aplicações. No quarto e último capítulo, são apresentadas as conclusões deste trabalho e são feitas propostas de trabalhos futuros para melhorar o processo da empresa em estudo.

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A FILOSOFIA *LEAN*

2.2 FERRAMENTAS *LEAN* E PRODUÇÃO *GREEN*

2.3 IMPACTO DAS FERRAMENTAS *LEAN* NO DESEMPENHO
AMBIENTAL

2 REVISÃO DA LITERATURA

O capítulo a seguir abordado tem como objetivo dar a conhecer o estado de arte dos conceitos *Lean* e *Green*, assim como a junção dos dois conceitos. Neste capítulo são identificados os princípios e as principais ferramentas *Lean* e é também abordada a sua relação com o ambiente (*Green*). São apresentadas diferentes perspectivas de alguns autores sobre a relação *Lean/Green*, procurando desta forma perceber se esta ligação pode trazer valor para as organizações.

2.1 A filosofia *Lean*

Numa altura em que são cada vez maiores as preocupações com o meio ambiente e a sua preservação, e que, conseqüentemente, há uma grande pressão para uma redução dos resíduos industriais, torna-se uma obrigação para as empresas encontrar técnicas que o permitam fazer sem prejudicar os seus ganhos, ou até mesmo incrementá-los. Essas técnicas podem passar pelas ferramentas *Lean*. Neste contexto, o *Lean Production* surge como uma ideologia que permite atingir um fim utilizando para isso menos recursos, que se traduzem em menos equipamentos, menos espaço, menos tempo, menos *stocks* e menor esforço humano (Antoniolli, Guariente, Pereira, Ferreira, & Silva, 2017; Rosa, Silva, & Ferreira, 2017). Desta forma, a filosofia *Lean* tem como principal foco a eliminação dos desperdícios e o aumento da produtividade e da qualidade do produto e, consecutivamente, o seu valor acrescentado que resulta no incremento do lucro da empresa (Womack, J. P. & Jones, 1996).

2.1.1 A origem da filosofia *Lean*

O *Toyota Production System* (TPS), surgiu no Japão, na *Toyota Motor Corporation*, logo após a Segunda Guerra Mundial. Antes disso, a Toyota havia adotado o modelo de Produção em Massa, desenvolvido por Frederick Taylor e Henry Ford no início do século XX, este último foi o fundador da *Ford Motor Company*. No entanto, após a Segunda Guerra Mundial, a indústria japonesa tinha uma produtividade muito baixa e uma enorme falta de recursos, que os impedia de continuar a adotar este sistema. Desta forma, surgiu o TPS criado por Toyoda Sakichi, Toyoda Kiichiro e Taiichi Ohno, e que lhes permitia aumentar a eficiência da produção através da eliminação dos desperdícios, assim como reduzir o tempo de resposta ao cliente e aumentar a qualidade (Ohno, 1988). Contudo, o termo TPS não era consensual, já que estava identificado com um

único produtor, tendo então surgido no livro “*The Machine that Changed The World*” em 1990, o termo *Lean Production* (Womack, Jones, & Roos, 2007).

2.1.2 Os princípios do *Lean*

No livro “*Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation*” de Womack & Jones (1996), são apresentados cinco princípios que foram classificados como a solução para a eliminação de desperdícios na indústria produtiva japonesa, quando bem aplicados, e que são a base do *Lean Thinking*. Esses princípios do *Lean Thinking* são apresentados abaixo (Womack, J. P. & Jones, 1996).

- **Valor (*Value*):** Este princípio aparece como sendo o primeiro passo na procura pelo pensamento *Lean*. A palavra-chave aqui é o cliente. O valor deve ser visto sob a perspectiva do cliente para tornar possível a identificação daquilo que ele está disposto a pagar, ou seja, identificar aquilo que, para o cliente, acresce ou não valor. Desta forma, tudo aquilo pelo qual o cliente não estiver disposto a pagar, por não corresponder aos requisitos do mesmo, deve ser considerado desperdício, porque não há a criação de valor, e, como tal, deverá ser eliminado ou minimizado.
- **Fluxo de Valor (*Value Stream*):** Ou cadeia de valor que, se caracteriza por todo o percurso do produto, desde o fornecedor de matéria-prima até à chegada do produto final ao cliente. No decurso desta cadeia de valor, são levadas a cabo inúmeras atividades. Todas essas atividades que constituem o fluxo de valor devem ser identificadas em três tipos de atividades: as que acrescentam valor; as que não acrescentam valor, mas são necessárias, e as que não acrescentam valor e não são necessárias. Estas últimas, segundo a metodologia *Lean*, devem ser eliminadas de imediato, uma vez que são consideradas desperdícios.
- **Fluxo (*Flow*):** Tendo assegurado os dois primeiros passos, ou seja, identificados os produtos que criam valor e eliminadas as atividades que não acrescentam valor e não são necessárias, surge um terceiro princípio que se prende com a organização do processo produtivo. Este princípio assenta na criação de um fluxo de produção contínuo, sem interrupções, sem esperas e sem *stocks*.
- **Sistema Puxado (*Pull*):** O quarto princípio é o sistema de produção puxado, no qual, como o nome indica, a produção só deve acontecer quando esta for puxada, ou seja, mediante encomenda do cliente e apenas nas quantidades solicitadas. Isto irá permitir à empresa produzir a quantidade certa no momento certo, dando origem à eliminação da acumulação de *stocks*. Este princípio vai de encontro à filosofia *Just in Time* (JIT), que considerava que o *stock* é um desperdício de recursos.

- Perseguir a Perfeição (*Perfection*): Este princípio não é mais do que, a procura pela melhoria contínua, também conhecida por *Kaizen*. A melhoria contínua está assente na eliminação de todos os desperdícios, criando, desta forma, valor. As empresas deverão assim, estar em constante busca de formas e mecanismos que lhes permitam melhorar o seu desempenho e fomentar a criação de valor.

2.1.3 Desperdícios *Lean* e o impacto ambiental

Sendo o principal objetivo do *Lean* a eliminação dos desperdícios, neste sistema de produção procuram-se os desperdícios existentes nos processos, e que normalmente não são perceptíveis, possibilitando assim a redução ou até mesmo a eliminação desses desperdícios (Shingō & Dillon, 1989). Ohno (1988) identificou sete tipos de desperdício (*muda*) que não acrescentam valor ao produto e pelos quais o cliente não vai pagar. Os desperdícios considerados são os seguintes:

- Defeitos – Os problemas nos processos de produção resultam, muitas vezes, num produto com defeito. Os defeitos, normalmente surgem de problemas internos de qualidade e podem implicar o retrabalho ou a repetição de todo o trabalho anteriormente efetuado na fabricação de um novo produto, originando sucata.
- Espera – Os tempos de espera podem surgir por avarias de equipamento, mudança de ferramentas, atrasos, falta de material ou de mão-de-obra, *layout* desadequado ou da existência de um *bottleneck*, resultando em custos desnecessários para a empresa.
- Sobreprodução – A sobreprodução origina o consumo desnecessário de matéria-prima, o excessivo *stock* e mão-de-obra para o seu controlo, maiores gastos em transporte de produtos e também, como consequência, o excessivo *stock* cria a necessidade de um maior espaço de armazenamento de produto acabado e matéria-prima.
- Transporte – Este desperdício consiste em todos os custos logísticos internos e externos necessários para a movimentação de materiais numa organização. Estas movimentações de material ocorrem desde o fornecedor, com a matéria-prima, até ao cliente, com o produto acabado. Este desperdício acontece maioritariamente porque existem grandes distâncias entre postos de trabalho, seja na receção da matéria-prima, seja no armazenamento de produto acabado, e que obrigam a percorrer longas distâncias entre armazéns. Neste caso, o *layout* é preponderante para reduzir ou eliminar estes desperdícios.
- Movimentação – A movimentação consiste no movimento de pessoas sem necessidade, o que é também considerado um desperdício, pois consomem tempo que não está a ser usado para acrescentar valor ao produto final. Como exemplos destas movimentações, temos a procura por ferramentas, as deslocações entre postos de trabalho distantes, o abastecimento do próprio

posto de trabalho, entre outras. As causas destas movimentações desnecessárias podem ser mais uma vez o *layout* desadequado e falta de organização dos postos de trabalho (Costa, Pinto Ferreira, C. Sa, & Silva, 2018).

- Excesso de inventário – Os excessos de *stocks* escondem muitos problemas nos processos de produção, tais como a falta de qualidade e a falta de capacidade do processo, tornando mais difícil a identificação dos problemas. Os desperdícios relacionados com o excesso de inventário surgem do excesso de movimentação, da ocupação desnecessário de espaço e da ocorrência de problemas de qualidade (Freitas et al., 2019). O excesso de *stock* pode ainda provocar problemas na existência de produtos desatualizados e que já não têm saída para o mercado.
- Sobre processamento – O sobre processamento dos produtos surge de práticas excessivas na produção que não acrescentam valor ao produto. Estas práticas normalmente surgem de instruções de trabalho pouco claras, requisitos de clientes não definidos ou pouco específicos ou de especificações de qualidade mais rigorosas do que necessário.

Mais tarde, alguns autores identificam ainda um oitavo desperdício, que é o desaproveitamento do potencial humano (Liker, 2004).

Alguns investigadores afirmam que o uso de técnicas *Lean* para a eliminação destes desperdícios podem igualmente contribuir para um melhor desempenho ambiental por parte das organizações, já que estes desperdícios contribuem para o impacto ambiental (Ferroq, Lamouri, & Carbone, 2016; Pampanelli, Found, & Bernardes, 2014; Silva & Gouveia, 2019). Alguns exemplos de desperdícios (*muda*) e a sua relação com os impactos ambientais, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Reflexo dos desperdícios (*muda*) no impacto ambiental

Tipos de desperdícios	Impacto ambiental
Defeitos	- Produção de sucata; - Necessidade de retrabalho nas peças que podem ser reaproveitadas, que requer consumos de energia elétrica, matéria-prima, consumíveis e emissões para o meio ambiente resultantes de alguns processos, como por exemplo, a soldadura.
Sobreprodução	- Consumo de matéria-prima para fabricar produtos sem haver necessidade; - Maior espaço necessário para armazenamento, que aumenta o consumo de energia elétrica necessário para iluminação e aumenta também a necessidade de transporte. O transporte, no caso de transportadores que funcionem a combustível, aumenta as emissões poluentes para o meio ambiente e o consumo de combustíveis.

Tipos de desperdícios	Impacto ambiental
Transporte e movimentação	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energia elétrica ou combustível para o transporte; - Aumento das emissões poluentes para o meio ambiente;
Excesso de inventário	<ul style="list-style-type: none"> - Maior consumo de plástico necessário para a embalagem dos produtos em <i>stock</i>. - Desperdícios por meio da deterioração de produtos que estão por um longo tempo em <i>stock</i> e que resulta em sucata. - Aumento do consumo de energia elétrica para iluminação do espaço de armazenagem. - Aumento do transporte.
Sobre processamento	<ul style="list-style-type: none"> - Maior quantidade de matéria-prima consumida por produto. - Maior consumo de energia. - Maior emissão de gases poluentes originários dos processos de fabrico.

2.2 Ferramentas *Lean* e produção *Green*

Os desperdícios eliminados com as ferramentas *Lean* e com técnicas de sustentabilidade são similares e, quando conjugados, podem trazer ambas as vantagens às organizações: redução de custos e melhor desempenho ambiental. Neste subcapítulo, as ferramentas e metodologias *Lean Kaizen*, *Value Stream Mapping (VSM)*, TPM, produção em células e *Just in Time (JIT)* são apresentadas, ao mesmo tempo que são apresentadas as relações entre estas ferramentas e o ambiente.

2.2.1 *Kaizen*

A essência da filosofia *Lean* está no envolvimento das pessoas. *Kaizen* é uma palavra japonesa que significa melhoria contínua e esta ferramenta fornece aos funcionários da empresa uma base para que possam libertar a sua criatividade, evitando assim o desperdício do potencial humano. Dr. J. Edward Deming foi o pioneiro nesse aspeto. Na década de 1950, desenvolveu o Ciclo de Deming (Figura 3), que é uma técnica prática, simples e eficaz, utilizada para realizar a melhoria contínua no local de trabalho. Segundo Womack, J. P. & Jones (1996), a chave do *Lean* é o *Kaizen*, pois esta é uma ferramenta orientada para o processo e que se concentra em mudanças que trazem melhorias incrementais às organizações. A filosofia *Kaizen* tem dois principais objetivos que passam por desenvolver uma cultura de solução de problemas com pensamento científico e estruturado, e envolver as pessoas na resolução desses problemas, desde trabalhadores de chão de fábrica, até aos altos executivos das empresas.



Figura 3 - Ciclo de Deming (Ciclo PDCA)

2.2.1.1 Relação entre *Kaizen* e o desempenho ambiental

No global, a ferramenta *Kaizen* cria um foco na eliminação de todas as formas de desperdícios existentes nos processos. Desta forma, ainda que indiretamente, as melhorias resultantes desta ferramenta são muitas vezes semelhantes às encontradas nos sistemas de gestão ambiental, visto que a maior parte dos desperdícios numa organização afetam diretamente o meio ambiente (Pampanelli et al., 2014). No entanto, a vantagem do *Kaizen* relativamente aos sistemas de gestão ambiental é que este envolve trabalhadores de múltiplas funções e que podem ter um papel importante em determinado processo, e que assim são encorajados a participar em atividades de redução de resíduos, que por sua vez trazem melhorias aos processos e às organizações. Geralmente, os trabalhadores próximos de um processo específico têm sugestões muito benéficas, que podem ser aproveitadas para melhorar o processo e reduzir o desperdício e, em alguns casos, o *Kaizen* pode ser o caminho para envolver uma ampla participação organizacional em atividades de melhoria contínua que visam a redução dos resíduos físicos e dos impactos ambientais.

2.2.2 *Value Stream Mapping*

O VSM pode ser definido como um método de análise e desenho de fluxos de informação, de processos e materiais. Neste método considera-se todo o percurso realizado ao longo da cadeia de fornecimento, desde os fornecedores de matéria-prima até à entrega do produto final ao cliente. Esta ferramenta permite identificar os desperdícios existentes no processo, para que, de seguida, possam ser criadas as soluções para os eliminar (Correia, Silva, Gouveia, Pereira, & Ferreira, 2018). Para além da identificação de desperdícios, os objetivos do VSM também passam por permitir a identificação de ações de melhoria na fábrica e no fluxo de valor, e estabelecer uma metodologia representativa de avaliação de processos (Yüksel & Uzunović, 2019).

2.2.2.1 Relação entre o VSM e o desempenho ambiental

Sendo o VSM descrito como uma ferramenta para captar dados de processos tais como o *Work in Process* (WIP), tempos de *setup*, taxas de erros, bem como o fluxo de produção, trata-se de uma ferramenta fundamental para acelerar processos e eliminar dentro deste atividades sem valor acrescentado (Cherrafi et al., 2018). Atividades sem valor acrescentado são consideradas aquelas que consomem recursos, mas não contribuem diretamente para o produto ou serviço, e alguns exemplos destas atividades são a sobreprodução, o WIP, o excesso de transporte, a sucata e o retrabalho. Como se observou na Tabela 1, todas estas atividades influenciam negativamente o impacto ambiental das organizações. Assim, o VSM, ao tornar possível reduzir ou eliminar estas atividades, contribui positivamente para um melhor desempenho ambiental.

2.2.3 Total Productive Maintenance

A TPM procura envolver todos os níveis e funções de uma organização na procura de maximizar a eficácia do equipamento de produção e reduzir erros e acidentes. A TPM procura envolver os trabalhadores de todos os níveis, desde o chão de fábrica aos altos executivos, para garantir a operação efetiva dos equipamentos. A manutenção autónoma é um aspeto fundamental do TPM, qualificando os trabalhadores para cuidar dos equipamentos e máquinas com os quais trabalham (Basavaraju, Rao, & Gopal, 2019). Esta ferramenta aborda todo o ciclo de vida do sistema de produção e cria um sistema sólido, baseado no chão de fábrica, para evitar acidentes, defeitos e avarias, através da prevenção de paragens (manutenção preventiva), de equipamentos à prova de erros (*poka-yoke*) para eliminar defeitos ou facilitar a manutenção (manutenção corretiva), ou do projeto e instalação de equipamentos que necessitem de pouca ou nenhuma manutenção ou então que sejam de reparação rápida após a ocorrência de avarias (Guariente, Antonioli, Ferreira, Pereira, & Silva, 2017). O objetivo passa pela eliminação total de todas as perdas, incluindo avarias, configurações de equipamentos e perdas resultantes de afinações, paragens, velocidades reduzidas, defeitos e retrabalho, derrames de óleos ou outros fluidos, para além das perdas de rendimento (Gupta & Vardhan, 2015). O TPM é assim o caminho para uma produção com zero falhas em máquinas e zero defeitos no produto. Segundo (Nakajima, 1989), a TPM não se limita a lidar com avarias, pois esta ferramenta procura a eficácia total do equipamento, que é avaliada através do indicador *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Este indicador pode ser determinado pela equação 1.

$$OEE = Disponibilidade \times Eficiência \times Qualidade \quad (1)$$

As variáveis disponibilidade, eficiência e qualidade necessárias para a obtenção do indicador OEE, são dadas pelas equações 2, 3 e 4, respetivamente.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo disponível para produção} - \text{Tempo de paragem}}{\text{Tempo disponível para produção}} \quad (2)$$

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Tempo de ciclo teórico} \times \text{Quantidade de unidades produzidas}}{\text{Tempo de ciclo real}} \quad (3)$$

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Número de unidades produzidas} - \text{Número de unidades defeituosas}}{\text{Número de unidades produzidas}} \quad (4)$$

Com este indicador, torna-se então possível medir a eficácia dos equipamentos durante um determinado período de operações, sendo que, tanto em termos económicos como ambientais, quanto mais próximo de 100% for o OEE, melhor é o desempenho da organização.

2.2.3.1 Relação entre a TPM e o desempenho ambiental

A manutenção adequada de equipamentos, permite reduzir os defeitos resultantes de um processo. Por sua vez, a redução de defeitos permite reduzir, ou até mesmo eliminar, os desperdícios nos processos, pois a redução de defeitos significa também uma diminuição dos produtos a serem descartados, o que resulta em menos consumo de matéria-prima, energia e resíduos, que teriam de ser usados para refazer o produto descartado (Chiarini, 2014). Por outro lado, a redução de defeitos também resulta em menos retrabalho necessário para o reaproveitamento dos produtos defeituosos. Esse retrabalho muitas vezes resulta no consumo de energia, matéria-prima, consumíveis, emissão de resíduos para o ambiente, entre outros. Todos estes consumos desnecessários contribuem negativamente para o desempenho ambiental das organizações. De outro modo, o TPM também pode aumentar a longevidade do equipamento, diminuindo assim a necessidade de comprar ou produzir novos equipamentos para substituir os antigos, reduzindo também desta forma os impactos ambientais economizando os recursos necessários para a produção das novas máquinas, tal como emissões que resultam desse processo (Basavaraju et al., 2019). A redução do número de derramamentos e da gravidade dos mesmos nos equipamentos, são também um ponto favorável ao ambiente na aplicação desta ferramenta.

2.2.4 Produção em células

Na produção em células, as estações de trabalho e os equipamentos são organizados numa sequência que permite o fluxo de materiais e componentes através do processo de produção com o mínimo de transporte (Cherrafi et al., 2018). A implementação deste método *Lean* é, normalmente, a primeira mudança no processo de produção, pois facilita o aumento da velocidade do processo e a sua flexibilidade. Ao invés de existir o processamento de várias peças antes de estas passarem para a próxima etapa do processo, como acontece na produção por lotes, a produção em células visa mover uma única peça para a etapa seguinte, no tempo certo e conforme as necessidades dos clientes. Este tipo de produção oferece às empresas uma grande flexibilidade para variar o tipo de produto ou recursos na linha de produção, que torna possível uma rápida resposta aos clientes e visa ainda minimizar o tempo de ciclo de um único produto (Liu, Wang, & Zhou, 2019).

No entanto, a produção em células requer tempos de *setup* curtos e um novo *layout* adequado. Para isso, as organizações devem optar por máquinas pequenas, flexíveis e de tamanho adequado, para que se possam encaixar o melhor possível dentro da célula. O equipamento deve também ser preparado para sinalizar quando um ciclo estiver completo ou quando ocorrerem problemas, usando a técnica *Jidoka*, que significa a automação. Esta técnica transfere para os funcionários do chão de fábrica a responsabilidade de gerir várias máquinas de uma célula de produção, e embora eles precisem de alimentar ou descarregar peças no início e no final de um ciclo, estes devem também concentrar-se na implementação da técnica TPM e nas melhorias do processo (*Kaizen*) (Ayough & Farhadi, 2019). Na Figura 4 e Figura 5, são apresentados exemplos de *layouts* de produção por lotes e produção por células, respetivamente.

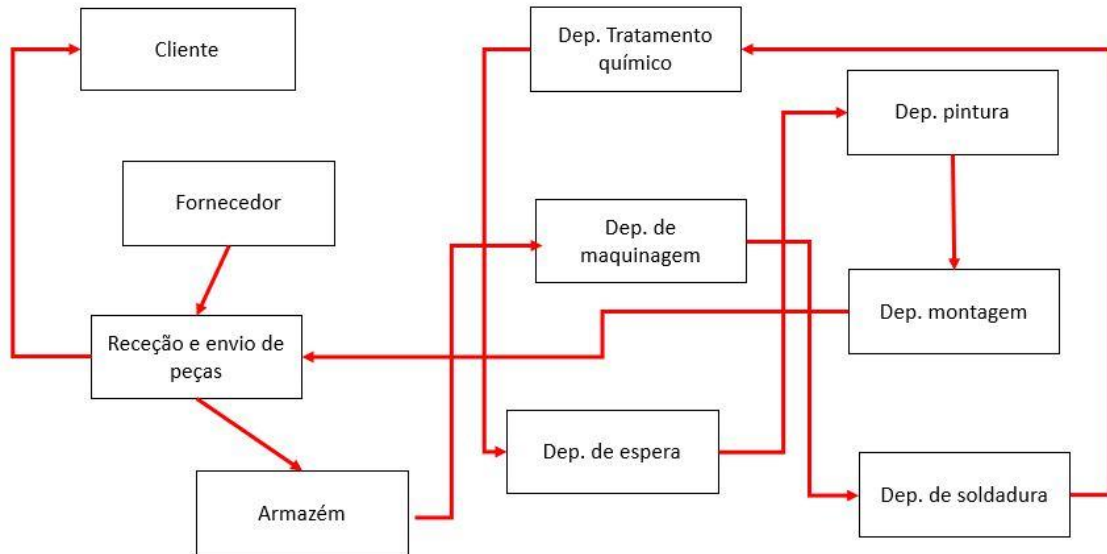


Figura 4 - Layout de produção por lotes - Adaptado de US EPA (2015)

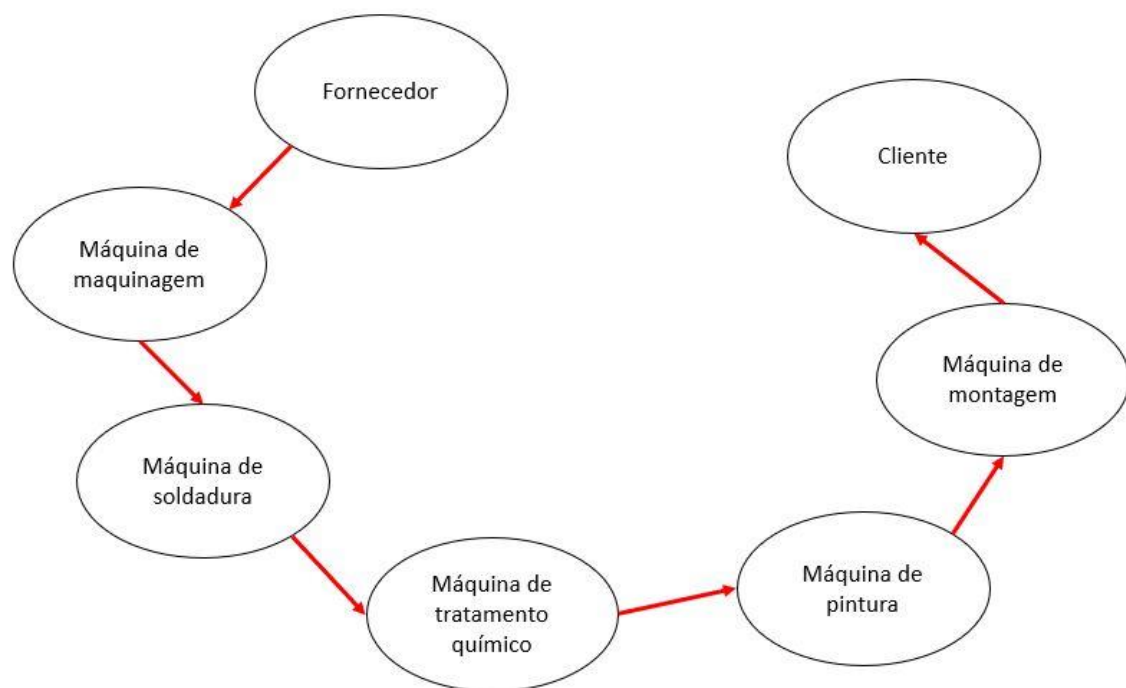


Figura 5 - Layout de produção por células - Adaptado de US EPA (2015)

2.2.4.1 Relação entre a produção em células e o desempenho ambiental

Vários benefícios ambientais podem ser encontrados na produção em células. Neste subcapítulo, esses benefícios são apresentados.

A produção em células permite reduzir a sobreprodução. Consequentemente, a redução deste desperdício permite reduzir os impactos ambientais de três formas:

- Diminuindo o número de produtos defeituosos que seriam sucata;
- Diminuindo a quantidade de matéria-prima utilizada na produção;
- Diminuindo a quantidade de energia e emissões de resíduos que são usados no processamento desnecessário de produtos.

Como na produção em células é movimentado pelo fluxo do processo uma peça de cada vez, este método permite também aos operadores identificar e corrigir rapidamente problemas que surjam no decorrer do processo, usando a automação (*Jidoka*), e reduzindo assim os desperdícios resultantes de peças defeituosas, enquanto que num processamento por lotes, torna-se difícil identificar e responder aos defeitos até que todo o lote seja produzido (Castro, Silva, & Silva, 2017). Neste ponto, encontramos também vários benefícios ambientais associados à redução ou eliminação de defeitos. Outro aspeto da produção em células em que se encontram vantagens ambientais, é no facto de serem usados equipamentos dimensionados para o processo e para a procura. Os equipamentos de tamanho adequado, normalmente consomem menos material e energia por unidade de produção do que os equipamentos convencionais de grande porte feitos para produzir o máximo de peças possível.

Por outro lado, os *layouts* de produção em células também requerem menos espaço para os mesmos níveis de produção (Barbosa, Silva, Pimentel, & Gouveia, 2018; Chiarini, 2014). As reduções na área do chão de fábrica permitem reduzir o uso de energia para aquecimento, arrefecimento e iluminação do espaço, para além de que também reduz os consumos de recursos e desperdícios associados à manutenção do espaço, como por exemplo, os produtos para limpeza. Ainda associado ao tamanho do chão de fábrica, estão as reduções no uso de materiais de construção e a redução de resíduos de construção que, conseqüentemente, reduz o impacto ambiental das organizações.

2.3 Impacto das ferramentas *Lean* no desempenho ambiental

O *Lean* surge como um conjunto de técnicas que permitem atingir determinado fim utilizando menos recursos, energia e matéria-prima, e que tem o seu foco na redução ou eliminação de desperdícios (Womack et al., 2007). A diversa literatura sobre a aplicação das técnicas *Lean* e uma conseqüente melhoria de desempenho das organizações é consensual, demonstrando que as organizações que adotam a filosofia *Lean* e aplicam as suas técnicas, têm elevadas melhorias na sua eficiência, reduzindo assim os seus custos e aumentando a qualidade dos seus produtos (Carlsson & Fröberg, 2016; Oliveira, Sá, & Fernandes, 2017; Sousa et al., 2018). No entanto, há ainda pouca literatura que faça a ligação entre esses ganhos económicos e ganhos ambientais e, apesar de ser maioritário o número de autores que defende que a interação *Lean* e *Green* traz benefícios às organizações, não é consensual entre todos que assim seja. Ohno (1988) identificou os sete desperdícios (*muda*) apresentados no subcapítulo 2.1.3 e o objetivo da produção *Lean* passa por reduzi-los ou eliminá-los, sendo essa a chave para a melhoria da eficiência das organizações. Por outro lado, uma produção *Green* é definida como uma implementação contínua de estratégias de prevenção ambiental

aplicadas a produtos, processos e serviços (Jones et al., 2019). Assim, os produtores podem simultaneamente adotar técnicas *Lean* e *Green*, de forma a criar uma posição ambiental que é o caminho para uma redução de custos e riscos, incrementando assim os seus lucros e ainda melhorando a imagem da sua marca face aos seus clientes. Os esforços das firmas para melhorar os seus processos de fabrico e aumentar a produtividade, podem criar oportunidades substanciais para a melhoria do desempenho ambiental através das técnicas *Lean* (Florida, 1996). Na Tabela 2 são apresentados os resultados de artigos científicos sobre os conceitos *Lean* e *Green*, assim como a metodologia de investigação utilizada e a área análise do artigo.

Tabela 2 - Revisão da literatura *Lean/Green*

Referência	Área de análise	Objetivo da investigação	Metodologia	Resultados
(Pampanelli et al., 2014)	Produção	Propor um modelo <i>Lean</i> e <i>Green</i> para reduzir os desperdícios e o impacto ambiental na produção	Investigação-ação	O modelo <i>Lean</i> e <i>Green</i> reduziu de 30 a 50% o uso de recursos e de 5 a 10% o custo total no fluxo de massa e energia.
(Fercoq et al., 2016)	Produção	Determinar a influência da integração <i>Lean/Green</i> na redução de desperdícios	Estudo experimental quantitativo	A integração <i>Lean/Green</i> tem um impacto positivo na redução de desperdícios.
(Chiarini, 2014)	Produção	Reduzir o impacto ambiental no sistema de produção das empresas com a produção <i>Lean</i>	Múltiplos casos de estudo	Após serem medidos os impactos ambientais nas empresas antes e depois da aplicação de cinco ferramentas <i>Lean</i> (VSM, 5S's, Produção em células, Single Minute Exchange of Die (SMED) e TPM), todas as ferramentas,

Referência	Área de análise	Objetivo da investigação	Metodologia	Resultados
				exceto o SMED, revelaram reduções nos impactos ambientais.
(Fahimnia, Sarkis, & Eshragh, 2015)	Cadeia de abastecimento	Desenvolver um modelo de planeamento tático da cadeia de abastecimento para investigar <i>trade-offs</i> entre custos e os impactos ambientais	Modelo matemático	Enquanto que algumas intervenções podem resultar em benefícios <i>green</i> , nem todas as práticas estão em sintonia com as estratégias <i>green</i> .
(Piercy & Rich, 2015)	Cadeia de abastecimento	Explorar os benefícios <i>Green</i> das práticas <i>Lean</i>	Múltiplos casos de estudo	As operações <i>Lean</i> levaram as organizações a conseguir muitos benefícios ambientais, demonstrando que a implementação de práticas <i>Lean</i> e a melhoria do desempenho ambiental estão interligados.
(Leme, Nunes, Message Costa, & Silva, 2018)	Produção	Demonstrar que é possível criar valor nas organizações com menos impacto ambiental, através da adoção de ferramentas <i>Lean</i> e <i>Green</i> .	Caso de estudo	Redução de 70% do tempo de <i>setup</i> e de 81% na emissão de carbono para o meio ambiente, depois da aplicação da ferramenta SMED num centro de maquinaria de metais.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO
- 3.2 ANÁLISE DA SITUAÇÃO ANTES DAS IMPLEMENTAÇÕES *LEAN*
- 3.3 MELHORIAS E IMPLEMENTAÇÕES *LEAN/GREEN*
- 3.4 SÍNTESE DE RESULTADOS *LEAN* E *GREEN*

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Descrição do processo de fabrico

O processo de fabrico da Portimpact é constituído por uma zona de corte de perfis de alumínio (CPA), um centro de corte e transformação de chapa e perfis de aço (CTC), um centro de maquinagem, uma área de soldadura constituída por três *robots* de soldadura e duas máquinas de soldadura manuais, e uma zona de limpeza e pintura do produto acabado. Relativamente ao material em aço, este chega proveniente dos fornecedores em chapa para que seja transformada ou então em perfil tubular, que necessita apenas de ser cortado antes de passar à zona de soldadura e ser montado e soldado, passando antes por um túnel de desengorduramento, de forma a remover óleos e sujidades resultantes das operações de corte e transformação. Após estas operações, os produtos em aço são sujeitos a limpeza e, posteriormente, à pintura. Quanto ao alumínio, este chega somente em perfil, seja ele tubular ou não. Desta forma, os perfis de alumínio são sujeitos a cortes e passam pelo centro de maquinagem. Após estas operações, as peças em alumínio passam pelo túnel de desengorduramento, para de seguida serem montados nos gabaritos indicados e soldadas. Realizadas estas operações, o produto já soldado é sujeito a limpeza, não sendo efetuada qualquer pintura ou lacagem do mesmo. Depois da pintura nos produtos em aço e da limpeza nos produtos em alumínio, os produtos são embalados e encaminhados para o armazém de produto acabado. Na Figura 6, é possível observar o *layout* antes da implementação das ferramentas *Lean* na Portimpact.

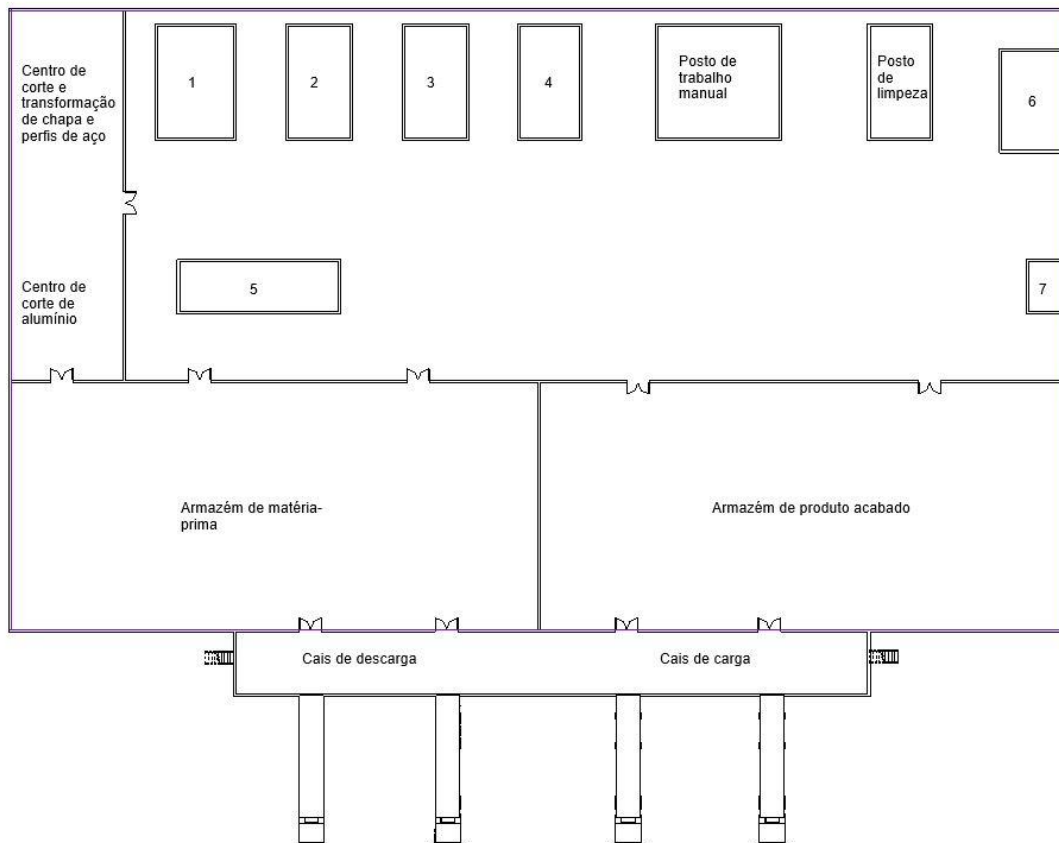


Figura 6 - Layout antes da implementação do Lean Production

Legenda da Figura 6:

- 1 – Centro de maquinagem
- 2 – 1ª Célula robotizada de soldadura de produtos em aço
- 3 – 2ª Célula robotizada de soldadura de produtos em aço
- 4 – Célula robotizada de soldadura de produtos em alumínio
- 5 – Perfiladora de chapa de aço
- 6 – Cabina de pintura
- 7 – Embalagem

Para que se torne possível no final medir a influência das aplicações *Lean* no desempenho ambiental da empresa, é necessário fazer um diagnóstico da atual situação para, posteriormente, realizar as implementações *Lean* nos aspetos mais desfavoráveis, quer em termos ambientais, quer em termos económicos para a empresa. Desta forma, neste capítulo são apresentados dados quantitativos relativos aos desperdícios *Lean* que foram identificados. Para obter o máximo de exatidão nos valores obtidos dos dados recolhidos, neste caso de estudo são analisados apenas dois produtos da empresa, denominados produto A (Figura 7) e produto B (Figura 8). Estes são os produtos mais

produzidos, pelo que é possível medir de forma mais fiável o impacto das implementações *Lean* no processo de produção.



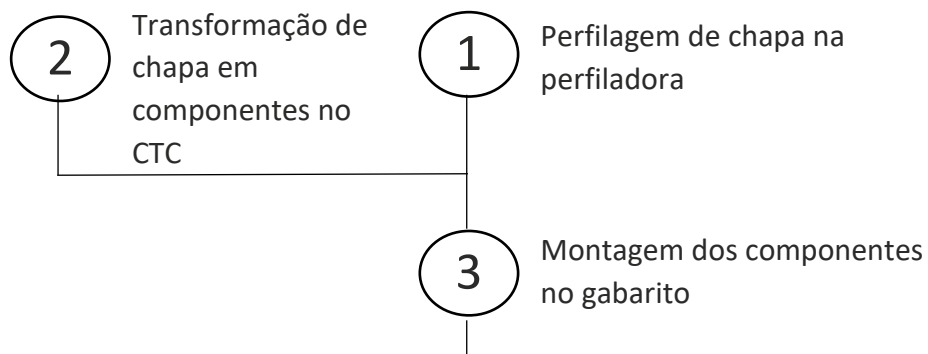
Figura 7 - Produto A - Paleta Universal em aço galvanizado



Figura 8 - Produto B - Paleta *Hygienic* em alumínio

3.1.1 Diagrama do processo de fabrico do produto A

Neste subcapítulo, é apresentado na Figura 9 o diagrama de processo do produto A (Figura 7), onde são mostradas todas as suas etapas.



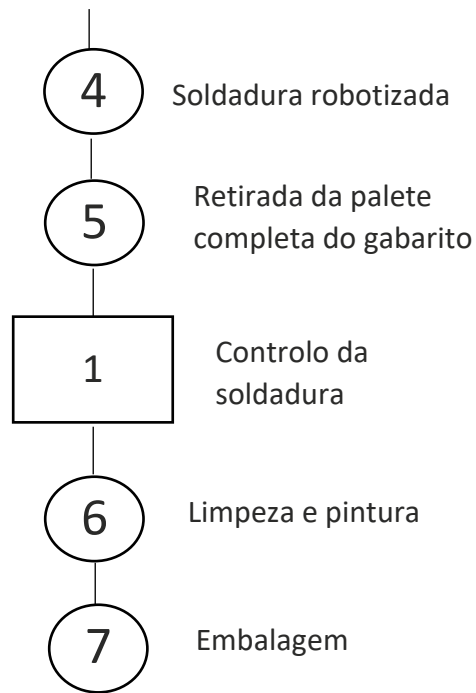
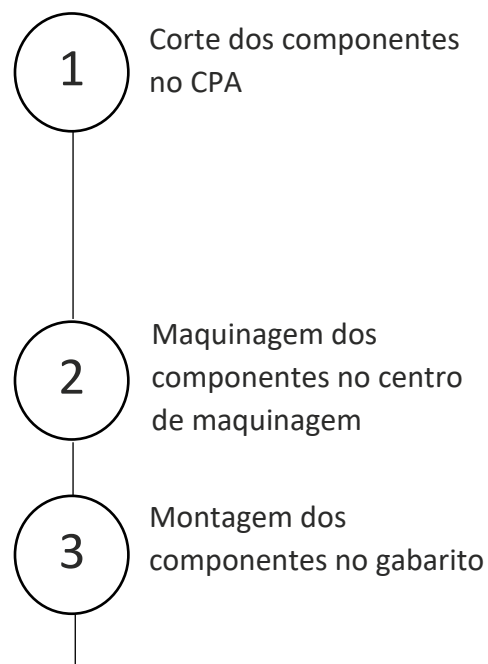


Figura 9 - Diagrama de processo do produto A

3.1.2 Diagrama do processo de fabrico do produto B

A Figura 10 deste subcapítulo apresenta, à semelhança do subcapítulo anterior, o diagrama de processo do produto B (Figura 8), em que podem ser observadas todas as suas etapas e diferenças em relação ao processo do produto A (Figura 7).



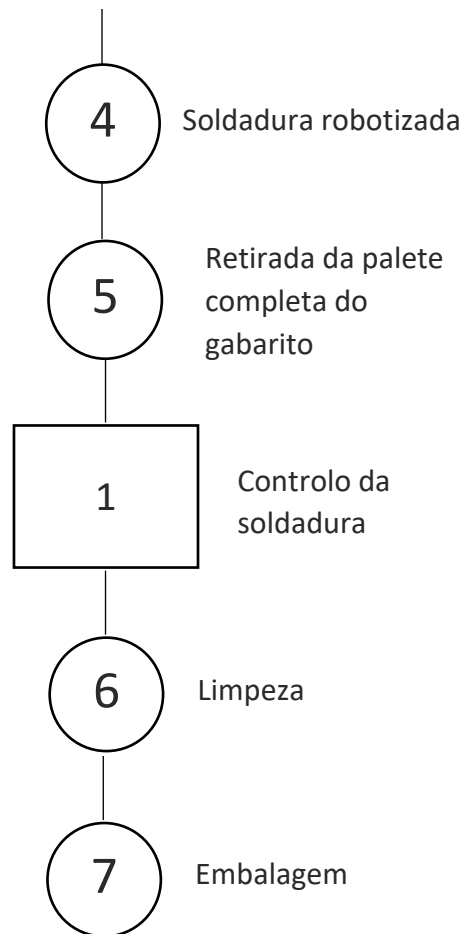


Figura 10 - Diagrama de processo do produto B

3.1.3 O processo de soldadura

Como é referido anteriormente, o processo de soldadura é composto por três células robotizadas e duas máquinas para operações manuais de soldadura. Como são apenas fabricados produtos utilizando como matérias-primas o aço e o alumínio, neste momento duas células robotizadas estão preparadas para a soldadura de aço e uma para a soldadura de alumínio e, relativamente às máquinas manuais, tem-se uma preparada para aço e a outra para alumínio. Contudo, existe agilidade no processo, porque é possível preparar qualquer uma das células robotizadas e máquinas manuais para soldar o outro tipo de material, com umas pequenas alterações que requerem um baixo investimento. No entanto, para uma posterior análise, irá ser tida em consideração a configuração atual.



Figura 11 - Célula robotizada de soldadura

Na Figura 11 está representada uma das células robotizadas da empresa, sendo as outras duas iguais. Como é possível observar, a célula é constituída por duas mesas giratórias, uma de cada lado do braço robótico, onde são colocados os gabaritos e onde, por sua vez, são montadas as peças a ser soldadas. Com este método, o *robot* nunca está parado, pois o tempo de montagem e desmontagem de uma peça é significativamente mais baixo que o tempo de soldadura de uma peça e, assim, enquanto o operador desmonta a peça soldada e monta uma nova peça para ser soldada num dos lados, outra peça está a ser soldada no lado oposto, havendo uma proteção que sobe aquando do momento da soldadura de forma a proteger o operador que está a montar peças.

Após a soldadura das peças, há um controlo da soldadura feito pelo mesmo operador. Se esse operador encontrar defeitos, a peça segue para o posto de trabalho manual, onde é feita a sua reparação, sempre que possível. Caso não existam defeitos, o produto passa diretamente para a zona de limpeza e, posteriormente, de pintura, no caso dos produtos em aço.

3.2 Análise da situação antes das implementações *Lean*

Neste subcapítulo, são apresentados os desperdícios identificados ao longo da fase de diagnóstico do processo de fabrico da empresa.

3.2.1 Excesso de transporte ao longo do processo

Da análise conjunta do *layout* e do fluxograma do processo representados no subcapítulo 3.1, são detetadas imediatamente algumas anomalias no processo. Estas

anomalias surgem do *layout* que, apesar de seguir um fluxo em que a produção é sempre puxada pelo posto de trabalho seguinte, obriga a percorrer longas distâncias para transportar o material de um posto de trabalho para o posto seguinte. Estas distâncias encontram-se representadas nas figuras abaixo, para os dois diferentes produtos.

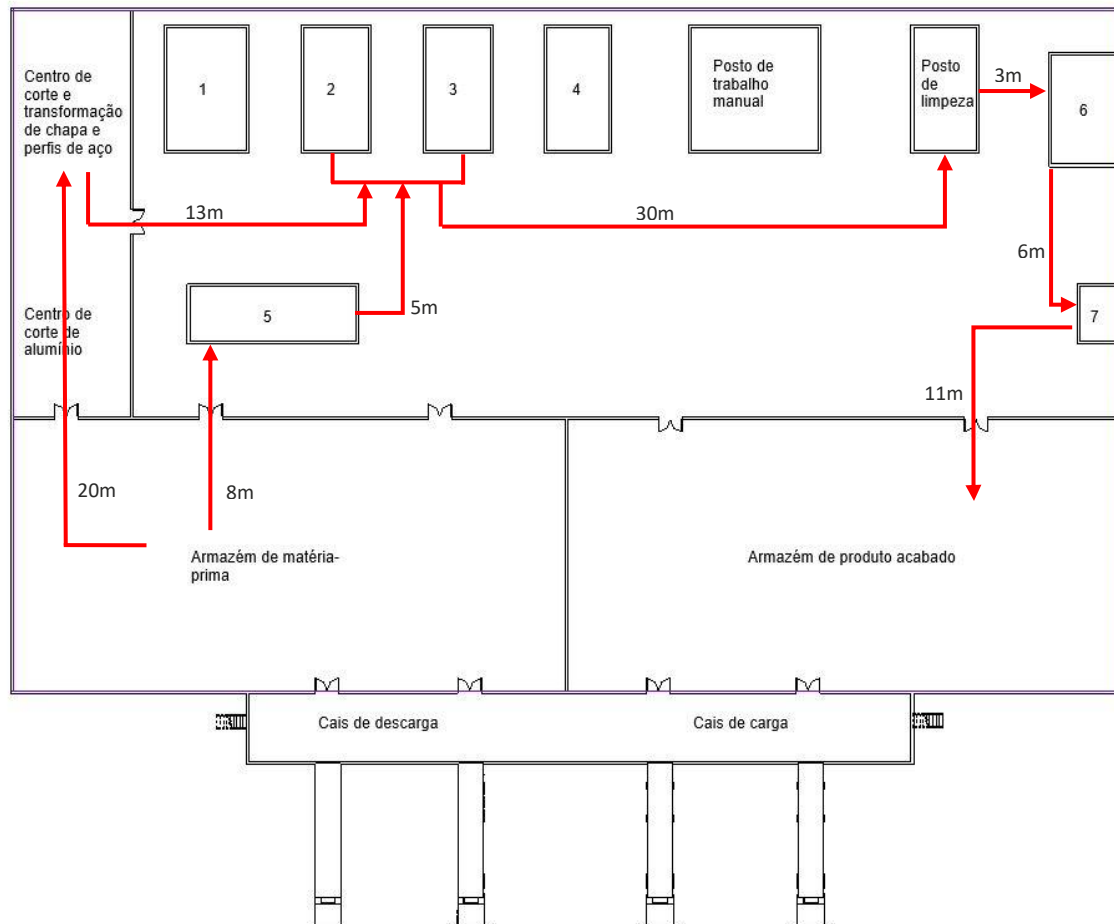


Figura 12 - Fluxo do processo e distâncias percorridas para o produto A

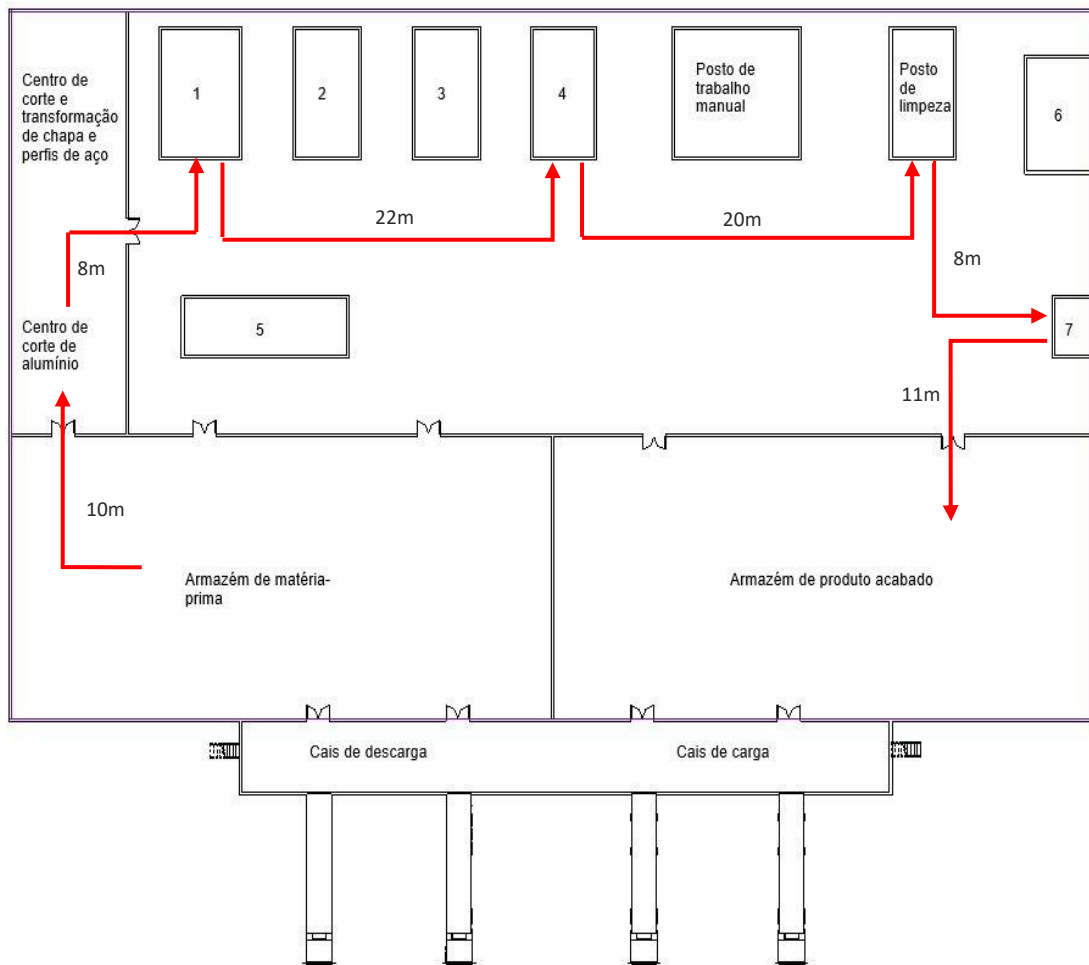


Figura 13 - Fluxo do processo e distâncias percorridas para o produto B

Legenda da Figura 12 e Figura 13:

- 1 – Centro de maquinagem
- 2 – 1ª Célula robotizada de soldadura de produtos em aço
- 3 – 2ª Célula robotizada de soldadura de produtos em aço
- 4 – Célula robotizada de soldadura de produtos em alumínio
- 5 – Perfiladora de chapa de aço
- 6 – Cabina de pintura
- 7 – Embalagem

Como é possível observar na Figura 12 e na Figura 13, o *layout* que foi concebido obriga a percorrer distâncias de 96 metros para o produto A (Figura 7) e de 79 metros para o produto B (Figura 8), para se transportar as peças desde o início até ao final do processo. Desta forma, as longas distâncias entre células de produção obrigam a que seja feito o processamento de várias peças antes de estas passarem para a etapa seguinte do processo, o que origina a produção de lotes e, conseqüentemente, retira flexibilidade à

empresa, aumentando o tempo de resposta ao cliente e tende a aumentar os tempos de ciclo de um único produto.

Para além da distância percorrida, acresce ainda o problema relativo ao facto dos dois produtos se cruzarem, o que pode levar a alguns constrangimentos e esperas no decorrer do fluxo do processo.

Existem trajetos que necessariamente têm de ser percorridos recorrendo a um empilhador, devido ao tipo de carga que se manuseia. A empresa possui dois empilhadores, sendo os dois movidos a gás propano. Os transportes efetuados obrigatoriamente com recurso ao empilhador, devido ao tamanho e peso do material a transportar, são os seguintes:

- Armazém de matéria-prima → Centros de transformação;
- Armazém de matéria-prima → Perfiladora (5);
- Células robotizadas de soldadura (2,3,4) → Posto de limpeza;
- Posto de limpeza → Embalagem (7);
- Embalagem (7) → Armazém de produto acabado.

O percurso entre o armazém de matéria-prima e a perfiladora (posto 5) é realizado apenas quando é necessário repor a bobine de chapa no alimentador da máquina. Esta reposição é efetuada apenas a cada 2 dias, pelo que não irá ser considerada esta deslocação nos cálculos seguintes.

Os transportes entre os restantes postos de trabalho são efetuados com recurso a porta-paletes ou utilizando carrinhos destinados para o efeito.

O transporte das peças entre postos é feito em lotes de peças necessárias para 10 produtos finais, e a produção média diária para o produto A (Figura 7) e produto B (Figura 8) é de 100 e 50 unidades, respetivamente. Desta forma, são necessários $100/10 = 10$ abastecimentos para o produto A e 5 abastecimentos para o produto B, por dia.

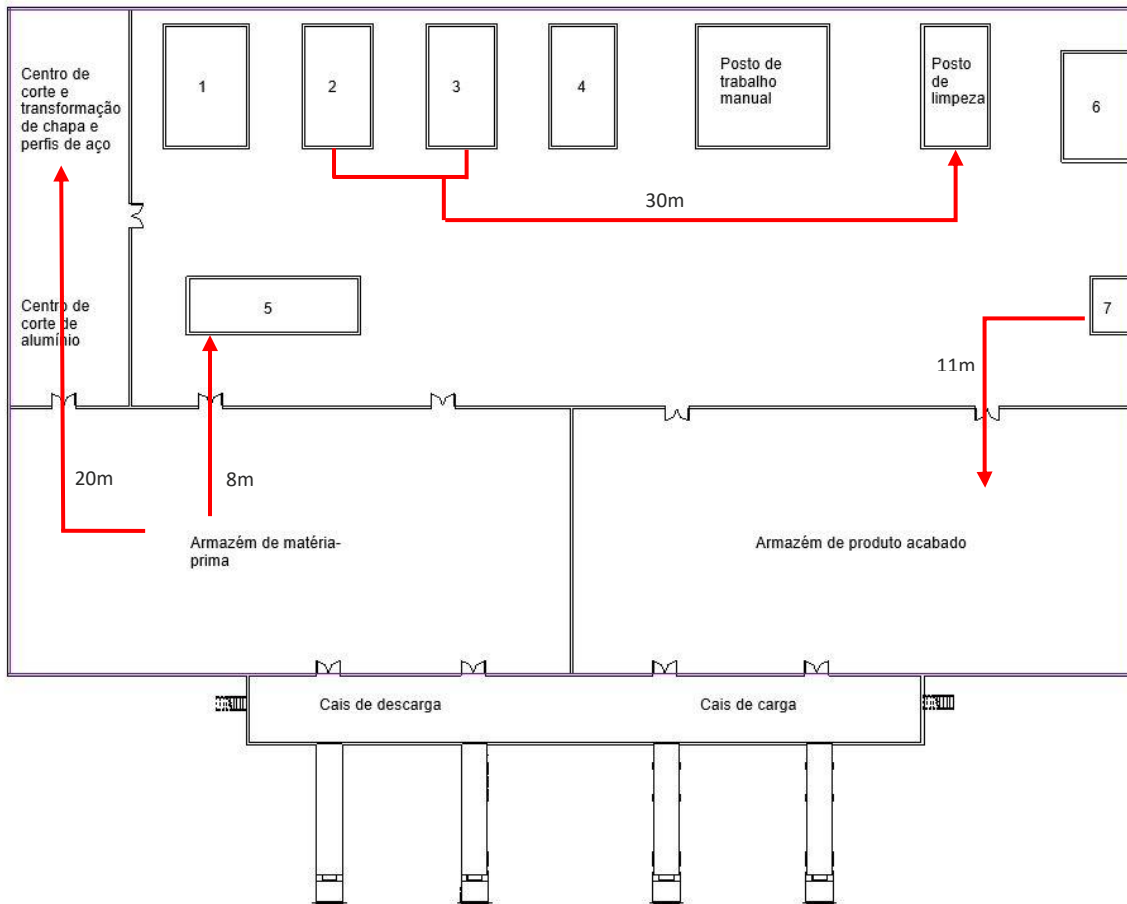


Figura 14 - Transporte efetuado com empilhador para o produto A

Da análise da Figura 14, onde só estão representados os fluxos onde é utilizado o empilhador para transportar peças necessárias para o produto A, conclui-se que:

$$d_{empilhador A} = d_{Amp-CTC} + d_{2,3-PL} + d_{7-Apa} \quad (5)$$

$$d_{empilhador A} = 20 + 30 + 11 = 61 \text{ m}$$

Com:

$d_{empilhador A}$ = Distância total percorrida de empilhador para o produto A num transporte, em metros.

$d_{Amp-CTC}$ = Distância entre o armazém de matéria-prima e o centro de corte e transformação de chapa e perfis de aço, em metros.

$d_{2,3-PL}$ = Distância entre os postos nº2 e 3 e o posto de limpeza, em metros.

d_{7-Apa} = Distância entre o posto nº7 e o armazém de produto acabado, em metros.

Obtém-se da equação 5 que, por dia, a distância percorrida pelo empilhador no processamento do produto A é equivalente a $61 \times n_A$, sendo $n_A = 10$, nº de transportes necessários diariamente para o produto A. Assim sendo, tem-se que a distância percorrida diariamente pelo empilhador é de $61 \times 10 = 610$ metros.

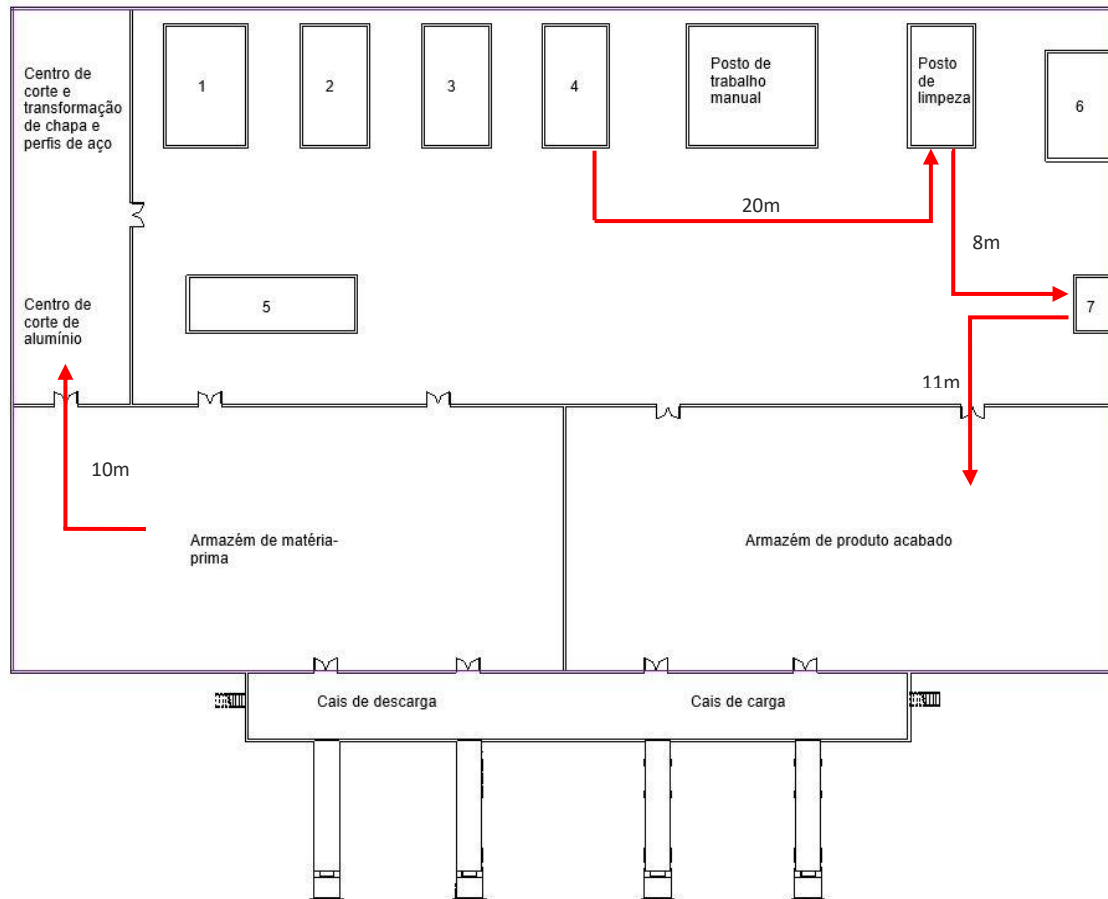


Figura 15 - Transporte efetuado com empilhador para o produto B

Na Figura 15 estão representados os transportes de peças em que é utilizado o empilhador para as fazer avançar para o processamento seguinte.

Repetindo os cálculos realizados para determinar quantos metros são percorridos pelo empilhador apenas num abastecimento para o processamento do produto A (Figura 7), utilizando agora os postos de trabalho onde é processado o produto B (Figura 8), conclui-se que o empilhador tem de percorrer 49 metros a cada abastecimento de peças ao longo do processo. Como se viu anteriormente, para o produto B são necessários cinco abastecimentos por dia para a produção de 50 unidades diárias. Desta forma, tem-se que são percorridos $49 \times 5 = 245$ m/dia pelo empilhador.

3.2.2 Elevados tempos de espera

Na fase de diagnóstico do processo, foi possível identificar os tempos de espera como um dos principais desperdícios *Lean* no processo de fabrico. Estes tempos de espera surgem especialmente no processo de soldadura, sendo que este é também o *bottleneck* do processo. As esperas neste processo surgem devido aos tempos de ciclo dos processos de soldadura dos dois produtos. Os tempos de cada operação realizada durante o processo de soldadura são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3 - Tempos de operação do processo de soldadura

Operação	Tempo de operação (min/peça)	
	Produto A	Produto B
Montagem	3	3,75
Soldadura	10	12,5
Desmontagem	1	1
Controlo	1,5	1,5

Da análise da descrição do processo de soldadura no capítulo 3.1.3 e dos tempos de operação da Tabela 3, é possível observar que o tempo de ciclo deste processo é equivalente ao tempo de soldadura de um produto. Sendo a soldadura efetuada por um *robot* inserido numa célula com dois gabaritos, um de cada lado do braço robótico, este nunca se encontra parado, soldando uma peça em cada lado, de forma intercalada. Em cada célula robotizada está um operário dedicado apenas àquela célula, com as funções de montar peças, desmontar e fazer o controlo do produto soldado. Desta forma, o tempo que o operário demora para realizar as suas funções é o equivalente à soma da operação de desmontagem, da operação de montagem e da operação de controlo, seguindo esta mesma ordem em cada ciclo. Tem-se então que um operador demora 5,5 e 6,25 minutos a realizar as suas tarefas para o produto A (Figura 7) e produto B (Figura 8), respetivamente, enquanto que cada *robot* demora 10 minutos na soldadura do produto A e 12,5 minutos no produto B. Assim, observa-se um tempo de espera por parte dos operadores de 4,5 minutos do operador do produto A e de 6,25 minutos do operador do produto B, o que se reflete num desperdício.

No entanto, no processo também existe material em espera devido ao processo de soldadura. Nas Figura 16 e Figura 17 são apresentados os gráficos de fluxo do processo em que é possível observar os tempos de cada operação, transporte e espera no processamento de um produto A (Figura 7) e de um produto B (Figura 8), respetivamente.

Passo	Distância (m)	Tempo (min.)	Operação	Transporte	Inspecção	Espera	Stock	Descrição
1	20	0,34	○	→	□	□	▽	Transporte de chapa para o CTC
2		0,6	●	→	□	□	▽	Transformação de chapa em componentes
2	13	0,25	○	→	□	□	▽	Transporte dos componentes para os postos 2 e 3
3	8	0,19	○	→	□	□	▽	Transporte de chapa para o posto 5
4		0,75	●	→	□	□	▽	Perfilagem de chapa em componentes
5	5	0,16	○	→	□	□	▽	Transporte de componentes para os postos 2 e 3
6		4,7	○	→	□	●	▽	Aguardar disponibilidade da máquina
7		3	●	→	□	□	▽	Montagem de componentes no gabarito
8		10	●	→	□	□	▽	Soldadura das peças pelo robot
9		1	●	→	□	□	▽	Retirar produto soldado do gabarito
10		1,5	○	→	■	□	▽	Controlo do produto acabado de soldar
11	30	0,46	○	→	□	□	▽	Transporte para o posto de limpeza
12		5	●	→	□	□	▽	Limpeza do produto
13	3	0,13	○	→	□	□	▽	Transporte para o posto de pintura
14		3,5	●	→	□	□	▽	Pintura
15	6	0,18	○	→	□	□	▽	Transporte para embalagem
16		0,25	●	→	□	□	▽	Embalagem
17		1,5	○	→	□	□	▽	Armazenamento do produto

Figura 16 - Gráfico de fluxo do processo do produto A

Passo	Distância (m)	Tempo (min.)	Operação	Transporte	Inspecção	Espera	Stock	Descrição
1	10	0,22	○	→	□	□	▽	Transporte de chapa para o CPA
2		4,5	●	→	□	□	▽	Corte dos perfis de alumínio nas medidas pretendidas
3	8	0,19	○	→	□	□	▽	Transporte para o centro de maquinagem
4		2,25	●	→	□	□	▽	Maquinagem dos componentes
5	22	0,37	○	→	□	□	▽	Transporte de componentes para o posto 4
6		3,5	○	→	□	●	▽	Aguardar disponibilidade da máquina
7		3	●	→	□	□	▽	Montagem de componentes no gabarito
8		12,5	●	→	□	□	▽	Soldadura das peças pelo robot
9		1	●	→	□	□	▽	Retirar produto soldado do gabarito
10		1,5	○	→	■	□	▽	Controlo do produto acabado de soldar
11	20	0,34	○	→	□	□	▽	Transporte para o posto de limpeza
12		5	●	→	□	□	▽	Limpeza do produto
13	8	0,19	○	→	□	□	▽	Transporte para embalagem
14		0,25	●	→	□	□	▽	Embalagem
15		1,5	○	→	□	□	▽	Armazenamento do produto

Figura 17 - Gráfico de fluxo do processo do produto B

3.2.3 Não conformidades no processo de soldadura

Apesar do processo de soldadura não ser aquele que tem a maior percentagem de defeitos em toda a produção, pois os defeitos acontecem com maior frequência no centro de corte e transformação de chapa e perfis de aço (CTC), este é aquele que produz maior quantidade de defeitos que originam sucata ou então, se possível, retrabalho para a recuperação do produto. Isto acontece porque, no processo de soldadura, ao invés de causar defeito num componente do produto final como ocorre no CTC, qualquer defeito proveniente deste processo é causado no produto final, pois este já se encontra com os componentes todos montados. Desta forma, os defeitos provenientes desta fase do processo são aqueles que causam maiores desperdícios e, conseqüentemente, maiores custos à empresa, quer naqueles que originam sucata, quer nos que originam retrabalho, que tem custos de mão-de-obra e, por vezes, de mais matéria-prima necessária para a reparação.

Tanto o produto A como o produto B (Figura 7 e Figura 8, respetivamente), necessitam de ter certas características para que possam cumprir com as necessidades do mercado. Uma dessas características é a baixa espessura do material, de forma a manter o produto mais leve e, conseqüentemente, mais fácil de manusear. O material do produto A, para além de possuir baixa espessura, é também uma chapa de aço galvanizada de forma a garantir a boa resistência à corrosão. O processo ideal seria soldar a chapa decapada e, só após a soldadura, proceder ao tratamento de superfície do material. No entanto, os custos que envolveriam o tratamento e toda a logística desse processo fariam com que o custo do produto aumentasse significativamente, ficando assim muito acima daquilo que os clientes estão dispostos a pagar. Relativamente ao produto B, não há nenhum fator dificultador no revestimento porque, devido à elevada resistência à corrosão, o alumínio é adquirido em bruto. No entanto, o produto B é um produto direcionado especialmente para as indústrias mais exigentes em termos de higienização do chão de fábrica, como são os casos da indústria farmacêutica e da indústria alimentar. Desta forma, na conceção deste produto, tem que se garantir que este é totalmente livre de contaminações. Para isso, para além do produto B (Figura 8) ser 100% em alumínio, ele tem também necessariamente de ser integralmente soldado, como é possível observar na Figura 18.

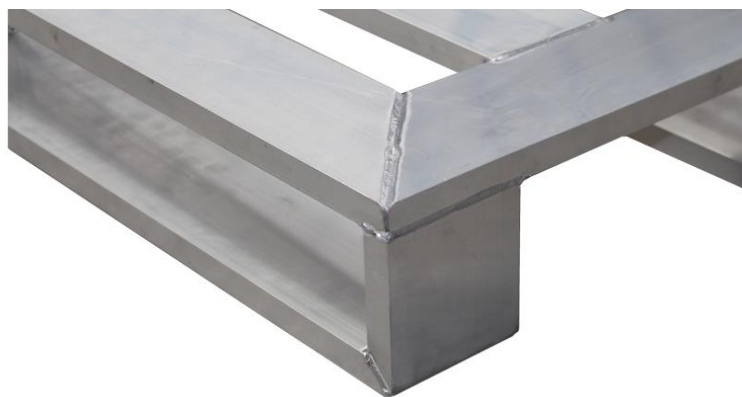


Figura 18 - Detalhe do produto B

Assim, qualquer defeito na soldadura é um defeito no produto final e, muitas vezes esse defeito não pode ser reparado sem que o produto seja considerado com defeito. Os defeitos mais comuns neste produto são os furos no material, a falta de penetração da solda e salpicos provenientes da soldadura.



Figura 19 - Exemplo de defeito por furo no material

Os defeitos no produto significam custos acrescidos à empresa, devido ao material que necessita de ser reparado e àquele que, por não ter reparação possível, é sucata. No processo de soldadura robotizada destes produtos, os defeitos são bastante significativos, como se pode observar nas imagens abaixo.



Figura 20 - Não conformidades registadas em torno do produto A



Figura 21 - Não conformidades registradas em torno do produto B

No produto B (Figura 8) é onde há maior quantidade de defeitos. Para além disso, é neste produto que os defeitos são mais críticos, pois muitos não têm reparação possível. Enquanto que no produto A (Figura 7), dos 11% de não conformidades, apenas 0,5% destas não têm reparação possível e são sucata, no produto B (Figura 8) a percentagem de defeitos que não têm reparação é mais significativo, sendo que é de 17% face ao número total de não conformidades. Os valores médios mensais de não conformidades registradas ao longo do ano de 2018 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios mensais de não conformidades

	Produto A	Produto B
Produção mensal	2000	1000
Não conformidades sujeitas a reparação (retrabalho)	210	240
Não conformidades sem reparação possível (sucata)	1	50
Não conformidades totais	211	290

Em termos económicos, as não conformidades acarretam custos elevados e desnecessários para a empresa. Sendo o peso do produto A (Figura 7) igual a 11,5 kg e do produto B (Figura 8) de 11,7 kg, todos os meses são colocados na sucata cerca de 600 kg o que se reflete num custo de 1500 €/mês para a empresa (este valor é calculado considerando o custo da matéria-prima, subtraindo a este o valor obtido da venda do material à sucata, e o custo da mão de obra já associada). Também o retrabalho significa custos à empresa. Apesar de não serem tão elevados, este custo representa em mão de obra 297 €/mês, considerando que por dia são necessárias cerca de 1,5 horas para reparação de todos os produtos defeituosos, e considerando que apenas é necessário um trabalhador para efetuar a reparação. Para além da mão de obra, no retrabalho têm de ser considerados também os custos em consumo de gás de soldadura e em energia

elétrica. Na fase de diagnóstico do processo, foram recolhidos dados relativos aos consumos na recuperação de peças, e concluiu-se que são consumidos por hora em retrabalho 0,25 m³ de gás de soldadura e 10,6 kWh de energia e, sendo o custo de cada m³ de gás de 8,66 € e da eletricidade de 0,295 €/kWh, obtém-se que para 33 horas por mês de retrabalho são gastos 71 €/mês e 103 €/mês, em gás de soldadura e energia, respetivamente. Desta forma, o custo total do retrabalho é de 471 €/mês.

Para melhor clarificar as possíveis causas para a ocorrência de defeitos, procedeu-se à elaboração do diagrama causa-efeito da Figura 22, que teve como precedente um *brainstorming* entre a equipa de trabalho.

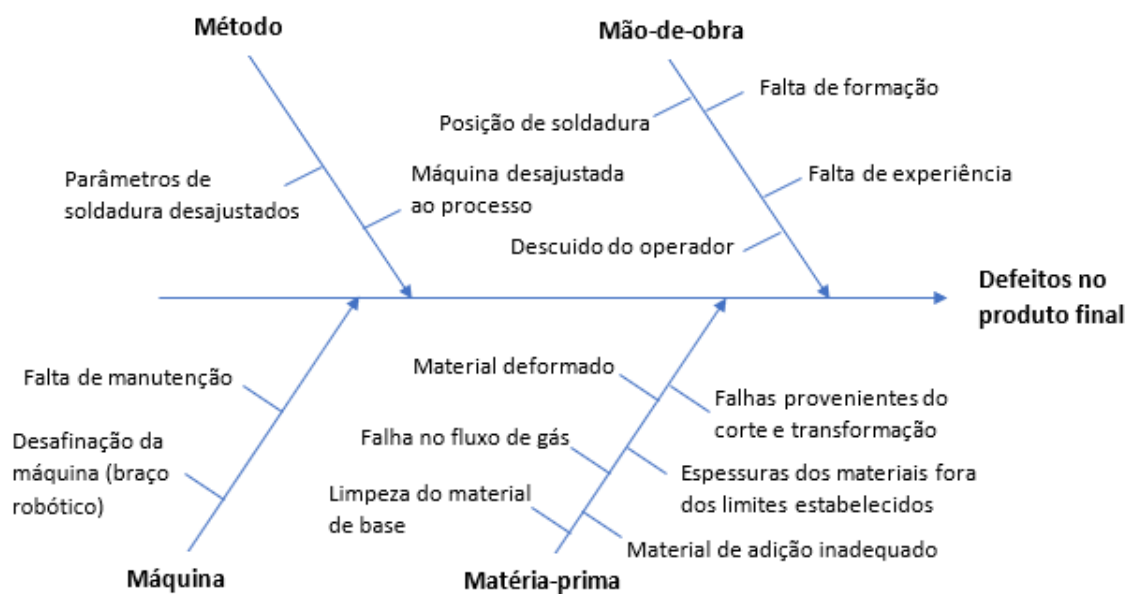


Figura 22 - Diagrama de causa-efeito do processo de soldadura

De todas as causas responsáveis pelos defeitos existentes no produto final, as que mais têm influência nos defeitos que ocorrem são os parâmetros de soldadura desajustados às peças a soldar, o desajuste da máquina à especificidade do material que é soldado e a desafinação da máquina. As duas primeiras causas estão muito relacionadas, pois o desajuste da máquina ao processo contribui muito para que haja uma maior dificuldade na afinação dos parâmetros para o material a soldar. Também a desafinação da máquina contribui para este tipo de defeitos. Na soldadura de alumínio, a posição da tocha é fundamental para a obtenção de bons resultados. Desta forma, a desafinação de 2 mm pode ser o suficiente para provocar defeitos irreparáveis no cordão de soldadura.

3.2.3.1 Análise das emissões de resíduos devido às não conformidades

As não conformidades que ocorrem nos produtos em processo, são uma das principais causas para a emissão de resíduos. Aquelas que não têm reparação possível e que têm como destino a sucata, apesar do material ser reciclado, em todo o processo são as que

mais contribuem para poluição ambiental. Da análise da Tabela 4, é possível retirar as quantidades de materiais que são sucata mensalmente, e aqueles que são sujeitos a retrabalho. O material colocado na sucata mensalmente, como indicado anteriormente, corresponde a 600 Kg. Quanto ao retrabalho, este também é responsável por emissões de resíduos para o meio ambiente. No retrabalho, é corrigida a soldadura do produto. Desta forma, há emissões de gás de soldadura e de fumos e ainda gastos de energia. Dos dados de consumos recolhidos na fase de diagnóstico do processo, retira-se que, por hora, são consumidos na recuperação de produtos defeituosos em média 0,25 m³ de gás de soldadura e 10,6 kWh de energia. Quanto às emissões de fumos, considerando uma corrente de 160 A e o gás 92%Ar⁺ + 8%O₂, esta é de 0,04 g/min (Ladwig, 2017). Como se observou acima, o retrabalho é realizado durante 1,5 horas por dia, que é equivalente a 33 horas/mês. Assim sendo, os consumos de gás e de energia na recuperação de peças não conformes são 8,25 m³/mês e 349,8 kWh/mês, respetivamente, enquanto que para o meio ambiente são emitidos 79,2 g de fumos de soldadura mensalmente.

3.2.4 Falta de manutenção preventiva

A falta de manutenção preventiva é um problema responsável por grande parte das não conformidades encontradas no processo. No processo de soldadura, a inexistência de manutenção preventiva não resulta em avarias, pelo facto das máquinas serem muito recentes. No entanto, resulta em não conformidades sempre que existe uma desafinação da máquina ou desgaste dos acessórios, tais como o bico de contacto e o difusor de gás, sendo estes os que sofrem maior desgaste, como é possível observar na Tabela 5. A filosofia dos trabalhadores responsáveis pelo processo era de substituir os componentes da máquina sempre que fosse visível o desgaste do mesmo, ou então quando estes ficavam inutilizáveis e obrigavam à paragem da operação, muitas vezes causando defeitos no produto. Isto acontecia devido à inexistência de um plano de manutenção preventiva. Outro problema era a inexistência de uma forma de garantir que o braço robótico estava calibrado. Desta forma, a desafinação da máquina só era visível quando se sucediam defeitos na produção.

Na Tabela 5, são apresentados o tempo médio de vida e o desvio-padrão para cada acessório de soldadura utilizado no processo. Para o cálculo dos valores apresentados, registaram-se todos os tempos de vida dos acessórios de soldadura ao longo de um ano (248 dias) nos três *robots* de soldadura, que deram origem ao número de observações apresentados na tabela.

Tabela 5 - Tempo médio de vida dos acessórios de soldadura

Acessórios de soldadura	Observações	Tempo médio de vida	Desvio-padrão
Bico de contacto	60	12 dias	2,03 dias
Difusor de gás	42	17 dias	2,29 dias
Bocal	12	55 dias	5,04 dias
Difusor e suporte de bico de contacto	15	43 dias	4,62 dias

3.3 Melhorias e implementações *Lean/Green*

Neste subcapítulo, são apresentadas as implementações *Lean* no processo, de forma a ser alcançada uma produção *Green*, ao mesmo tempo que são analisados os ganhos/perdas obtidos com essas implementações face à situação anteriormente descrita.

3.3.1 Implementação da produção em células

A alteração do *layout* do chão de fábrica e a implementação da produção em células é a solução encontrada para fazer face aos desperdícios de transporte apresentados no subcapítulo 3.2.1. Com a alteração do *layout* pretende-se criar um melhor fluxo de materiais e diminuir o transporte necessário para fazer fluir os materiais ao longo do processo. A configuração do novo *layout* é apresentada na Figura 23.

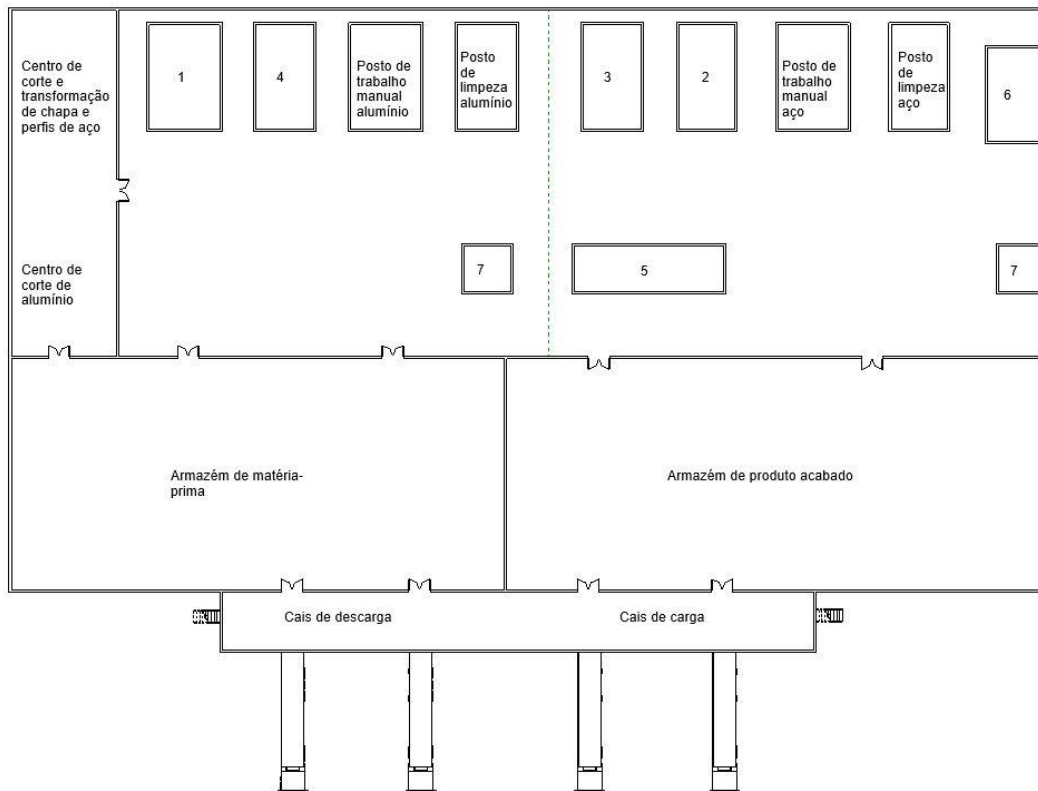


Figura 23 - *Layout* do processo após implementação da produção em células

Legenda da Figura 23:

- 1 – Centro de maquinagem
- 2 – 1ª Célula robotizada de soldadura de produtos em aço
- 3 – 2ª Célula robotizada de soldadura de produtos em aço
- 4 – Célula robotizada de soldadura de produtos em alumínio
- 5 – Perfiladora de chapa de aço
- 6 – Cabina de pintura
- 7 – Embalagem

De forma a implementar a produção por células de fabrico, o *layout* dividiu-se em dois para o trabalho dos dois diferentes produtos. A única máquina comum aos dois produtos ao produto A (Figura 7) e produto B (Figura 8) é a máquina de embalagem. Como se trata de uma máquina que requer pouco investimento, optou-se por adquirir uma nova máquina, de forma a evitar constrangimentos no processo.

Os novos fluxos de materiais dos processamentos de cada produto são apresentados na Figura 24 e Figura 25.

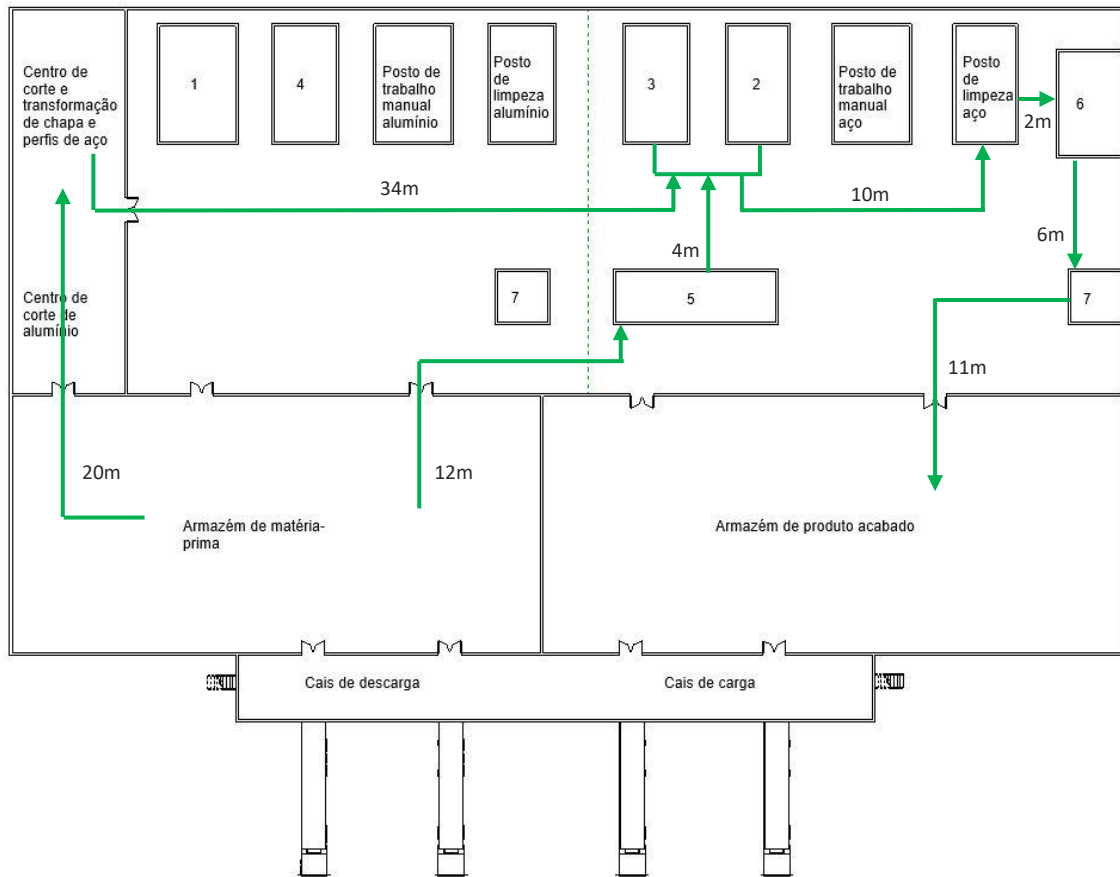


Figura 24 - Fluxo do processo de fabrico do produto A, após implementação da produção em células

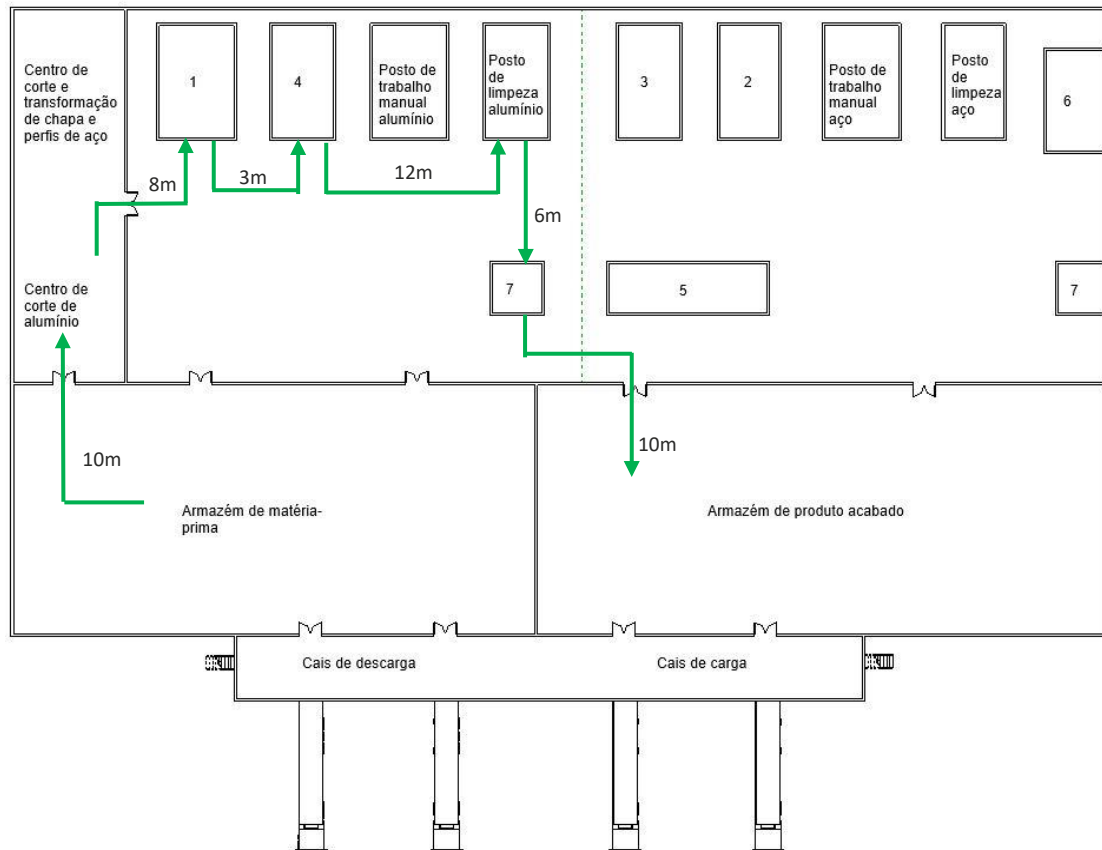


Figura 25 - Fluxo do processo de fabricação do produto B, após implementação da produção em células

Da análise das figuras acima, retira-se que as novas distâncias percorridas no processamento dos produtos são de 99 metros e 49 metros, para o produto A (Figura 7) e produto B (Figura 8), respetivamente.

A dificuldade em mover o CTC devido às máquinas de elevadas dimensões e peso, e também à necessidade de terem que existir mudanças a nível arquitetónico da fábrica, leva a que este posto de trabalho fique distante dos restantes postos de processamento do produto A (Figura 7), não possibilitando uma redução na distância percorrida para processar este produto e criando um aumento da distância percorrida 96 para 99 metros. No entanto, tendo em conta as limitações existentes, este é o *layout* que minimiza as distâncias necessárias de percorrer entre o início e o fim do processamento dos dois produtos, existindo assim um redução de 30 metros no processo do produto B (Figura 8).

Os novos trajetos efetuados com recurso aos empilhadores são apresentados na Figura 26 e na Figura 27, no processamento do produto A e do produto B, respetivamente.

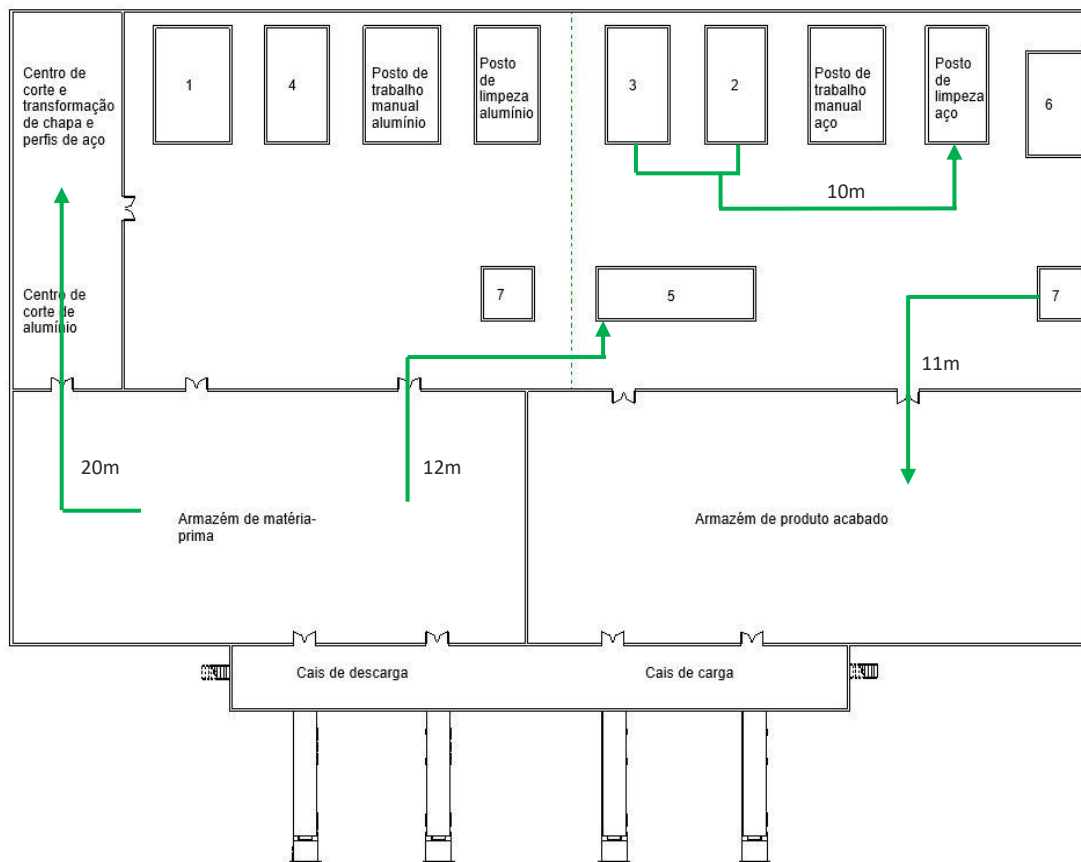


Figura 26 - Transporte efetuado com empilhador para o produto A, após implementação da produção em células

Da análise da Figura 26, onde só estão representados os fluxos de transporte em que é utilizado o empilhador para transportar peças necessárias para o processamento do produto A (Figura 7), observa-se que:

$$d_{empilhador A} = d_{Amp-CTC} + d_{2,3-PL} + d_{7-Apa} \quad (6)$$

$$d_{empilhador A} = 20 + 10 + 11 = 41 \text{ m}$$

Com:

$d_{empilhador A}$ = Distância total percorrida de empilhador para o produto A num transporte, em metros.

$d_{Amp-CTC}$ = Distância entre o armazém de matéria-prima e o centro de corte e transformação de chapa e perfis de aço, em metros.

$d_{2,3-PL}$ = Distância entre os postos nº2 e 3 e o posto de limpeza, em metros.

d_{7-Appa} = Distância entre o posto nº7 e o armazém de produto acabado, em metros.

Obtém-se então que, por dia, a nova distância percorrida pelo empilhador no processamento do produto A é equivalente a $41 \times n_A$, sendo $n_A = 10$, nº de transportes necessários diariamente para o produto A. Assim sendo, tem-se que a distância percorrida diariamente pelo empilhador é de $41 \times 10 = 410$ metros. De referir que, novamente, não é tida em consideração a deslocação entre o armazém de matéria-prima e a perfiladora (posto 5), pelos motivos apresentados no subcapítulo 3.2.1.

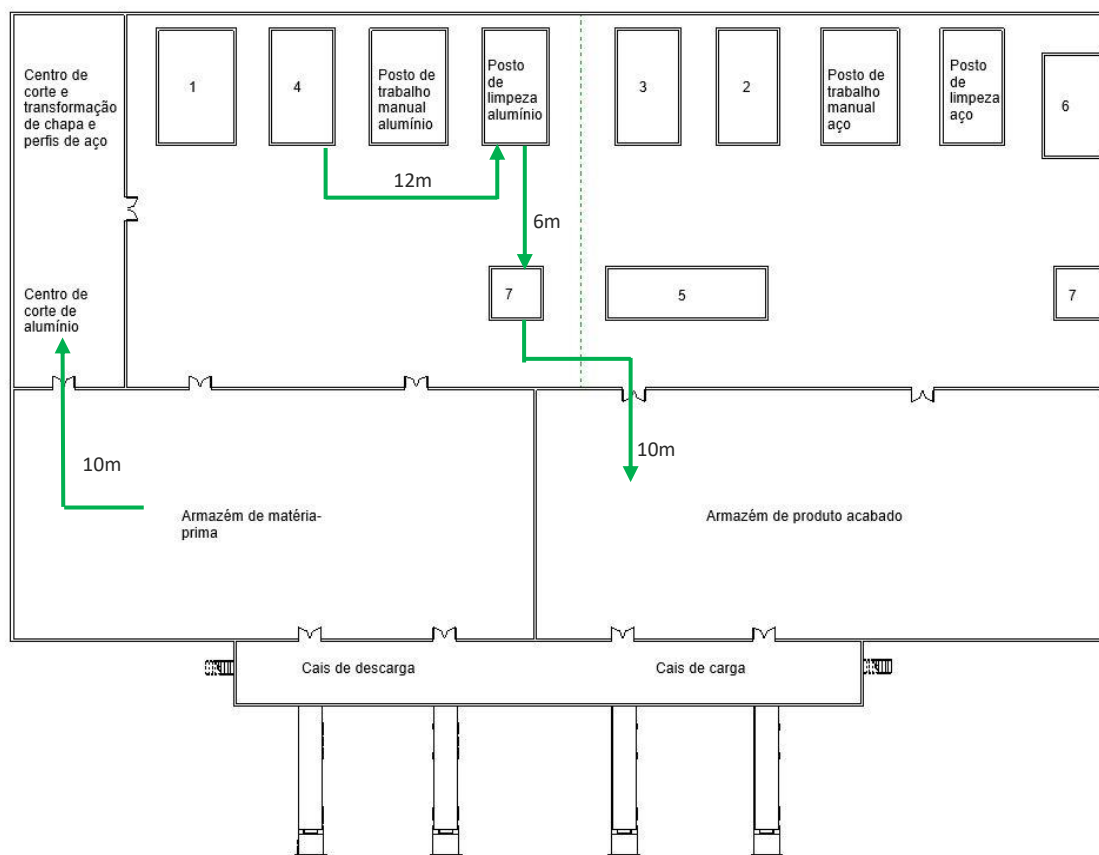


Figura 27 - Transporte efetuado com empilhador para o produto B, após implementação da produção em células

Refazendo a equação 6 para o transporte no processamento do produto B (Figura 8), obtém-se que a distância percorrida pelo empilhador no processamento deste produto em cada transporte efetuado é de 38 metros. Desta forma, sabendo que para a produção de 50 unidades diárias são necessários cinco transportes, a distância percorrida diariamente pelo empilhador para processar o produto B é de 190 metros.

3.3.1.1 Ganhos/perdas *Lean* e *Green* na implementação da produção em células

Da comparação dos valores apresentados nos subcapítulos 3.2.1 e 3.3.1, é possível observar que o impacto da implementação da produção em células no processo é positivo. Relativamente ao percurso feito entre o início e o final do processo, contabilizando a movimentação do operador e do empilhador, este aumentou de 96 metros (Figura 12) para 99 metros (Figura 24) no produto A (Figura 7). No entanto, houve uma redução de 30 metros para o produto B (Figura 8), de 79 metros (Figura 13) para 49 metros (Figura 25). É de referir que as dificuldades existentes na movimentação do CTC acabaram por limitar a otimização do fluxo deste produto, mas no geral conseguiu-se uma redução de 27 metros no conjunto dos dois produtos, em relação às distâncias iniciais. Esta redução de distâncias necessárias de percorrer refletem-se na necessidade de uso do empilhador. Se forem contabilizadas apenas as distâncias percorridas com empilhador em todo o percurso, observa-se que estas reduziram de 61 metros para 41 metros no produto A (Figura 7) e de 49 metros para 38 metros no produto B (Figura 8). Assim, enquanto que antes desta implementação o empilhador percorria 610 m/dia (Figura 14) no processamento do produto A (Figura 7) e 245 m/dia (Figura 15) no processamento do produto B (Figura 8), após a implementação da produção em células estas distâncias reduziram para 410 m/dia e 190 m/dia, respetivamente.

Tabela 6 - Síntese de resultados da implementação de produção em células

	Produto A	Produto B	Total	Ganhos <i>Green</i>
Distâncias percorridas pelo empilhador antes da implementação	610m	245m	855m	Redução em 29,8% no consumo de gás propano e nas emissões poluentes para o ambiente.
Distâncias percorridas pelo empilhador após implementação	410m	190m	600m	
Ganhos, em metros	200m	55m	255m	
Ganhos, em percentagem	32,8%	22,4%	29,8%	

Como se retira da análise da Tabela 6, conseguiu-se reduzir as distâncias diárias feitas pelo empilhador em 29,8%. Isto corresponde ainda a uma redução equivalente do consumo de gás propano e de emissões poluentes para o meio ambiente, resultando assim em ganhos *Lean* devido à redução de custos nas garrafas de gás propano e em ganhos *Green* associados à redução em 29,8% no consumo de gás e nas emissões ambientais.

3.3.2 Implementação da filosofia *Kaizen* (melhoria contínua)

Como foi abordado no subcapítulo 2.2.1, a técnica *Kaizen* significa a melhoria contínua orientada para o processo de produção e aliada ao envolvimento de todos os colaboradores da empresa na identificação e resolução de problemas existentes no processo. Neste caso de estudo, houve desde o início a preocupação de envolver todos os colaboradores participantes no processo, na identificação e resolução dos problemas a ele associados porque, normalmente, os trabalhadores mais próximos a um processo específico conseguem identificar mais facilmente os problemas e até têm sugestões que podem ser muito benéficas para a resolução dos mesmos. Desta forma, a colaboração de todos os trabalhadores na procura pela melhoria contínua possibilitou o reajuste dos equipamentos de soldadura adequados ao processo, devido ao seu interesse no processo em que participam e ao conhecimento dos problemas nele existentes. Os trabalhadores trouxeram para a empresa o conhecimento do *Cold Metal Transfer* (CMT), uma derivação da soldadura MIG/MAG, que atende perfeitamente às necessidades do processo e ao tipo de materiais a soldar, e que permite reduzir os tempos de ciclo do processo e as não conformidades. Após análise, as reduções de custos esperadas ao longo do processo permitiriam o retorno do investimento na troca de equipamentos num curto a médio prazo, além dos muitos benefícios ambientais alcançados. Para o cálculo do tempo de retorno do investimento (*payback*), consideraram-se os custos associados às não conformidades resultantes do processo de soldadura, em sucata e retrabalho, porque são os custos mais significativos. Para este cálculo, estimou-se, com base em testes efetuados com a colaboração do fornecedor do novo equipamento, que a redução das não conformidades seria na ordem dos 50%.

Investimento total

$$\begin{aligned} &= \text{Custo máquina nova} \times n^{\circ} \text{ de máquinas novas} & (7) \\ &- \text{Valor de retoma atual} \times n^{\circ} \text{ de máquinas a retomar} \end{aligned}$$

$$\text{Investimento total} = 32800 \times 3 - 14500 \times 3 = 54900 \text{ €}$$

Custos mensais associados a não conformidades

$$= \text{Custos com sucata} + \text{Custos com retrabalho} \quad (8)$$

$$\text{Custos mensais associados a não conformidades} = 1500 + 471 = 1971 \text{ €/mês}$$

Nota: Os custos das não conformidades já haviam sido calculados no subcapítulo 3.2.3.

O *payback* é dado pela equação 9.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento total}}{\text{Redução de custos de não conformidades}} \quad (9)$$

$$\text{Payback} = \frac{54900}{1971 - (1971 \times 0,5)} = 55,7 \text{ meses} \sim 4 \text{ anos e } 8 \text{ meses}$$

3.3.2.1 Ganhos/perdas *Lean e Green* na implementação do *Kaizen*

A implementação do *Kaizen* que conduziu à alteração do método usado no processo, permite reduções ao nível de não conformidades, de tempos de ciclo, sobre processamento de materiais e de operações sem valor acrescentado no processo.

Relativamente aos tempos de ciclo do processo de soldadura do produto A (Figura 7) e do produto B (Figura 8) estes, antes desta implementação, eram de 10 minutos e 12,5 minutos, respetivamente. Após a implementação da nova máquina de soldadura, foi possível reduzir os tempos de ciclo para 7,5 minutos e 9,3 minutos, obtendo-se assim uma redução de 2,5 e 3,2 minutos, para os produtos A e B, respetivamente. Na fase de diagnóstico do processo, recolheram-se ainda dados dos consumos em todo o processo de soldadura e concluiu-se que o consumo de gás de soldadura neste processo é de 0,75 m³/hora em cada célula robotizada, o consumo de energia elétrica é de 10,6 kW/hora e as emissões de fumos de soldadura de 0,04 g/min. Considerando estes valores, verifica-se que a redução do tempo de ciclo teve como consequência uma redução do consumo de gás de 0,031 m³ na produção de cada produto A (Figura 7) e de 0,040 m³ na produção de cada produto B (Figura 10), uma redução do consumo de energia de 425 kWh/mês e ainda uma redução das emissões de fumos de soldadura para o meio ambiente de 0,1 g/produto A e 0,13 g/produto B. A redução dos tempos de ciclo contribuiu ainda para uma redução dos tempos de espera do material antes do processo de soldadura em 53% e 91%, para os produtos A (Figura 7) e B (Figura 8), respetivamente, como se pode observar nos gráficos de fluxo do processo destes dois produtos nas imagens seguintes, onde houve uma redução do tempo de espera no passo 6, devido à redução do tempo de operação do passo 8.

Passo	Distância (m)	Tempo (min.)	Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Stock	Descrição
1	20	0,34	○	→	□	□	▽	Transporte de chapa para o CTC
2		0,6	●	→	□	□	▽	Transformação de chapa em componentes
2	13	0,25	○	→	□	□	▽	Transporte dos componentes para os postos 2 e 3
3	8	0,19	○	→	□	□	▽	Transporte de chapa para o posto 5
4		0,75	●	→	□	□	▽	Perfilagem de chapa em componentes
5	5	0,16	○	→	□	□	▽	Transporte de componentes para os postos 2 e 3
6		2,2	○	→	□	●	▽	Aguardar disponibilidade da máquina
7		3	●	→	□	□	▽	Montagem de componentes no gabarito
8		7,5	●	→	□	□	▽	Soldadura das peças pelo robot
9		1	●	→	□	□	▽	Retirar produto soldado do gabarito
10		1,5	○	→	■	□	▽	Controlo do produto acabado de soldar
11	30	0,46	○	→	□	□	▽	Transporte para o posto de limpeza
12		1,5	●	→	□	□	▽	Limpeza do produto
13	3	0,13	○	→	□	□	▽	Transporte para o posto de pintura
14		3,5	●	→	□	□	▽	Pintura
15	6	0,18	○	→	□	□	▽	Transporte para embalagem
16		0,25	●	→	□	□	▽	Embalagem
17		1,5	○	→	□	□	▽	Armazenamento do produto

Figura 28 - Gráfico de fluxo do processo do produto A após implementação *Lean Production*

Passo	Distância (m)	Tempo (min.)	Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Stock	Descrição
1	10	0,22	○	→	□	□	▽	Transporte de chapa para o CPA
2		4,5	●	→	□	□	▽	Corte dos perfis de alumínio nas medidas pretendidas
3	8	0,19	○	→	□	□	▽	Transporte para o centro de maquinagem
4		2,25	●	→	□	□	▽	Maquinagem dos componentes
5	22	0,37	○	→	□	□	▽	Transporte de componentes para o posto 4
6		0,3	○	→	□	●	▽	Aguardar disponibilidade da máquina
7		3	●	→	□	□	▽	Montagem de componentes no gabarito
8		9,3	●	→	□	□	▽	Soldadura das peças pelo robot
9		1	●	→	□	□	▽	Retirar produto soldado do gabarito
10		1,5	○	→	■	□	▽	Controlo do produto acabado de soldar
11	20	0,34	○	→	□	□	▽	Transporte para o posto de limpeza
12		1,5	●	→	□	□	▽	Limpeza do produto
13	8	0,19	○	→	□	□	▽	Transporte para embalagem
14		0,25	●	→	□	□	▽	Embalagem
15		1,5	○	→	□	□	▽	Armazenamento do produto

Figura 29 - Gráfico de fluxo do processo do produto B após implementação *Lean Production*

Como é possível observar no passo 12 das Figura 28 e Figura 29, também foi possível reduzir os tempos de limpeza de ambos os produtos em 3,5 minutos, equivalente a 70%. Esta redução só foi possível devido à inexistência de salpicos e à redução da zona

termicamente afetada com o novo método usado na soldadura. As diferenças descritas são apresentadas nas Figura 30 e Figura 31.



Figura 30 - Soldadura de uma peça antes do *Kaizen*



Figura 31 - Soldadura de uma peça depois do *Kaizen*

Por último, a implementação do *Kaizen* permitiu eliminar o desperdício do sobre processamento de materiais, que acontece no produto B (Figura 8). A dificuldade na soldadura de perfis de baixa espessura em alumínio levou a empresa a aumentar a espessura do material constituinte do produto B, de forma a conseguir satisfazer as necessidades dos clientes, sobre dimensionando o produto. A implementação do novo método utilizado no processo de soldadura, trouxe a capacidade de soldar perfis com espessuras mais baixas e, desta forma, foi possível proceder ao redimensionamento do

produto B (Figura 8), baixando o seu peso de 11,7 para 8,2 kg, acrescentando valor ao produto e eliminando o desperdício pelo qual o cliente não está disposto a pagar.

O *Kaizen* também permitiu reduzir as não conformidades. No entanto, estes ganhos só foram avaliados após a implementação das ferramentas TPM e *Jidoka*, pelo que são apresentados no subcapítulo 3.3.3.1.

3.3.3 Implementação da TPM e *Jidoka*

A implementação conjunta das ferramentas TPM e *Jidoka* têm como grande objetivo a redução da sucata e do retrabalho que resultam do processo de soldadura. Como se observou no subcapítulo 3.2.4, a falta de manutenção faz com que ocorra o desgaste de acessórios de soldadura e a desafinação do braço robótico, o que prejudica a soldadura. De forma a solucionar estes problemas, foi elaborado o plano de manutenção da Figura 32, onde estão preenchidas a verde as manutenções já realizadas, e incutindo nos trabalhadores responsáveis pelas máquinas a importância da existência da manutenção autónoma. Desta forma, para além da manutenção planeada, passa também a existir manutenção sempre que o operador detete alguma anormalidade. Para que isto seja possível, foi necessário proceder à formação destes operadores, formação essa que foi dada pelo trabalhador que até esta data era o responsável por todas as manutenções dos equipamentos da empresa e com mais experiência nestas funções. Para além das funções de manutenção, os trabalhadores responsáveis pelos *robots* de soldadura, passaram também a ter a responsabilidade de parar a máquina sempre que detetam algum problema ou não conformidade. Nos três *robots* foram também implementados dispositivos mais sensíveis ao toque do que havia inicialmente. Estes dispositivos fazem a máquina parar quando existe o mais pequeno toque da tocha de soldadura numa peça e alerta o operador. No entanto, este sistema apenas é útil para problemas relacionados com a desafinação da máquina ou com a má montagem das peças no gabarito. Desta forma, cada operador é apenas responsável por um *robot* e pode assim detetar outros problemas que ocorram, parando a produção naquela máquina até que o problema seja corrigido.

3.3.3.1 Ganhos/perdas *Lean* e *Green* na implementação da TPM, *Jidoka* e a filosofia *Kaizen*

A implementação das ferramentas TPM e *Jidoka* e da filosofia *Kaizen* no processo de produção da empresa, permitiu uma redução das não conformidades existentes. Na Figura 33 é dado um exemplo de uma soldadura conforme no produto B (Figura 8).

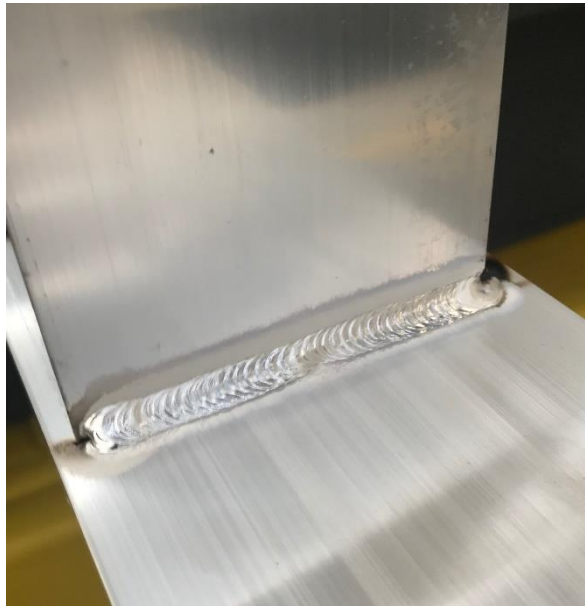


Figura 33 - Soldadura conforme no produto B

Os gráficos das Figura 34 e Figura 35 demonstram as não conformidades de ambos os produtos, após a implementação das ferramentas *Lean*.



Figura 34 - Não conformidades do produto A, após implementação *Lean Production*



Figura 35 - Não conformidades do produto B, após implementação *Lean Production*

Como é possível observar em comparação com os gráficos da Figura 20 e Figura 21, as não conformidades do produto A (Figura 7) reduziram de 11% para 3%, enquanto que no produto B (Figura 8) reduziram de 29% para 10%. Estas reduções verificaram-se quer ao nível da sucata, quer do retrabalho, como é apresentado na Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 - Comparativo de não conformidades por produto antes e após a aplicação das ferramentas *Lean*

	Antes das ferramentas <i>Lean</i>		Após ferramentas <i>Lean</i>	
	Produto A	Produto B	Produto A	Produto B
Produção mensal	2000	1000	2000	1000
Não conformidades sujeitas a reparação (retrabalho)	210	240	65	85
Não conformidades sem reparação possível (sucata)	1	50	0,5	16
Não conformidades totais	211	290	65,5	101

Tabela 8 - Comparativo de não conformidades de ambos os produtos antes e após a aplicação das ferramentas *Lean*

	Antes das ferramentas <i>Lean</i>	Após ferramentas <i>Lean</i>	
	Produto A e B	Produto A e B	Reduções
Produção mensal	3000	3000	
Não conformidades sujeitas a reparação (retrabalho)	450	150	67%
Não conformidades sem reparação possível (sucata)	51	16,5	68%
Não conformidades totais	501	166,5	67%

O gráfico radar da Figura 36 permite uma melhor visualização dos resultados apresentados, que comparam as não conformidades de ambos os produtos antes e após a implementação das ferramentas *Lean*.

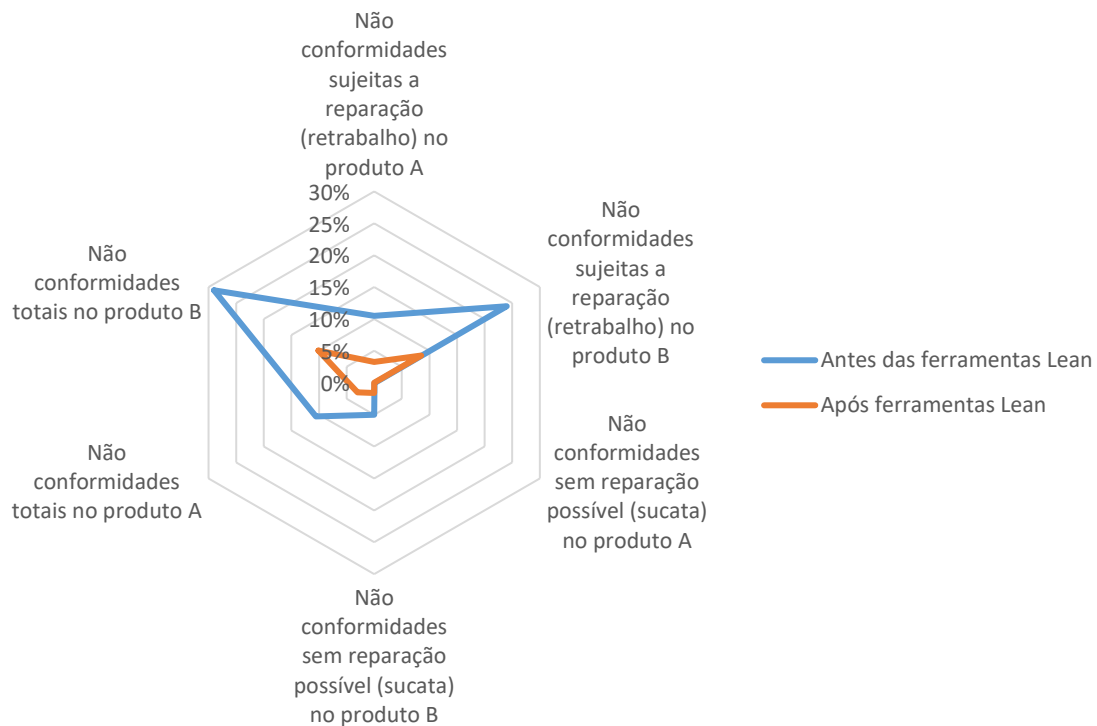


Figura 36 - Não conformidades nos produtos A e B, antes e após a implementação das ferramentas *Lean*

Os ganhos apresentados na Tabela 8 permitiram obter ganhos a nível económico e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ambiental do processo. Estes ganhos refletem-se numa redução de custos ao nível da sucata, de mão de obra, em gás de soldadura e em energia elétrica, que são necessários para a recuperação dos produtos defeituosos. Como é possível observar no subcapítulo 3.2.3, os custos associados ao material que é sucata e ao retrabalho eram de 1500 €/mês e de 471 €/mês, respetivamente, antes da implementação das melhorias. Após a aplicação das técnicas *Lean* no processo, os novos custos em material que é sucata são de 500 €/mês, observando-se uma redução de 1000 €/mês e de 400 kg de material que tem como destino a sucata. Relativamente ao desperdício associado ao retrabalho, observou-se uma redução deste de 33 horas para 11 horas por mês. Esta melhoria reflete-se nos ganhos apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Síntese dos ganhos obtidos na redução do retrabalho

Desperdício (<i>muda</i>)	Técnicas <i>Lean</i>	Ganhos <i>Lean</i>	Ganhos <i>Green</i>
Mão de obra		Redução de 22 horas por mês em mão de obra = 198 €/mês, considerando 9 €/hora e um trabalhador.	-
Gás de soldadura		Redução do consumo de gás de soldadura de 8,25 m ³ /mês para 2,75 m ³ /mês que é igual a uma redução de 5,5 m ³ /mês de gás de soldadura = 48 €/mês.	Menor consumo de gás de soldadura (-5,5 m ³ /mês).
Retrabalho	TPM, <i>Jidoka</i> , <i>Kaizen</i>	Redução do consumo de energia de 349,8 kWh/mês para 116,6 kWh/mês que é igual a uma redução de 233,2 kWh/mês no consumo de energia = 69 €/mês.	Menor consumo de energia (-233,2 kWh/mês)
Fumos de soldadura		-	Redução da emissão de fumos de soldadura de 79,2 g/mês para 26,4 g/mês. São emitidos menos 52,8 g/mês de fumos de soldadura para o meio ambiente.

3.4 Síntese de resultados *Lean* e *Green*

Neste subcapítulo, é apresentado na Tabela 10 um breve resumo dos ganhos económicos e ambientais na eliminação dos desperdícios identificados no processo, com recurso às ferramentas e aos métodos da produção *Lean*, para que assim seja possível inferir acerca da importância da relação *Lean/Green* na redução do impacto ambiental e económico da organização.

Tabela 10 - Síntese e quantificação de ganhos *Lean* e *Green*

Desperdício (<i>muda</i>)	Ferramenta / método <i>Lean</i>	Ganhos <i>Lean</i>	Ganhos <i>Green</i>
Transporte	Produção em células	Redução de 29,8% nos custos com gás propano do empilhador; Menor desgaste do empilhador e redução dos custos associados.	Redução de 29,8% no consumo de gás propano e redução das emissões poluentes para o meio ambiente.
Espera	<i>Kaizen</i>	Redução dos tempos de ciclo dos produtos A e B em 2,5 minutos e 3,2 minutos, respetivamente. Redução do tempo de espera em 53% para o produto A e 91% para o produto B. Redução do consumo de energia em 425 kWh/mês = 125 €/mês e redução do consumo de gás de soldadura em 102 m ³ /mês = 883 €/mês.	Redução de 25% nos consumos de gás de soldadura e no consumo de energia. Redução das emissões de fumos de soldadura para o meio ambiente em 330 g/mês.
Sobre processamento	<i>Kaizen</i>	Maior valor acrescentado ao produto.	Redução do consumo de matéria-prima no produto B = -3,5 kg/produto.
Defeitos (sucata)	TPM, <i>Jidoka</i> e <i>Kaizen</i>	Redução de 68% da sucata = 400 kg/mês = 1000 €/mês	Redução de 400 kg/mês de sucata.
Defeitos (retrabalho)	TPM, <i>Jidoka</i> e <i>Kaizen</i>	A redução do retrabalho permite economizar 315 €/mês em custos associados à mão de obra, ao gás de soldadura e ao consumo de energia.	Redução de 67% nos consumos de gás de soldadura, de energia e nas emissões de fumos de soldadura resultantes da recuperação de produtos defeituosos.

Desperdício (<i>muda</i>)	Ferramenta método <i>Lean</i>	/	Ganhos <i>Lean</i>	Ganhos <i>Green</i>
Atividade sem valor acrescentado	<i>Kaizen</i>		Redução do processo de limpeza em 70% (- 3,5 minutos por produto)	Redução do uso de produtos químicos utilizados para a limpeza e desengorduramento das peças em 70%.

Os resultados obtidos com a implementação das ferramentas e métodos *Lean* na eliminação dos desperdícios, demonstram uma relação positiva entre esta filosofia e a redução do impacto ambiental na organização, neste caso de estudo. A aplicação dos métodos e ferramentas *Lean* permitiu uma redução total de 66% da sucata, uma redução de 38% na energia consumida, uma redução de 29% no consumo de gás de soldadura e também uma redução de 31% na quantidade de fumos de soldadura emitidos para o ambiente. As reduções de 30% nos consumos de matéria-prima e de 70% de produtos químicos utilizados no processo, foram igualmente alcançadas. Estes resultados não se refletem apenas em ganhos *Green*, mas também em ganhos económicos que permitiram à empresa economizar 2720 €/mês em sucata, mão-de-obra, gás de soldadura e custos energéticos. Os resultados revelam ainda ganhos na redução de atividades de processamento excessivo que, embora não sejam refletidos diretamente numa redução de custos da empresa, são refletidos num maior valor acrescentado do produto pelo qual o cliente pagará.

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A análise dos resultados deste trabalho demonstra que a metodologia *Lean*, quando implementada numa organização, traz benefícios para o meio ambiente, através da redução e eliminação de desperdícios e de atividades que geram resíduos e que não acrescentam valor ao produto. As aplicações das técnicas *Lean* (produção em células, *Kaizen*, TPM e *Jidoka*) levaram à obtenção de ganhos no desempenho ambiental da empresa em estudo, como a redução da sucata em 66% e o consumo de energia em 38%, e conduziram a empresa a conseguir também ganhos económicos através da redução de custos associados aos consumos no processo e também à redução de desperdícios como o transporte, a espera, o sobre processamento, as atividades sem valor acrescentado e, principalmente, os defeitos existentes no processo, aumentando assim a qualidade dos produtos. Os ganhos económicos obtidos através da melhoria do desempenho ambiental e de ganhos *Lean*, como a redução dos tempos de ciclo em média em 25% e do retrabalho em 66%, refletiram-se numa redução de custos da empresa em 2720 €/mês. Desta forma, qualquer despesa necessária para a implementação da produção *Lean* em qualquer organização deve ser vista como um investimento que na maior parte dos casos tem retorno a curto e médio prazo. A demonstração de ganhos ambientais associados a ganhos económicos, neste caso de estudo e noutros já apresentados, pode ser uma alavanca para as empresas começarem a aplicar técnicas que integrem os conceitos *Lean* e *Green*, para que possam melhorar o seu desempenho ambiental, contribuindo para a sustentabilidade do meio ambiente através da redução dos consumos de matéria-prima, energia, emissões ambientais, entre outros. Assim sendo, os objetivos deste trabalho que passavam por encontrar uma relação entre a filosofia *Lean* e o desempenho ambiental das organizações foram cumpridos, visto que todos os métodos *Lean* implementados para reduzir desperdícios no processo, conduziram a ganhos *Green*.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta para trabalhos futuros, considera-se importante a implementação das ferramentas *Lean* noutros setores de negócio, a fim de ser possível registar o impacto da filosofia *Lean* noutras indústrias diferentes da metalomecânica. Dentro do mesmo setor industrial e na empresa em estudo, considera-se ainda importante a implementação de

outras ferramentas e metodologias *Lean*, para além daquelas que são abordadas neste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

5 BIBLIOGRAFIA

- Antoniolli, I., Guariente, P., Pereira, T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2017). Standardization and optimization of an automotive components production line. *Procedia Manufacturing*, 13, 1120–1127. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.173>
- Ayough, A., & Farhadi, F. (2019). How to Make Lean Cellular Manufacturing Work? Integrating Human Factors in the Design and Improvement Process. *IEEE Engineering Management Review*, 47(1), 99–105. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2898952>
- Barbosa, M., Silva, F. J. G., Pimentel, C., & Gouveia, R. M. (2018). A Novel Concept of CNC Machining Center Automatic Feeder. *Procedia Manufacturing*, 17, 952–959. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.111>
- Basavaraju, M., Rao, S. T., & Gopal, R. C. (2019). Reduction of CO₂ emission in a hotel industry by using total productive maintenance (TPM) tools. *AIP Conference Proceedings*, 2080(March). <https://doi.org/10.1063/1.5092936>
- Carlsson, D., & Fröberg, P. (2016). Lean Manufacturing and Company Integration In Swedish and Danish Machining Industry. Dissertação de Mestrado, Faculty of Engineering at Lund University.
- Castro, A. F., Silva, M. F., & Silva, F. J. G. (2017). Designing a Robotic Welding Cell for Bus Body Frame Using a Sustainable Way. *Procedia Manufacturing*, 11, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.225>
- Cherrafi, A., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Mishra, N., Ghobadian, A., & Elfezazi, S. (2018). Lean, green practices and process innovation: A model for green supply chain performance. *International Journal of Production Economics*, 206, 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.031>
- Chiarini, A. (2014). Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers. *Journal of Cleaner Production*, 85, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.080>
- Correia, D., Silva, F. J. G., Gouveia, R. M., Pereira, T., & Ferreira, L. P. (2018). Improving manual assembly lines devoted to complex electronic devices by applying Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 17, 663–671. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.115>
- Costa, C., Pinto Ferreira, L., C. Sa, J., & Silva, F. J. G. (2018). Implementation of 5S Methodology in a Metalworking Company, 001-012. <https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2018.01>
- Fahimnia, B., Sarkis, J., & Eshragh, A. (2015). A tradeoff model for green supply chain

- planning: A leanness-versus-greenness analysis. *Omega (United Kingdom)*, 54, 173–190. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.01.014>
- Fercoq, A., Lamouri, S., & Carbone, V. (2016). Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. *Journal of Cleaner Production*, 137, 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.107>
- Florida, R. (1996). Lean and Green: The Move to Environmentally Conscious Manufacturing. *California Management Review*, 39(1), 80–105. <https://doi.org/10.2307/41165877>
- Freitas, A. M., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Sá, J. C., Pereira, M. T., & Pereira, J. (2019). ScienceDirect Improving efficiency in a hybrid warehouse : a case study. *Aceite para publicação na revista PROCEDIA MANUFACTURING*. Data de edição prevista: Novembro de 2019.
- Guariente, P., Antonioli, I., Ferreira, L. P., Pereira, T., & Silva, F. J. G. (2017). Implementing autonomous maintenance in an automotive components manufacturer. *Procedia Manufacturing*, 13, 1128–1134. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.174>
- Gupta, P., & Vardhan, S. (2015). Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume. *Sistema de descoberta para FCCN*, 54, 2976–2988. Obtido de <https://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=20d29522-ec95-4ee3-9c43-d6f52d887d0a%40sessionmgr4008> [Consult. 20 Jun. 2019].
- Jones, D. O. B., Durden, J. M., Murphy, K., Gjerde, K. M., Gebicka, A., Colaço, A., Billett & D. S. M. (2019). Existing environmental management approaches relevant to deep-sea mining. *Marine Policy*, 103, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.01.006>
- Ladwig J. O. N. (2017). «DANGER ZONE: Control dust and fumes in metalworking and welding operations», *Industrial Safety & Hygiene News*, vol. 51, n. 12. pp. 24–25, 2017.
- Latorre, A., & Espanha, E. D. G. (2003). «La investigación-acción», *Graó*, Espanha. ISBN: 978-8-478-27292-1.
- Leme, R. D., Nunes, A. O., Message Costa, L. B., & Silva, D. A. L. (2018). Creating value with less impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry towards a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 196, 517–534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.064>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way : 14 management principles from the world's greatest manufacturer*, McGraw-Hill Education, EUA. ISBN: 9780071392310
- Liu, C., Wang, J., & Zhou, M. C. (2019). Reconfiguration of Virtual Cellular Manufacturing Systems via Improved Imperialist Competitive Approach. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 16(3), 1301–1314. <https://doi.org/10.1109/TASE.2018.2878653>
- Nakajima, S. (1989). *TPM development program : implementing total productive maintenance*, Productivity Press, EUA. ISBN: 978-0915299461.

- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*, Productivity Press, EUA. ISBN: 978-0-91529-914-0.
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>
- Pampanelli, A. B., Found, P., & Bernardes, A. M. (2014). A Lean & Green Model for a production cell. *Journal of Cleaner Production*, 85, 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.014>
- Piercy, N., & Rich, N. (2015). The relationship between lean operations and sustainable operations. *International Journal of Operations & Production Management*, 35(2), 282–315. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2014-0143>
- Rosa, C., Silva, F. J. G., & Ferreira, L. P. (2017). Improving the Quality and Productivity of Steel Wire-rope Assembly Lines for the Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*, 11, 1035–1042. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.214>
- Rothenberg, S., Pil, F. K. & Maxwell J. (2001), LEAN, GREEN, AND THE QUEST FOR SUPERIOR ENVIRONMENTAL PERFORMANCE. *Journal of Production and Operations Management*, 10(3), 228–243. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00372.x>
- Shingō, S., & Dillon, A. P. (1989). *A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint*. Productivity Press, EUA. ISBN: 9780915299171.
- Silva F. J. G, Gouveia R. M. (2019). «Cleaner Production - Toward a better future», *Springer Nature*, RU. ISBN: 978-3-030-23164-4
- Sousa, E., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, M. T., Gouveia, R., & Silva, R. P. (2018). Applying SMED methodology in cork stoppers production. *Procedia Manufacturing*, 17, 611–622. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.103>
- Verma, N., & Sharma, V. (2016). Energy value stream mapping a tool to develop green manufacturing. *Procedia Engineering*, 149, 526–534. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.701>
- Womack, J. P. & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, Simon & Schuster, EUA. ISBN: 9780743231640.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world : the story of lean production - Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry*, Harper Perennial, EUA. ISBN: 9781847370556.
- Yüksel, H., & Uzunović, Z. F. (2019). Application of Value Stream Mapping in a Manufacturing Firm in Bosnia and Herzegovina. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 201–219. <https://doi.org/10.18657/yonveek.499994>