



## Universidades Lusíada

Costa, Eduardo Alves e Silva da

### **Projeto de um novo layout numa empresa de manufatura metalomecânica**

<http://hdl.handle.net/11067/7634>

#### **Metadados**

<b>Data de Publicação</b>	2023
<b>Resumo</b>	<p>A dissertação teve como principal foco o estudo e análise de uma proposta de layout para um novo projeto empresarial no setor de manufatura metalomecânica, a empresa GHP360. Esta nova empresa tem como objetivo a manufatura de diferentes de artigos de quatro gamas de produtos para casa e jardim, fabricados com perfis de alumínio e painéis de XPS. O processo produtivo de qualquer uma das gamas é bastante semelhante, havendo sobretudo diferenças em termos de cor de lacagem selecionada, dimensões e ...</p> <p>The main focus of the dissertation was the study and the analysis of a layout proposal for a new business project in the metalworking manufacturing sector, the company GHP360. This new company aims to manufacture several products in four different categories for home and garden applications, using aluminum profiles and XPS panels as raw materials. The production process for each of these product categories is quite similar, with differences mainly in terms of selected lacquering color, dimension...</p>
<b>Palavras Chave</b>	Gestão industrial, Gestão de Operações
<b>Tipo</b>	masterThesis
<b>Revisão de Pares</b>	no
<b>Coleções</b>	[ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-10-16T13:21:23Z com informação proveniente do Repositório



**UNIVERSIDADE LUSÍADA**  
**VILA NOVA DE FAMALICÃO**

**PROJETO DE UM NOVO LAYOUT NUMA EMPRESA DE  
MANUFATURA METALOMECÂNICA**

**Eduardo Alves e Silva da Costa**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão  
Industrial

Vila Nova de Famalicão – setembro 2023



**UNIVERSIDADE LUSÍADA**  
**VILA NOVA DE FAMALICÃO**

**PROJETO DE UM NOVO LAYOUT NUMA EMPRESA DE  
MANUFATURA METALOMECÂNICA**

**Eduardo Alves e Silva da Costa**

**Orientador:** Professora Doutora Ana Cristina Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão  
Industrial

## **Agradecimentos**

Para a realização desta dissertação foi imprescindível a colaboração e apoio de diversas entidades e pessoas. O meu agradecimento vai então para as pessoas que de certa forma contribuíram para a sua concretização.

Agradecer, desde já à minha orientadora, Professora Doutora Ana Cristina Ferreira por toda a ajuda, dedicação e orientação na elaboração desta dissertação.

Agradeço também a gerência da empresa e a todos os colaboradores pelo apoio e pela disponibilidade.

E por último, agradecer aos meus pais por todo o carinho e apoio incondicional desde o primeiro momento.

## Resumo

A dissertação teve como principal foco o estudo e análise de uma proposta de *layout* para um novo projeto empresarial no setor de manufatura metalomecânica, a empresa GHP360. Esta nova empresa tem como objetivo a manufatura de diferentes de artigos de quatro gamas de produtos para casa e jardim, fabricados com perfis de alumínio e painéis de XPS. O processo produtivo de qualquer uma das gamas é bastante semelhante, havendo sobretudo diferenças em termos de cor de lacagem selecionada, dimensões e configurações geométricas. Para a sua produção, a empresa adquiriu equipamentos para os processos de lacagem, corte, maquinação e colagem.

Desta forma, para identificar os principais critérios que condicionam a definição do *layout*, efetuou-se o mapeamento do fluxo produtivo para um produto da gama Packetbox. Além da identificação do fluxo produtivo, foram identificadas as principais características dos equipamentos, as restrições operacionais e as condicionantes da infraestrutura. Com o levantamento e análise desta informação, foi possível identificar uma proposta de *layout*, de forma a minimizar os custos dos fluxos de movimentação. A empresa tem por objetivo assentar a sua estratégia de produção no fabrico de pequenos lotes por encomenda. Assim sendo, a proposta de *layout* enquadra-se no tipo de *layout* por processo.

Foram identificadas 12 áreas operacionais, incluindo duas principais zonas de armazenagem, o armazém de chapa/XPS e o armazém de perfis. No processo de design da proposta de *layout*, foi necessário considerar como fixa a localização da linha de lacagem, o processo de colagem e o armazém de chapa/XPS. Estas restrições foram consideradas na aplicação da classificação REL para a aplicação do método ALDEP. Com a proposta de *layout* inicial, determinou-se o custo total de movimentação de 5,08 €. Assim, assumindo lotes mínimos de fabrico de 20 unidades, o custo total dos fluxos de movimento por lote corresponde a 101,55 €. Com a aplicação da heurística CRAFT e as permutas de disposição efetuadas alterações, foi possível uma redução do custo total dos fluxos de movimentação de 8,27%. Em suma, a minimização do custo total dos fluxos de movimento contribui para reduzir tempos de movimentação, evitar atrasos de produção e para a melhoria da produtividade da empresa.

**Palavras-chave:** Gestão de operações; *layout* industrial; melhoria organizacional; ALDEP; CRAFT.

## Abstract

The main focus of the dissertation was the study and the analysis of a layout proposal for a new business project in the metalworking manufacturing sector, the company GHP360. This new company aims to manufacture several products in four different categories for home and garden applications, using aluminum profiles and XPS panels as raw materials. The production process for each of these product categories is quite similar, with differences mainly in terms of selected lacquering color, dimensions, and geometric configurations. To support production, the company has acquired equipment for lacquering, cutting, machining, and gluing processes.

In this context, the value stream mapping of the production flow for a product in the Packetbox category was conducted to identify the key criteria that influence the layout definition. In addition, the main characteristics of the equipment, operational constraints, and infrastructure conditions were also identified. With the collection and analysis of this information, it became possible to propose a layout that minimizes the costs of material flow handling. The company's production strategy is centered on manufacturing small batches from production on demand, so the proposed layout falls under the category of process layout.

Twelve operational areas were identified, including two main storage areas: the sheet/XPS warehouse and the profile warehouse. In designing the layout proposal, the fixed positions of the lacquering line, gluing process, and sheet/XPS warehouse needed to be considered. These constraints were factored into the application of the REL classification for the ALDEP method. With the initial layout proposal, the total handling cost was determined to be €5.08. Therefore, assuming minimum manufacturing batches of 20 units, the total cost of material handling per batch corresponds to €101.55. Through the application of the CRAFT heuristic and the respective layout permutations, an 8.27% reduction in the total handling cost was achieved. In summary, minimizing the total handling cost contributes to reducing material handling times, avoiding production delays, and improving the company's overall productivity.

**Keywords:** Operations management; industrial *layout* industrial; organizational improvement; ALDEP; CRAFT.

# Índice geral

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	iv
Abstract.....	v
Índice de figuras .....	viii
Índice de tabelas .....	x
Lista de abreviaturas .....	xi
Lista de símbolos .....	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.2. Objetivos propostos .....	2
1.3. Metodologia de investigação .....	3
1.4. Organização da dissertação.....	4
2. Enquadramento teórico.....	5
2.1. Definição de <i>layout</i> industrial.....	5
2.2. Tipos de <i>layout</i> .....	5
2.2.1. <i>Layout</i> de posição fixa .....	6
2.2.2. <i>Layout</i> por processo .....	7
2.2.3. <i>Layout</i> por produto.....	8
2.2.4. Células de produção .....	9
2.2.5. <i>Layout</i> combinado.....	10
2.3. Objetivos de planeamento e implementação de <i>layout</i> .....	10
2.4. Etapas para a elaboração de um <i>layout</i> .....	11
2.5. Critérios na definição e avaliação de <i>layouts</i> .....	12
2.6. Métodos de construção e melhoria de <i>layout</i> .....	14
2.6.1. Aplicação da metodologia SLP.....	14
2.6.2. Metodologia ALDEP .....	15
2.6.3. Método CRAFT .....	17
2.7. Ferramentas aplicadas.....	17
2.7.1. Diagrama de circulação.....	18
2.7.2. Diagrama de <i>spaghetti</i> .....	19
3. Planificação do projeto industrial .....	20
3.1. Proposta de valor da empresa .....	20
3.2. Gamas de produtos a desenvolver .....	20

3.2.1. Packetbox .....	20
3.2.2. Climabox .....	21
3.2.3. Bikebox .....	22
3.2.4. Garbagebox .....	22
3.3. Identificação dos processos produtivos e equipamentos .....	23
3.3.1. Processo de lacagem .....	23
3.3.2. Processo de corte.....	24
3.3.3. Processo de maquinação .....	27
3.3.4. Processo de colagem .....	28
3.4. Caracterização do fluxo produtivo.....	29
4. Proposta de <i>layout</i> industrial .....	33
4.1. Caraterização da infraestrutura .....	33
4.2. Requisitos para o design do <i>layout</i> .....	34
4.2.1. Restrições ligadas à infraestrutura .....	34
4.2.2. Restrições relacionadas com equipamentos e maquinaria .....	35
4.3. Definição da proposta de <i>layout</i> .....	36
4.3.1. Aplicação do diagrama REL .....	36
4.3.2. Aplicação do método ALDEP.....	39
4.3.3. Avaliação da proposta de <i>layout</i> inicial .....	43
4.3.3. Melhoria do <i>layout</i> pela aplicação do CRAFT .....	46
5. Conclusões.....	52
5.1. Principais conclusões.....	52
5.2. Limitações e desafios do projeto .....	53
Referências bibliográficas .....	55
Apêndices .....	59
Apêndice 1- Determinação dos centroides da proposta de <i>layout</i> inicial.....	59
Apêndice 2- Determinação dos centroides da proposta de <i>layout</i> final.....	59
Apêndice 3 - Publicação científica .....	60

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Relação entre o tipo de <i>layout</i> , volume e variedade de produção (Slack et al., 2013).....	6
<b>Figura 2:</b> Exemplo de um <i>layout</i> de posição fixa aplicado na construção de aviões (Molla, 2018).....	7
<b>Figura 3:</b> Exemplo de um <i>layout</i> por processo ou funcional (Molla, 2018). ....	8
<b>Figura 4:</b> Exemplo de um <i>layout</i> por produto (Molla, 2018). ....	9
<b>Figura 5:</b> Exemplo de um <i>layout</i> celular. Adaptado de Dinis-Carvalho et al. (2014).....	9
<b>Figura 6:</b> Exemplo de um <i>layout</i> combinado (Slack et al., 2013). ....	10
<b>Figura 7:</b> Etapas do método de SLP (Muther, 1976).....	15
<b>Figura 8:</b> Classificação do procedimento REL para implementação do ALDEP. ....	16
<b>Figura 9:</b> Diagrama de circulação identificando a receção, controlo e marcação dos fluxos de peças no seu fabrico (Rodrigues et al., 2013). ....	18
<b>Figura 10:</b> Exemplo de um diagrama de <i>spaghetti</i> (Senderská et al., 2017).....	19
<b>Figura 11:</b> Logótipo da empresa GHP360.....	20
<b>Figura 12:</b> Exemplo de produto da gama Packetbox.....	21
<b>Figura 13:</b> Exemplo de produto da gama Climabox.....	21
<b>Figura 14:</b> Exemplo de produto da gama Bikebox.....	22
<b>Figura 15:</b> Exemplo de produto da gama Garbagebox.....	23
<b>Figura 16:</b> Instalação da linha de lacagem. ....	24
<b>Figura 17:</b> Máquina de corte de 2 cabeças para o processo de corte na GHP360.....	25
<b>Figura 18:</b> Serra de corte longitudinal para o processo de corte na GHP360.....	25
<b>Figura 19:</b> Serra mural para o processo de corte na GHP360. ....	26
<b>Figura 20:</b> Guilhotina hidráulica de corte pendular para o processo de corte na GHP360. ....	26
<b>Figura 21:</b> Máquina de corte de fio quente para o processo de corte na GHP360. ....	27
<b>Figura 22:</b> Equipamentos de maquinação: a) centro de maquinação; b) CNC de chapa. ....	28
<b>Figura 23:</b> Máquina para o processo de colagem na GHP360. ....	28
<b>Figura 24:</b> Fluxo produtivo dos perfis de alumínio antes da montagem do produto.....	30
<b>Figura 25:</b> Fluxo produtivo das chapas de alumínio e do XPS para produção de painel. ....	32
<b>Figura 26:</b> Pavilhão da empresa GHP360. ....	33
<b>Figura 27:</b> Identificação das áreas operacionais e processos com necessidade de localização fixa. ....	39

<b>Figura 28:</b> Fotos do pavilhão: a) instalação da lacagem; b) construção do isolamento da colagem.....	39
<b>Figura 29:</b> Proposta de <i>layout</i> inicial com base no método ALDEP e restrições operacionais.....	42
<b>Figura 30:</b> Carrinho de auxílio ao transporte manual.....	45
<b>Figura 31:</b> Configuração das estantes de armazenamento dos perfis. ....	45
<b>Figura 32:</b> Detalhe das permutas das máquinas e áreas operacionais no processo de melhoria do <i>layout</i> . ....	47
<b>Figura 33:</b> Proposta de <i>layout</i> final com base no método ALDEP e heurística CRAFT. ....	48
<b>Figura 34:</b> Comparação dos custos totais dos fluxos de movimentação por produto fabricado para a proposta de <i>layout</i> inicial e <i>layout</i> final.....	51

## Índice de tabelas

<b>Tabela 1:</b> Matriz de correlação de processos e equipamentos .....	29
<b>Tabela 2:</b> Pressupostos/condicionantes das máquinas utilizadas no processo produtivo. ....	35
<b>Tabela 3:</b> Definição de zonas de carga, descarga, armazenamento e montagem .....	37
<b>Tabela 4:</b> Definição do REL .....	38
<b>Tabela 5:</b> Solução do método ALDEP .....	41
<b>Tabela 6:</b> Matriz “De-Para” com a identificação dos meios usados para o transporte.....	43
<b>Tabela 7:</b> Matriz das distâncias Euclidiana entre as diferentes áreas operacionais.....	44
<b>Tabela 8:</b> Matriz de custos por fluxo de movimento (valores em Euro cêntimos).....	46
<b>Tabela 9:</b> Reformulação da matriz das distâncias para a proposta de <i>layout</i> final.....	49
<b>Tabela 10:</b> Matriz de custos por fluxo de movimento para a proposta de <i>layout</i> final (valores em Euro cêntimos).....	50

## Lista de abreviaturas

ALDEP	<i>Automated Layout Design Program</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAE	Classificação de Atividade Económica
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i>
CORELAP	<i>Computerized Relationship Layout Planning</i>
CRAFT	<i>Computerized Relative Allocation of Facilities Technique</i>
REL	<i>Activity Relationship Chart</i>
SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
WIP	<i>Work In Progress</i>
XPS	<i>Poliestireno Extrudido</i>

## Lista de símbolos

<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
$C_{movimentação}$	Função de custo dos fluxos de movimentação de um <i>layout</i> [€]
$c_{ij}$	Custo unitário por unidade de fluxo e distância entre recursos $i$ e $j$ [€/m.]
$d_{ij}$	Distância entre os recursos $i$ e $j$ [m]
$f_{ij}$	Fluxos de materiais entre os recursos $i$ e $j$ [-]
$p_{ij}$	Classe de proximidade entre os recursos $i$ e $j$ [-]
$Q_{proximidade}$	Custo de qualidade de um <i>layout</i> [m]
$Z$	Função de minimização [€]

# 1. Introdução

Esta dissertação enquadra-se no Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, e tem como tema a proposta de um *layout* de um novo projeto empresarial no setor da metalomecânica. Neste capítulo é efetuado o enquadramento da dissertação e a motivação para o seu desenvolvimento. Com base no objetivo geral, são também apresentados objetivos específicos para uma melhor planificação da dissertação. É ainda apresentada a metodologia de investigação e a estrutura formal do documento.

## 1.1. Enquadramento e motivação

As empresas, de forma generalizada, procuram cada vez mais a redução de desperdícios e a melhoria dos seus processos produtivos. Uma das formas de se alcançarem melhores resultados é através da análise do *layout* fabril, de forma a minimizar os fluxos de movimentação de pessoas e de materiais (Deshpande et al., 2016).

No contexto da engenharia e gestão industrial, um *layout* pode ser definido como o arranjo físico que resulta da melhor combinação e organização de todos os meios necessários à produção de um bem ou prestação de serviço – incluindo os colaboradores, as máquinas, equipamentos, as matérias-primas, produto em processamento e produto acabado (Pinto, 2010).

Definir o *layout* pode influenciar a eficiência operacional de uma empresa (Yang & Lu, 2023). A organização de um *layout* depende da diversidade de produtos e do volume de produção. As quatro principais categorias de organização de *layout* incluem a orientação por produto, por processo, *layout* de posição fixa e células de produção (Pinto, 2014). Quando se aborda o problema dos *layouts*, além das questões associadas à identificação do melhor arranjo físico dos recursos, podem ser considerados outros aspetos que tomam uma elevada pertinência na sua definição, nomeadamente, a escolha do meio de transporte de materiais, a determinação da capacidade desses recursos ou a necessidade de implementação de locais de armazenamento intermédio. Optar pelo transporte de carga manual ou pelo uso de um veículo automatizado para o transporte de materiais, tem implicações diferentes na determinação do custo de *layout*, por isso, é de elevada importância integrar todas estas questões num só problema, resolvendo-o de uma só vez (Liu et al., 2020).

Normalizar ao máximo o processo produtivo de um *mix* de produtos, recorrendo a ferramentas de uniformização de processos ou aplicando estratégias produtivas que impliquem a diferenciação tardia, tem como objetivo simplificar a organização do *layout* fabril.

O *layout* fabril auxilia a uma melhor e mais eficiente utilização de recursos produtivos. A escolha de um bom *layout* tem impactos significativos nos custos de produção, *Work In Progress* (WIP), *lead time* e produtividade. Por este motivo, é uma decisão complexa escolher o *layout* que evite áreas desaproveitadas na zona de produção ou localização desajustada das atividades que representam o valor acrescentado para o processo produtivo. Pode ainda referir-se que um bom *layout* deve fomentar a redução de *stocks* excessivos e a sua movimentação (Santos & Reis, 2019; Siregar et al., 2018). A organização fabril deve ser analisada nas etapas iniciais de qualquer projeto industrial para que o posicionamento das máquinas e equipamentos esteja ajustado à tipologia de processos ou produtos que se pretendem comercializar, de forma a maximizar a eficiência de utilização do espaço (Napvi et al., 2016).

A empresa GHP360 corresponde a um projeto empresarial recente, integrado no setor da metalomecânica e pretende desenvolver uma diversidade de produtos para o segmento de “casa e jardim”. Esta empresa encontra-se na fase de aquisição e instalação de equipamentos e maquinaria de produção, tendo em conta os processos produtivos que são necessários à conceção do seu *mix* de produtos. Por consequência, um dos principais desafios é a correta definição do *layout*, tendo em conta as restrições físicas da infraestrutura, a dimensão dos equipamentos de produção e o fluxo de movimentação dos materiais.

## 1.2. Objetivos propostos

A dissertação tem como principal objetivo o estudo e análise de uma proposta de *layout* para um projeto empresarial no setor de manufatura metalomecânica. Desta forma, para identificar os principais critérios que condicionam a definição do *layout*, pretende-se mapear os processos de manufatura, identificar alternativas de organização dos equipamentos e projetar a sua distribuição pelo espaço de forma a minimizar os custos de movimentação. Para a definição da proposta de um *layout* fabril adequado à organização do sistema produtivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificação do objetivo de produção deste novo projeto empresarial, identificando o *mix* de produtos a fabricar.

- Identificação dos diferentes processos de fabrico e processos de apoio, por exemplo a manutenção dos equipamentos.
- Identificação dos equipamentos produtivos e caracterização das suas dimensões, parâmetros de funcionamento, de modo a identificar as restrições para a sua instalação.
- Definição da proposta do *layout* industrial com a identificação das rotas de circulação dos materiais e dos recursos humanos.
- Aplicar um método de construção e melhoria de *layouts*, de forma a minimizar os custos associados aos fluxos de movimentação.

### 1.3. Metodologia de investigação

O desenvolvimento da dissertação foi sustentado na aplicação da metodologia investigação-ação. Esta metodologia de investigação é caracterizada pela capacidade de resolver problemas reais através de uma pesquisa prática, participativa e cíclica, onde cada ciclo envolve as etapas: observação, planificação, ação, avaliação e reflexão sobre os resultados obtidos, o que permite a introdução de mudanças a serem implementadas e avaliadas no ciclo seguinte (Saunders et al., 2019). Esta metodologia permite a articulação contínua da investigação, ação e formação, gerando profissionais aptos à introdução da mudança. Segundo Coutinho et al. (2009), a investigação-ação é uma metodologia essencialmente prática e tem como objetivo a análise e resolução de problemas. Por sua vez, Saunders et al. (2007) afirma que a metodologia de investigação-ação é um processo cíclico ou em espiral que intercala a ação e a reflexão crítica. A cada ciclo são aprimorados os métodos de trabalho, os dados e a interpretação com base no conhecimento adquirido no ciclo anterior.

Assim sendo, as diferentes fases da metodologia investigação-ação aplicadas no contexto da presente dissertação são as seguintes:

- **Observação:** nesta primeira fase, também conhecida como fase de diagnóstico, fez-se uma avaliação do problema em análise. Foi efetuado o levantamento de toda a informação sobre os processos de manufatura, assim como a identificação dos equipamentos necessários à operacionalização produtiva da empresa. Além disso, foram identificadas as restrições do projeto, tendo em consideração a geometria do pavilhão industrial.

- **Planificação:** nesta fase, foram identificadas as alternativas de distribuição de recursos na área fabril, tendo por base a definição das restrições e requisitos de processo. Neste caso, podem ser avaliadas diferentes alternativas de estudo de organização de *layout* com base no conhecimento dos produtos, equipamentos e maquinaria e processos produtivos para o *layout* industrial a ser implementado.
- **Ação:** depois de efetuada a planificação, as ações foram implementadas. Estas ações passam pelo desenho do *layout* com base na aplicação do método de construção e melhoria de *layouts* selecionado para a aplicação.
- **Avaliação e Reflexão:** nesta fase particular, foram analisados e discutidos os resultados obtidos, com vista a perceber se efetivamente o *layout* definido cumpre com os objetivos definidos.

Paralelamente à aplicação da metodologia investigação-ação, foi efetuada uma revisão bibliográfica, que permitiu identificar o enquadramento teórico necessário ao desenvolvimento da dissertação. Foi pesquisada e obtida documentação em repositórios, bibliotecas e plataformas científicas de acesso *online*. A análise crítica foi efetuada considerando a conjugação do conhecimento teórico e da documentação fornecida pela empresa relativamente à sua atividade. Só assim foi possível definir a proposta para a implementação do *layout* fabril, com vista a uma maior e mais eficiente organização do seu fluxo produtivo.

#### **1.4. Organização da dissertação**

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos. No primeiro capítulo é efetuada a contextualização e enquadramento da dissertação, sendo indicados os objetivos e metodologia de investigação. No segundo capítulo são apresentados os fundamentos que sintetizam o enquadramento teórico de suporte ao desenvolvimento do tema. No terceiro capítulo apresenta-se a planificação e caracterização do projeto industrial para o qual se apresenta a proposta de *layout* industrial do capítulo quatro. Nesse quarto capítulo são apresentadas as considerações práticas e metodológicas para a construção e melhoria da proposta de *layout*. Por fim, no capítulo cinco são tecidas as principais conclusões e são discutidas as limitações do trabalho.

## 2. Enquadramento teórico

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos teóricos sobre a definição de *layouts* industriais e a classificação das diferentes tipologias. São ainda focados os objetivos de planeamento de *layouts*, etapas, critérios e métodos de construção para a avaliação de um *layout*.

### 2.1. Definição de *layout* industrial

O *layout* de uma empresa pode ser definido como a disposição física e distribuição dos elementos produtivos desde os seus equipamentos e maquinarias, áreas de trabalho, acessos e corredores de passagem, de modo a maximizar a funcionalidade do processo produtivo e melhorar o ambiente de trabalho (Rocha, 1995).

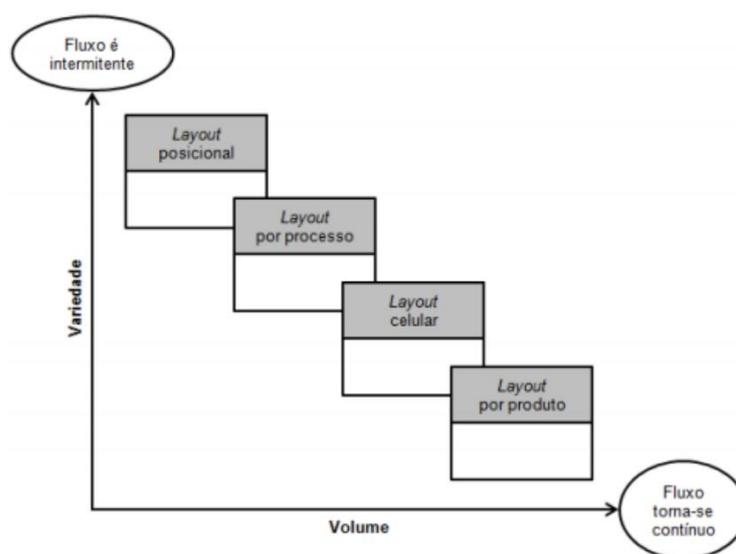
Os custos de desenvolvimento um bom *layout* e de um *layout* inadequado são praticamente os mesmos, sendo que se o *layout* inadequado é instalado, os custos para corrigir e rearranjar são demasiado elevados e, em alguns casos, alterar o *layout* é muito difícil (Muther, 1976). Por sua vez, Slack et al. (2013) defende que se o *layout* estiver incorreto pode causar padrões de fluxo de materiais desorganizados; pode resultar em elevado inventário ao longo do processo produtivo, assim como esperas entre as diferentes operações. Desta forma, *layouts* mal definidos ou não otimizados podem gerar elevados tempos de processamento, fluxos imprevisíveis e custos elevados.

Para Corrêa & Corrêa (2009), um *layout* adequado deve ter por base a estratégia competitiva do sistema produtivo. Assim, não existe um *layout* que otimize simultaneamente todo o processo produtivo, mas pode, no entanto, influenciar o seu grau de eficiência. Segundo Tompkins et al. (1996), o projeto de *layout* tem um impacto significativo no desempenho do sistema produtivo. Planear o *layout* industrial implica ordenar os fluxos associados aos processos produtivos de forma a obter uma relação mais eficiente entre pessoas, equipamentos e materiais dessa área.

### 2.2. Tipos de *layout*

Segundo Muther (1976), existem quatro tipos de *layout*, que são: *layout* de posição fixa, *layout* por processo (ou funcional), *layout* por produto (ou linha) e *layout* celular (células de produção). A definição do tipo de *layout* está muitas vezes associada à estratégia de gestão do fluxo de materiais aplicada num dado processo produtivo.

Assim, e de uma forma geral, a maioria dos *layouts* deriva destes quatro tipos básicos de *layout*. Com base nesta classificação, é possível identificar o efeito de quantidade e variedade de produção com os diferentes tipos de *layout*. À medida que a quantidade/volume de produção de uma empresa aumenta, cresce a importância de gerir bem os fluxos, uma vez que elevadas quantidades de produção implicam processos mais normalizados, típicos da produção por produto (linhas de produção). Quando a variedade é reduzida e o volume de produção é elevado, aumenta-se a viabilidade de um *layout* baseado num fluxo contínuo (Pinto, 2010). A Figura 1 apresenta a relação existente entre os diferentes tipos de *layout* em função variedade e volume de produção.



**Figura 1:** Relação entre o tipo de *layout*, volume e variedade de produção (Slack et al., 2013).

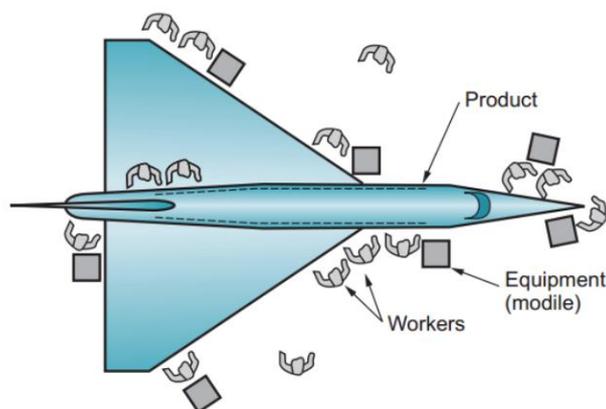
### 2.2.1. *Layout* de posição fixa

Slack et al. (2013) afirma que o *layout* de posição fixa (Figura 2) aplica-se na produção de produtos de grandes dimensões, ou seja, a posição do produto está pré-determinada sendo que os trabalhos, equipamentos, materiais e outros recursos deslocam-se para junto do produto quando são necessários. De acordo com Martins & Laugeni (2005), no *layout* de posição fixa, a matéria-prima ou os componentes em processamento permanecem fixos, numa determinada posição e as máquinas e os trabalhadores só devem ser mobilizadas para a zona de produção em função da sequência das operações necessárias. As vantagens deste tipo de *layout* são (Tompkins et al., 1996):

- Reduzida movimentação de materiais;
- Elevada flexibilidade;
- Maior motivação da mão-de-obra.

Em relação às desvantagens deste tipo de *layout*, podem-se referir:

- Elevados custos de movimentação de materiais;
- Especialização da mão-de-obra elevada;
- Necessidade de supervisão constante;
- Requer um elevado planeamento e produção sincronizada.



**Figura 2:** Exemplo de um *layout* de posição fixa aplicado na construção de aviões (Molla, 2018).

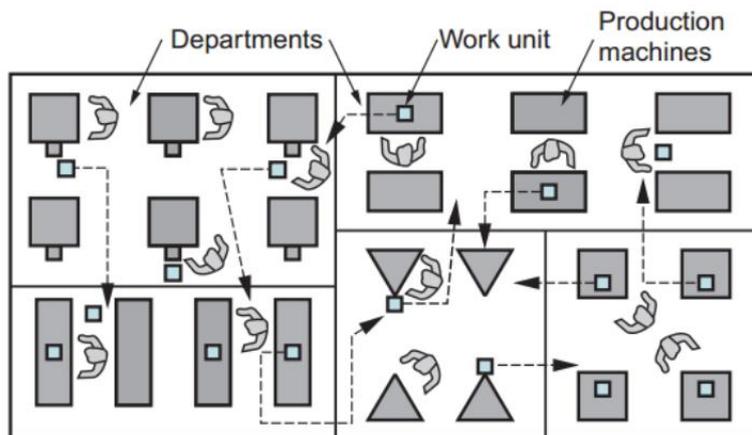
### **2.2.2. Layout por processo**

Para Slack (2013), o *layout* por processo ou funcional (Figura 3) tem como principal característica o agrupamento de máquinas e equipamentos em departamentos, de acordo com a sua funcionalidade. Isto significa que quando os produtos e informações fluírem através de uma operação, estes percorreram uma rota de atividade de acordo com as suas necessidades, pois produtos diferentes têm necessidades diferentes e seguem fluxos de processo diferentes. No *layout* por processo, todos os equipamentos e processos similares são instalados com vista ao melhor sequenciamento das operações semelhantes (Martins & Laugeni, 2005). As vantagens do *layout* de processo são:

- Elevada taxa de utilização de mão-de-obra e equipamentos;
- Boa flexibilidade operacional;
- Maior motivação da mão-de-obra;
- Supervisão especializada por processo;

Este tipo de *layout* também apresenta as suas desvantagens, podendo ser enumeradas as seguintes:

- Elevados custos de movimentação de materiais;
- Elevados *stocks* intermédios;
- Dificuldade de controlo da produção;
- Dificuldade na coordenação e planeamento da produção.



**Figura 3:** Exemplo de um *layout* por processo ou funcional (Molla, 2018).

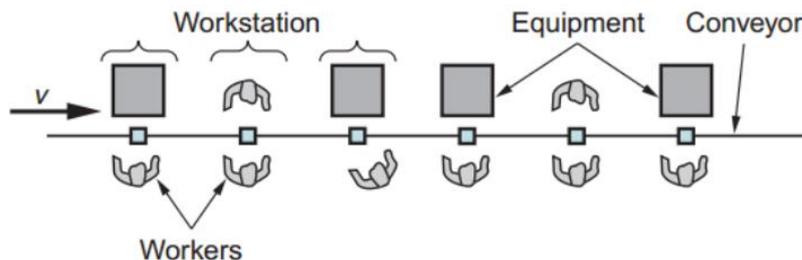
### 2.2.3. *Layout* por produto

Nos *layouts* por produto (Figura 4) coexistem uma ou mais linhas de produção independentes, sendo os equipamentos de cada linha dedicados ao fabrico de um único produto ou pequenas variantes desse produto. Cada produto segue uma rota pré-estabelecida na qual a sequência de atividades necessárias corresponde à sequência onde os processos foram realizados. Os recursos transformados fluem ao longo de uma linha de processos onde este fluxo é claro, previsível e fácil de controlar. Para Martins & Laugeni (2005), no *layout* por produto, as máquinas e postos de trabalho são colocados conforme a sequência de operações e são realizadas de acordo com a sequência estabelecida. O *layout* por produto segue um fluxo produtivo simples e lógico com baixos *stocks* intermédios e reduzidas movimentações dos intervenientes envolvidos no processo. Segundo Tompkins et al. (1996), as vantagens de um *layout* orientado ao produto são:

- Ciclos de produção reduzidos;
- Implementação de sistema de planeamento e controlo de produção;
- Tempo de produção é reduzido;
- Níveis baixos de WIP;
- Taxas elevadas de utilização dos recursos.

Em relação as desvantagens deste tipo de *layout*, constata-se:

- Baixa flexibilidade do sistema;
- Equipamento específico com elevado custo de aquisição;
- Baixa motivação dos recursos humanos;
- Paragem de máquinas motiva a paragem da linha produtiva.



**Figura 4:** Exemplo de um *layout* por produto (Molla, 2018).

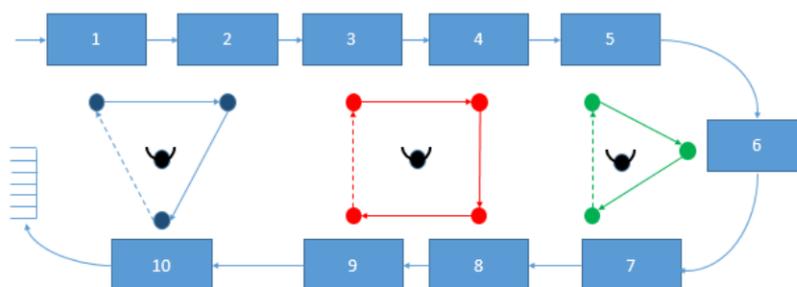
#### 2.2.4. Células de produção

Nas células de produção, como representado na Figura 5, os equipamentos são associados em grupos (célula de produção), maioritariamente dedicados ao processamento de fabrico ou montagem de componentes específicos. O *layout* celular é definido como aquele em que os segmentos de um produto são pré-selecionados para serem transformados numa parte específica do processo (Slack et al., 2013). Por sua vez, Martins & Laugeni (2005) defende que o *layout* celular consiste em organizar num só local as máquinas necessárias para fabricar parte de um produto ou um produto completo. Segundo Tompkins (1996), as vantagens do *layout* celular são:

- Reduzida movimentação de materiais;
- Fluidez do processo produtivo;
- Taxa de ocupação dos equipamentos elevada;
- Melhoria da qualidade;
- Controlo de custos;

Em relação à implementação de um *layout* celular as desvantagens são:

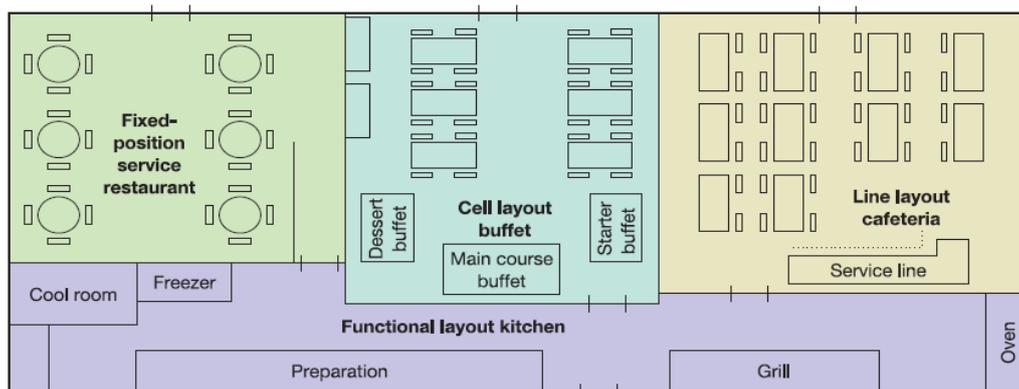
- Espaços de trabalho limitados;
- Nível de mão-de-obra especializado elevado;
- Interrupção do processo caso haja ocorrência de falha numa máquina.



**Figura 5:** Exemplo de um *layout* celular. Adaptado de Dinis-Carvalho et al. (2014).

### 2.2.5. *Layout* combinado

Frequentemente, o aumento de volume e variedade de produtos nas empresas gera a necessidade de se combinarem características entre os diferentes tipos básicos de *layouts*. Tanto pode ocorrer a combinação de elementos de cada tipo de *layout*, como também a aplicação de um tipo de *layout* num departamento e outro tipo noutra. Segundo Martins & Laugeni (2005), os *layouts* combinados aplicam-se para que sejam aproveitadas as vantagens de vários tipos de *layout* com vista à eficiência global do sistema de produção. A Figura 6 ilustra um exemplo de *layout* combinado.



**Figura 6:** Exemplo de um *layout* combinado (Slack et al., 2013).

### 2.3. Objetivos de planeamento e implementação de *layout*

De acordo com Slack et al. (2013) existem alguns objetivos gerais e frequentes no planeamento de *layouts*, sendo eles:

- Minimizar o custo de movimentação de materiais;
- Utilizar a mão-de-obra e o espaço de forma inteligente;
- Possibilitar a flexibilidade necessária para a adaptação a novas condições;
- Facilitar a entrada, saída e posicionamento dos materiais, produtos ou pessoas;
- Reduzir o *lead time* dos produtos ou prazos de entregas a clientes.

O mesmo autor defende que se o *layout* estiver errado pode causar:

- Excessivos fluxos de movimentação;
- Filas de espera durante diferentes etapas do processo de produção;
- Tempos de operação desnecessariamente extensos;
- Operações inflexíveis;
- Custos elevados.

A conceção de um *layout* aponta para a identificação e levantamento dos fatores e necessidades produtivas, que terão influência na dimensão do espaço a ser ocupado e na melhor disposição a ser definida. Esses fatores são importantes por estarem diretamente ligados à definição do tipo de *layout* e por influenciarem consideravelmente o *layout* final (Rocha, 1995). Os fatores variam em termos de importância de acordo com as operações e tipo de produto que está a ser fabricado. Os principais fatores são:

- **Matéria-prima, WIP e produto acabado:** dimensões, pesos, quantidades movimentadas e as suas características físicas e químicas;
- **Equipamentos e maquinaria:** itens quantificados em função das suas capacidades, eficiência e quantidade. Dependendo do setor de atividade, os equipamentos e maquinaria representam uma grande área de ocupação dos espaços fabris. Alguns desses equipamentos, pelas suas características têm de ser posicionados num local fixo;
- **Recursos humanos:** elementos que, na movimentação, ao realizarem tarefas junto às máquinas ou na sua supervisão, requerem espaço para circulação;
- **Transporte interno:** tipo de meios de transporte utilizado para transportar materiais entre setores ou postos de trabalho.

Além disso, Rocha (1995) enfatiza que podem ser mencionados outros fatores, como por exemplo, a área para colocação de *stocks* intermédios e produtos acabados, assim como áreas para serviços de apoio à produção.

#### **2.4. Etapas para a elaboração de um *layout***

O planeamento de um *layout* pode ser dividido em quatro grandes fases, sendo elas a localização, a definição do *layout* em blocos (e.g., definição de setores ou áreas gerais), a definição do *layout* detalhado e a implementação propriamente dita. Para conseguir alcançar os objetivos do planeamento do *layout*, é necessária a concretização das seguintes etapas (Martins & Laugeni, 2005):

- Identificar e definir a quantidade a produzir (objetivo e/ou cadência de produção);
- Determinar o número de máquinas, áreas de *stocks* entre outros;
- Selecionar o tipo de *layout* consoante o processo produtivo e equipamentos;
- Desenvolver ferramentas que permitam a visualização explícita do *layout*;
- Verificar critérios, analisar o *layout* e implementar.

## 2.5. Critérios na definição e avaliação de *layouts*

Silva et al. (2010) afirma que todos os tipos de *layout* têm características que os aproximam ou distanciam daquilo que são os objetivos da empresa. Para saber qual o tipo de *layout* a utilizar, vários critérios têm de ser definidos. Estes critérios têm um impacto direto naquela que é a filosofia da empresa. Os critérios incluem:

- **Fluxo contínuo:** uma das principais mais-valias do fluxo contínuo é a proximidade dos equipamentos no chão-de-fábrica, permitindo que o *WIP* e/ou *stocks* fluam de forma contínua entre os postos de trabalho. Este é também um dos cinco princípios do *Lean Production* (Rother & Harris, 2002).
- **Gestão visual:** a gestão visual da produção como uma metodologia usada para tornar visível, ou pelo menos aparente, fatores relevantes à adequada gestão da produção ao nível operacional. A gestão visual ajuda a gerir as atividades do chão-de-fábrica. Um *layout* eficiente permite ao gestor da produção ter uma visão clara dos operadores e do sistema de produção ao realizar o *gemba*. Além disso, o *layout* deve permitir pelo menos visualizar etapas completas do processo (Ciosaki, 1999; Torghabehi et al., 2016).
- **Stocks intermédios:** os materiais em processamento correspondem a uma das principais fontes de desperdício. A disposição física dos equipamentos deve minimizar a distância física entre as máquinas, procurando eliminar a necessidade de produzir grandes lotes e, conseqüentemente, gerar *stocks* intermédios (Santos & Reis, 2019).
- **Rentabilização da polivalência da mão-de-obra:** a proximidade dos postos de trabalho pode permitir que um trabalhador execute várias operações. A proximidade destes postos de trabalho deve ser considerada na definição do *layout*. Apesar de não ser o único motivo que afeta a produtividade, é uma das variáveis a ter em consideração (Oliveira et al., 2019).
- **Qualidade:** o *layout* tem impacto na qualidade do produto. Idealmente, os defeitos de qualidade devem ser detetados assim que o produto é encaminhado para o processo seguinte. Desta forma, *layouts* que fomentem a produção em grandes lotes ou grande quantidade de *WIP* geram grandes desperdícios, pois se um defeito for detetado, provavelmente todo o lote estará com esse defeito (Dahlgaard & Dahlgaard-Park, 2006).

- **Sobreprocessamento e transporte:** são dois desperdícios a serem eliminados na perspetiva do *Lean Production*. Assim o posicionamento da maquinaria no *layout* deve permitir a mínima movimentação de materiais e produtos no chão-de-fábrica.
- **Flexibilidade:** a sazonalidade e a procura por produtos customizados são alguns dos fatores que impulsionam as empresas que procuram flexibilidade. Neste sentido, o *layout* deve permitir que a empresa altere de forma rápida e eficiente a organização e alocação dos seus recursos de forma a permitir uma maior capacidade produtiva em função do *mix* de produtos e volume de produção, assim como as oscilações da procura (Djassemi, 2005).
- **Nível de complexidade da programação da produção:** o nível de complexidade da programação da produção está correlacionado com a organização dos fluxos de processo. Quanto maior a aleatoriedade do fluxo de produção, mais difícil é programar os postos de trabalho e maior o índice de complexidade da programação da produção (Olhager & Wikner, 2000).

Segundo Tavares (2000), existem diversos critérios que podem ser utilizados para avaliar a qualidade de um dado *layout*, podendo ser agrupados em duas classes distintas que diferem por se basearem em fatores qualitativos e fatores quantitativos.

Os critérios mais comuns são fundamentados nas classes de proximidade, e o método mais comum de avaliar a qualidade de um *layout* baseia-se na combinação entre classe de proximidade ( $p_{ij}$ ) e distância entre recursos ( $d_{ij}$ ), sendo que o custo de qualidade de um *layout* ( $Q_{proximidade}$ ) é dado pela equação (1):

$$Q_{proximidade} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} \times d_{ij} \quad (1)$$

O fator de distância deve ser sempre considerado com base num método de cálculo o mais preciso possível, de forma a ser representativo dos fluxos de movimentação realizados pelos trabalhadores e materiais. Por outro lado, os critérios quantitativos mais comuns são baseados nos valores dos custos dos fluxos de movimentação. A análise quantitativa fundamenta-se geralmente em três parâmetros, sendo eles a distância entre recursos ( $d_{ij}$ ), o fluxo de materiais entre recursos ( $f_{ij}$ ) e o custo de transporte por unidade de fluxo e por unidade de distância entre recursos ( $c_{ij}$ ). O custo de qualidade de *layout*, de forma quantitativa,  $C_{movimentação}$  é dada pela equação (2):

$$C_{movimentação} = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n c_{ij} \times f_{ij} \times d_{ij} \quad (2)$$

Tanto os métodos de avaliação baseados em fatores qualitativos como os baseados em fatores quantitativos apresentam limitações (Tavares, 2000). Os métodos baseados em fatores qualitativos têm bastante subjetividade associada e os métodos baseados em fatores quantitativos não conseguem resolver de forma concreta algumas restrições do problema.

## 2.6. Métodos de construção e melhoria de *layout*

Existem diversos métodos de construção e melhoria de *layouts* que podem ser aplicados em contexto industrial. Alguns desses métodos e técnicas incluem: *Systematic Layout Planning* (SLP) (Napvi et al., 2016), *Automated Layout Design Program* (ALDEP) (Deshpande et al., 2016), *Computerized Relationship Layout Planning* (CORELAP) (Besbes et al., 2021) e *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT) (Deshpande et al., 2016). Nesta secção são explicados os métodos de relevância ao desenvolvimento da presente dissertação.

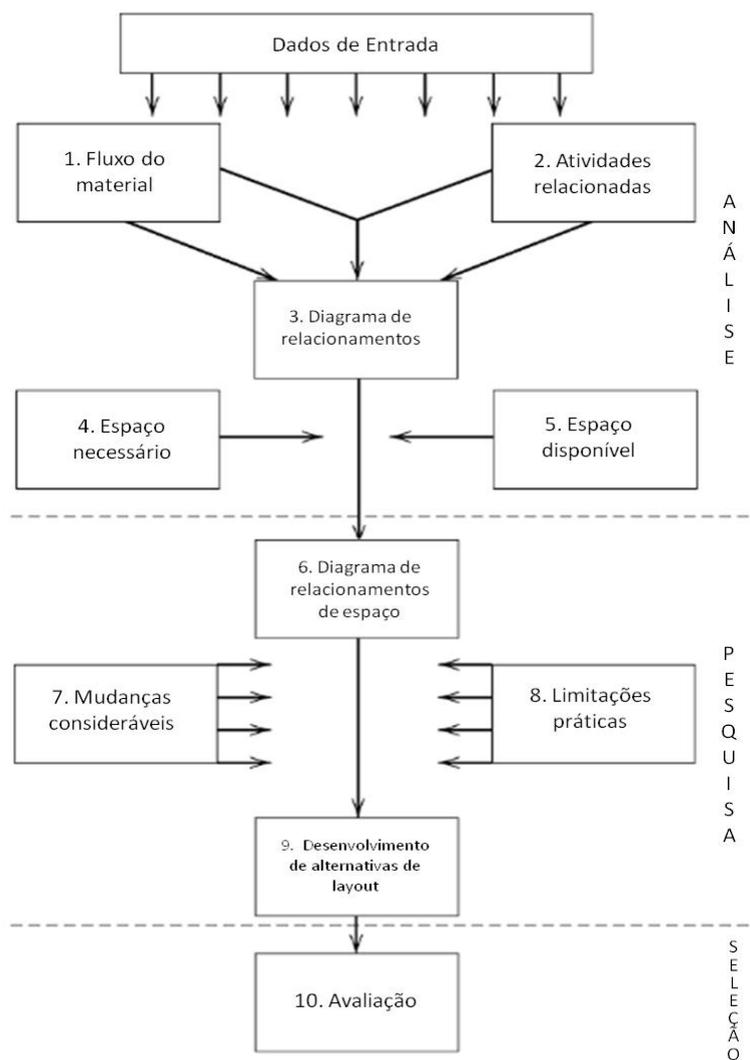
### 2.6.1. Aplicação da metodologia SLP

O SLP proposto por Muther (1976) é um dos métodos de mais usados no projeto ou redimensionamento de um *layout* industrial. O SLP inclui três fases específicas, entre elas:

- Recolha e análise de dados;
- Pesquisa entre possíveis soluções de *layout*;
- Avaliação de alternativas e escolha do melhor *layout*;

Tortorella & Fogliatto (2008) referem que o método de SLP começa por uma análise designada pelas iniciais *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*, que correspondem a produto, quantidade, rota, suporte e tempo, respetivamente.

Essa análise sustenta-se na recolha organizada de todos os dados de entrada do problema, que se constitui como a etapa inicial do método, como pode ser verificado no diagrama da Figura 7. Além disso, Naqvi et al. (2016) afirma que usar o método SLP para desenvolver um novo *layout* ou para reorganizar os departamentos/setores de produção, melhora a eficiência produtiva da empresa. As etapas de implementação do método SLP são apresentadas na Figura 7.



**Figura 7:** Etapas do método de SLP (Muther, 1976).

### 2.6.2. Metodologia ALDEP

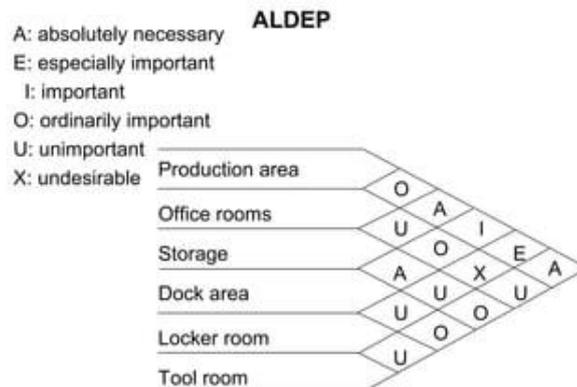
O ALDEP é um algoritmo usado para projetar *layouts* fabris. Segundo Francis & White (1999), para contruir em *layout* utilizando a metodologia ALDEP é necessário identificar as áreas de cada departamento e a relação entre cada par desses mesmos departamentos com base no diagrama de relação de atividades, mais conhecido pela designação em inglês, *Activity Relationship Chart* (REL).

Na aplicação do diagrama REL é aplicado uma norma de classificação da medida de desejabilidade de adjacência entre os diferentes departamentos/atividades do *layout* de uma empresa. A classificação é feita entre cada par de departamentos com base em vários fatores determinantes, entre eles, o fluxo, o controlo da produção, a organização do chão-de-fábrica, entre outros.

O método define 6 níveis de classificação como é apresentado na Figura 8: ‘A’ – absolutamente necessário (*absolutely necessary*); ‘E’ – especialmente importante (*especially important*); ‘I’ – importante (*important*); ‘O’ – indiferente (*ordinary important*); ‘U’ – não importante (*unimportant*); ‘X’ – indesejável (*undesirable*).

A utilização deste método de construção de *layouts* permite a criação de uma matriz triangular, onde se traduz o tipo de inter-relações e o grau de proximidade entre duas atividades. Para a construção do diagrama REL devem ser aplicados os seguintes passos:

- Selecionar todos os departamentos ou atividades que serão incluídos na análise;
- Desses departamentos, combiná-los em pares e atribuir uma classificação;
- O procedimento é repetido até que todos os departamentos sejam selecionados.



**Figura 8:** Classificação do procedimento REL para implementação do ALDEP.

Para iniciar o algoritmo, o primeiro departamento/atividade é selecionado aleatoriamente. Seleciona-se um segundo que tenha classificação de inter-relação como a maior classificação com o primeiro já alocado na matriz REL. Se não for possível uma classificação ‘A’, seleciona-se uma classificação de ‘E’ ou ‘I’, com base no nível máximo de importância determinado pelo analista. O procedimento de seleção é repetido até que todos os departamentos sejam selecionados (procura-se sempre o departamento/atividade que tenha o relacionamento mais importante como último colocado no *layout*).

Desta forma, este procedimento traduz-se numa “medida de desejabilidade”, ou seja, a prioridade que é dada à adjacência de cada dois departamentos atividades. Se a “medida de desejabilidade” estiver aquém de um limite mínimo pré-especificado pelo utilizador (e.g., não inferior a uma classificação ‘E’), o departamento selecionado é escolhido aleatoriamente de entre o conjunto de todos ainda disponíveis. Com base neste sistema de classificação atribuem-se critérios quantitativos:  $A=4^3$ ,  $E=4^2$ ,  $I=4^1$ ,  $O=4^0$ ,  $U=0$  e  $X= - 4^5$ .

Com a atribuição destes critérios, identifica-se assim a classificação de cada alternativa de *layout*. A alternativa de *layout* com melhor *score* deve ser a selecionada (Deshpande et al., 2016).

### 2.6.3. Método CRAFT

O método CRAFT e as suas heurísticas permitem uma melhoria e aperfeiçoamento do *layout* (Paneerselvam, 1999). No entanto, não é garantido que os resultados que são obtidos da sua aplicação sejam o resultado ótimo. Segundo Agarwal (1997), o método CRAFT primeiro avalia o *layout* inicial e depois considera os efeitos de melhoria de permuta de determinados departamentos. Os requisitos de entrada do método CRAFT são (Deshpande & Chopade, 2005):

- *Layout* inicial;
- Matriz de fluxos, matriz de distâncias e matriz de custos;
- Número total dos departamentos a avaliar permuta;
- Área total ocupada por cada um dos departamentos a avaliar permuta;

Assim, a implementação do CRAFT requer uma primeira iteração de definição do *layout*, melhorando-o através da troca de um par de departamentos, para que o custo seja minimizado. Depois de avaliar um determinado *layout*, o CRAFT estima qual o resultado obtido se os posicionamentos das áreas operacionais forem trocados. Se for possível fazer melhorias, é efetuada a troca e o método continua a ser aplicado até que nenhuma melhoria possa ser feita. Ao aplicar o CRAFT, apenas podem ser trocados departamentos que tenham uma fronteira comum ou a mesma área. É assim necessário calcular a distância entre departamentos e estimar a redução total do custo de movimentação (Deshpande et al., 2016). Assim, transforma-se a equação (2) numa função de minimização, conforme apresentado pela equação (3):

$$\text{Min } z = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n c_{ij} \times f_{ij} \times d_{ij} \quad (3)$$

## 2.7. Ferramentas aplicadas

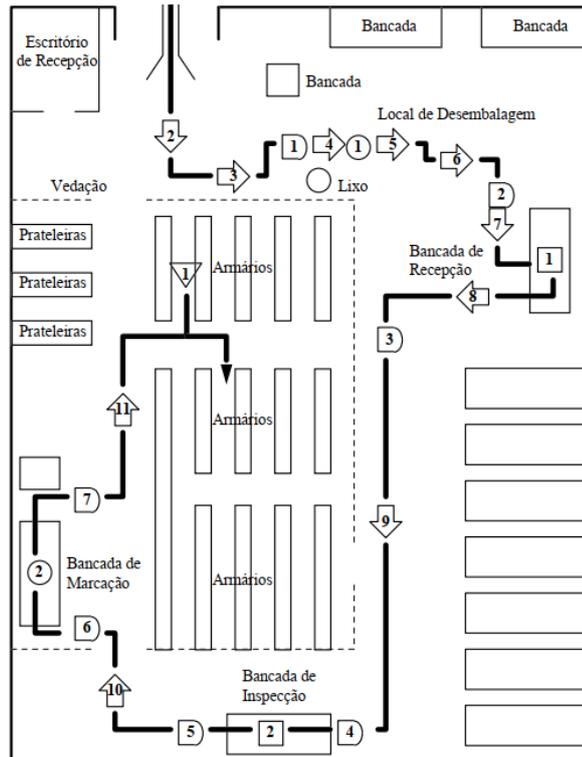
Nesta secção apresentam-se duas ferramentas aplicadas no desenvolvimento das propostas de *layout*, nomeadamente, o diagrama de circulação e o diagrama de *spaghetti*. Estas duas ferramentas auxiliam na identificação dos fluxos de movimentação de materiais e pessoas.

### 2.7.1. Diagrama de circulação

A movimentação e a circulação de materiais numa empresa representam um mal necessário em termos de custo, pelo que devem ser minimizadas. Com efeito, a movimentação de materiais não aumenta a utilidade funcional de um *layout*, a qual só é conseguida através de transformações ao produto, aumentando o seu valor.

Os diagramas de circulação são representações gráficas que descrevem o fluxo ou a circulação de pessoas, materiais, informações, ou qualquer outro item de um sistema, espaço ou processo (Green, 1967). Estes são usados para visualizar e comunicar como os elementos se movem ou são distribuídos num determinado *layout*. Para determinar a circulação de um produto ou a sequência de um processo, é necessário o desenho da implantação fabril, efetuado à escala da fábrica, onde é representada, com exatidão, a posição das diferentes máquinas e postos de trabalho.

A partir dessa planta, são registados os movimentos para assinalar as diferentes operações efetuadas nos diversos postos de trabalho (Dinis-Carvalho et al., 2015). A Figura 9 apresenta um exemplo de diagrama de circulação da receção, controlo e marcação dos fluxos de peças durante o seu fabrico.



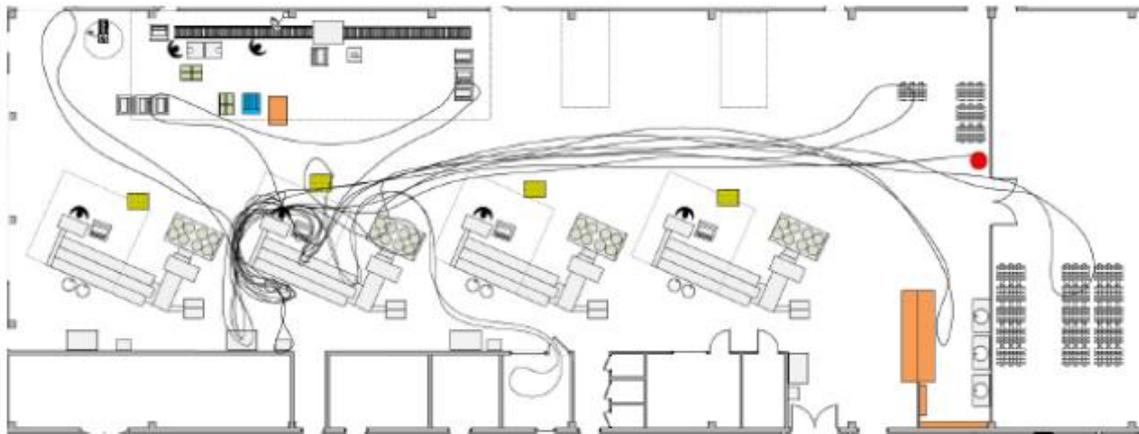
**Figura 9:** Diagrama de circulação identificando a receção, controlo e marcação dos fluxos de peças no seu fabrico (Rodrigues et al., 2013).

### 2.7.2. Diagrama de *spaghetti*

O diagrama de *spaghetti* é uma ferramenta visual que mostra o movimento físico de pessoas ou materiais. Serve para identificar movimentos sem valor que podem ser reduzidos, evitando assim perdas para a empresa e fomentando o aumento de produtividade (Senderská et al., 2017). Da aplicação dos diagramas de *spaghetti* identificam-se vários benefícios para a empresa, sendo eles:

- Diminuir o desperdício de tempo e otimizar a performance da equipa;
- Padronizar e agilizar a lógica dos procedimentos;
- Aumentar a produtividade e eliminar as tarefas repetitivas.

Ao utilizar o diagrama *spaghetti*, a trajetória de movimento pode ser rastreada. Também é possível usar cores diferentes para vários produtos, trabalhadores ou meios técnicos e rastrear o movimento em momentos diferentes. A Figura 10 ilustra um exemplo de aplicação de um diagrama *spaghetti*.



**Figura 10:** Exemplo de um diagrama de *spaghetti* (Senderská et al., 2017).

Após a análise deste tipo de diagrama, é possível identificar a duração e o número de movimentos, os movimentos sobrepostos e cruzados e as suas características. Na sequência de aplicação do diagrama *spaghetti*, podem ser analisados os movimentos ineficientes e fazer alterações na organização do trabalho ou no *layout* dos postos de trabalho (Senderská et al., 2017).

## 3. Planificação do projeto industrial

A dissertação foi desenvolvida no âmbito de um novo projeto industrial, a empresa GHP360. Desta forma, este capítulo tem por objetivo efetuar o levantamento da informação necessária à planificação do projeto industrial.

### 3.1. Proposta de valor da empresa

A GHP360 (logótipo apresentado na Figura 11) é uma empresa que surge com o objetivo de fabricar uma diversidade de produtos para o segmento de mercado de “casa e jardim” com uma inovação distinta e qualidade elevada. A GHP360 integra-se no setor da metalomecânica e o seu mercado alvo é o mercado Europeu, nomeadamente o mercado alemão e o mercado francês. A tipologia de clientes alvos na empresa GHP360 são cadeias de grande distribuição, cadeias de jardinagem e páginas *web* de venda *online*, especializadas em exterior da casa e jardim. De acordo com a Classificação de Atividade Económica (CAE), a empresa desenvolve a sua atividade principal no âmbito de “25992 – Outros produtos metálicos diversos”.



**Figura 11:** Logótipo da empresa GHP360.

### 3.2. Gamas de produtos a desenvolver

A primeira gama de produtos da empresa GHP360 designa-se “Outdoor Boxes” e são constituídos por os produtos denominados: Packetbox, Climabox, Bikebox e Garbagebox. Nos subcapítulos seguintes são descritos de forma mais aprofundada cada um dos produtos.

#### 3.2.1. Packetbox

O Packetbox é um produto cujo objetivo é ser a solução ideal para se receber encomendas sem estar em casa. É composto por alumínio de excelente qualidade, lacado em diferentes cores e é constituído por um sistema simples de manuseio, conveniente, com um design elegante.

Além do exemplo da Figura 12, o Packetbox pode ser também produzido com diferentes cores, tamanhos e também com configurações distintas. As vantagens deste produto são:

- Construção à prova de roubo;
- Protege as encomendas contra o mau tempo;
- Fácil montagem;
- Planificado para todos os tipos de entregas e todos os modelos de caixas *standard*.



**Figura 12:** Exemplo de produto da gama Packetbox.

### 3.2.2. Climabox

A gama Climabox é a solução para colocar a unidade externa de aparelhos de ar condicionado e bombas de calor, sendo que nesta gama de produtos, a configuração do depende dos diferentes tamanhos dos respetivos sistemas. Um exemplo de Climabox é ilustrado na Figura 13.



**Figura 13:** Exemplo de produto da gama Climabox.

O Climabox apresenta também um leque de cores variado sendo que vantagens deste tipo de produto são:

- Respeita o fluxo de ar necessário para o bom funcionamento do ar condicionado;
- Fácil montagem e facilmente removível para manutenção do aparelho;
- Caixa antirruído que reduz até 30% a poluição sonora do ar condicionado e bomba de calor.

### 3.2.3. Bikebox

O Bikebox é uma unidade de arrumação de bicicletas sendo uma forma prática de manter as bicicletas organizadas, protegidas e seguras, com *design* de acesso rápido e fácil manuseio. Além disso, pode servir também para guardar qualquer tipo de equipamento volumoso de jardim, como corta relvas ou ferramentas de jardinagem (Figura 14). O Bikebox é produzido com diferentes tamanhos, cores e portas de acesso. As vantagens a ter em conta neste produto são:

- Construção à prova de roubo;
- Adaptável para todo o tipo de bicicletas;
- Proteção contra o mau tempo, sendo ventilada para evitar condensação.



**Figura 14:** Exemplo de produto da gama Bikebox.

### 3.2.4. Garbagebox

O Garbagebox (Figure 15) é um produto cuja funcionalidade é a arrumação do caixote do lixo no jardim de modo a ocultá-lo e isolar odores. É um artigo que pode ser produzido de diferentes cores e tamanhos de acordo com a dimensão geral dos caixotes do lixo. As vantagens deste tipo de produto são:

- Atenua o mau cheiro;
- Mantém os caixotes do lixo em bom estado;

- Evita o acesso de animais ao lixo e a sua degradação por exposição aos elementos da natureza.



**Figura 15:** Exemplo de produto da gama Garbagebox.

As principais matérias-primas necessárias para o fabrico destas gamas de produtos são os perfis e painéis. Os painéis são constituídos por Poliestireno Extrudido (XPS) e chapa de forma a promover um melhor isolamento e resistência ao produto.

### **3.3. Identificação dos processos produtivos e equipamentos**

Com a identificação das gamas de produtos que a empresa GHP360 pretende produzir, foi necessário identificar os processos produtivos necessários para transformar as várias matérias-primas em produto acabado, pronto para ser expedido até ao cliente.

#### **3.3.1. Processo de lacagem**

O processo de lacagem corresponde à pintura eletrostática com tintas de pó de poliéster. Existem numerosas cores de tinta em pó que ao serem aplicadas conferem uma enorme variedade estética aos produtos. Relativamente ao processo em si, este começa com uma preparação da superfície, ou seja, existe um pré-tratamento químico realizado tanto por imersão ou aspersão, em que os principais objetivos são a limpeza e desengorduramento. Com estes processos, a superfície a laca fica livre de contaminantes de modo a assegurar a máxima adesão da tinta. Posteriormente, é executada a aplicação da tinta em pó por meio de pistolas de pintura eletrostática. Após a aplicação da tinta, a peça lacada é encaminhada para um forno para a secagem garantindo que existe um acabamento uniforme e durável.

A lacagem da empresa GHP360 corresponde a uma linha de lacagem automática para tratamento de superfícies de metais ferrosos e não ferrosos, por pintura eletrostática. Sendo uma linha de lacagem de última geração, esta está equipada com sistema APNR, ou seja, promove a aderência da tinta em pó sem lavagem o que aumenta a resistência à corrosão. Além disso tem uma cabine de pintura totalmente automática munida de um sistema de mudança rápida de cor. A Figura 16 ilustra a linha de lacagem da empresa GHP360.



**Figura 16:** Instalação da linha de lacagem.

### **3.3.2. Processo de corte**

O processo de corte é feito sob medida de acordo com as especificações da aplicação do material/produto. Existem várias técnicas de corte industrial, cada uma adequada para diferentes tipos de materiais e aplicações. Para o processo produtivo da empresa GHP360 são necessários diferentes tipos de máquinas para o processo de corte, nomeadamente, para o corte de chapa, corte de perfil, corte de XPS e corte de painel:

- Máquina de corte de 2 cabeças;
- Serra de corte longitudinal;
- Serra mural;
- Guilhotina hidráulica de corte pendular;
- Máquina de corte de fio quente.

- **Máquina de corte de 2 cabeças**

A máquina de corte de 2 cabeças (Figura 17) é uma máquina de corte automática que é usada para as operações de corte de perfis de alumínio de grandes dimensões por meio de duas cabeças equipadas com um disco de corte de 500 mm e uma mudança pneumática da unidade corte para vários ângulos (90°, 45° e 22,5°). Estas podem operar simultaneamente, o que aumenta a eficiência e a produtividade do processo de corte. Além disso, está equipada com sistema *Computerized Numerical Control* (CNC) permitindo uma alta precisão, eficiência e repetibilidade dos cortes realizados.



**Figura 17:** Máquina de corte de 2 cabeças para o processo de corte na GHP360.

- **Serra de corte longitudinal**

A serra de corte longitudinal (Figura 18) é uma máquina no qual o objetivo é cortar vários tipos de materiais longitudinalmente, sendo que no caso da empresa GHP360, os materiais mais usados são perfis, permitindo o corte de materiais com dimensões de largura específicas.



**Figura 18:** Serra de corte longitudinal para o processo de corte na GHP360.

- **Serra mural**

A serra mural (Figura 19) é um equipamento composto por um motor elétrico ou hidráulico que opera numa calha e pode realizar cortes em superfícies verticais e horizontais. É utilizada para cortar painéis de alumínio, chapas lisas, madeira entre outros produtos industriais.



**Figura 19:** Serra mural para o processo de corte na GHP360.

- **Guilhotina hidráulica**

A guilhotina hidráulica de corte pendular (Figura 20) é uma máquina que realiza cortes de alta precisão em chapas de metal. É projetada para cortar materiais ao longo da sua extensão, usando o seu mecanismo de corte pendular. Está equipada com o sistema CNC, permitindo realizar programas específicos, cortes exatos e automatizar o processo de corte para maior eficiência.



**Figura 20:** Guilhotina hidráulica de corte pendular para o processo de corte na GHP360.

▪ **Máquina de corte de fio quente**

A máquina de corte de fio quente (Figura 21) é utilizada para corte de materiais espumados ou termoplásticos, sendo que no caso da empresa GHP360, o XPS é o principal material utilizado. Esta máquina funciona por meio de um fio aquecido de forma elétrica que passa através do material de forma precisa e controlada a partir de um desenho em 2D projetado em um *software* de desenho vetorial bidimensional, *Computer-Aided Design* (CAD).



**Figura 21:** Máquina de corte de fio quente para o processo de corte na GHP360.

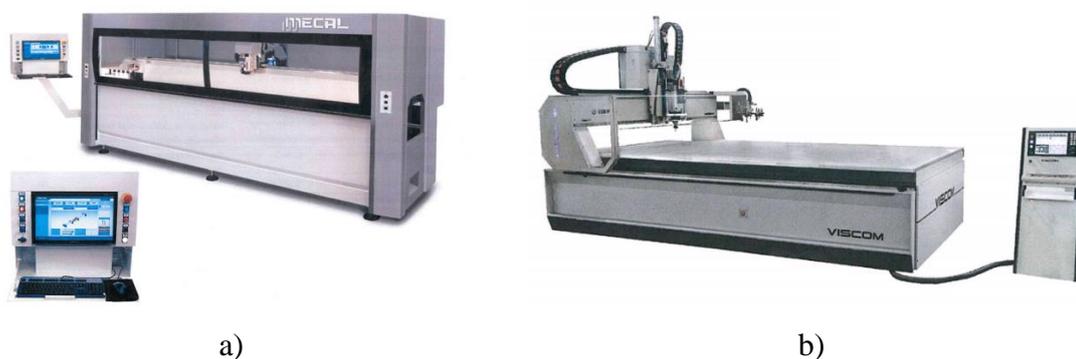
**3.3.3. Processo de maquinação**

O processo de maquinação consiste na alteração da geometria do material, graças a forças aplicadas por ferramentas apropriadas. Dadas as suas características, este processo é utilizado frequentemente para efetuar peças que necessitem de uma grande precisão sendo necessário o uso de máquinas de CNC para transformar a matérias-primas brutas em peças acabadas ou quase acabadas. As máquinas que a empresa GHP360 utiliza do processo de maquinação são apresentadas na Figura 22.

O centro de maquinação é uma máquina industrial controlada por computador através de um programa CNC, que permite a automatização e repetição das operações de maquinação e corte de forma precisa. É capaz de executar vários tipos de operações programadas como fresagem, furação ou corte. Neste caso, a empresa necessita de um centro de maquinação de trabalho de corte vertical com uma configuração de três eixos tradicionais (*X*, *Y* e *Z*), possuindo ainda mais um eixo rotativo.

Além deste centro de maquinação, a empresa necessita de uma máquina CNC de chapa, indicada para cortes e fissuras de metais não ferrosos, como aço de carbono, aço inoxidável, aço estrutural e muitas outras chapas de aço compostas por materiais metálicos.

O corte de chapa é feito e controlado por um computador através de um programa CNC que realiza cortes exatos em materiais com menor índice de flexibilidade proporcionando acabamentos de alta qualidade.



**Figura 22:** Equipamentos de maquinação: a) centro de maquinação; b) CNC de chapa.

### 3.3.4. Processo de colagem

O processo de colagem é um método de ligação muito eficiente, projetada para colar material de forma precisa. O seu objetivo é automatizar o processo de colagem, substituindo a aplicação de cola manual. Os sistemas de colagem permitem o aumento da produtividade e eficiência do processo. A empresa GHP360 utiliza a máquina de colagem desenvolvida para a aplicação de cola em materiais como chapas, madeira ou XPS (Figura 23).



**Figura 23:** Máquina para o processo de colagem na GHP360.

Além disso o seu sistema permite a aplicação de filmes e produtos de plástico adesivo sobre o material desejado. Esta máquina de colagem está dividida três estações, sendo elas o aquecimento do material, a aplicação da cola e a sua prensagem e pode trabalhar de forma totalmente automática e contínua.

A Tabela 1 apresenta uma análise comparativa da potencialidade das máquinas, na ótica da sua polivalência para a realização de diferentes processos, através de uma matriz de correspondência. Como se pode verificar, existem alguns processos com elevada especificidade, ou seja, só podem efetivamente ser executados nos respetivos equipamentos (e.g., colagem), enquanto que processos como o corte, podem ser realizados por diferentes equipamentos e em função do tipo de matéria-prima a cortar. A título exemplificativo, o corte de chapa pode ser realizado pela guilhotina hidráulica ou recorrendo à CNC de chapa. O conhecimento da relação existente entre os processos e os equipamentos, assim como da sequência das operações, contribui para a melhor organização do *layout*.

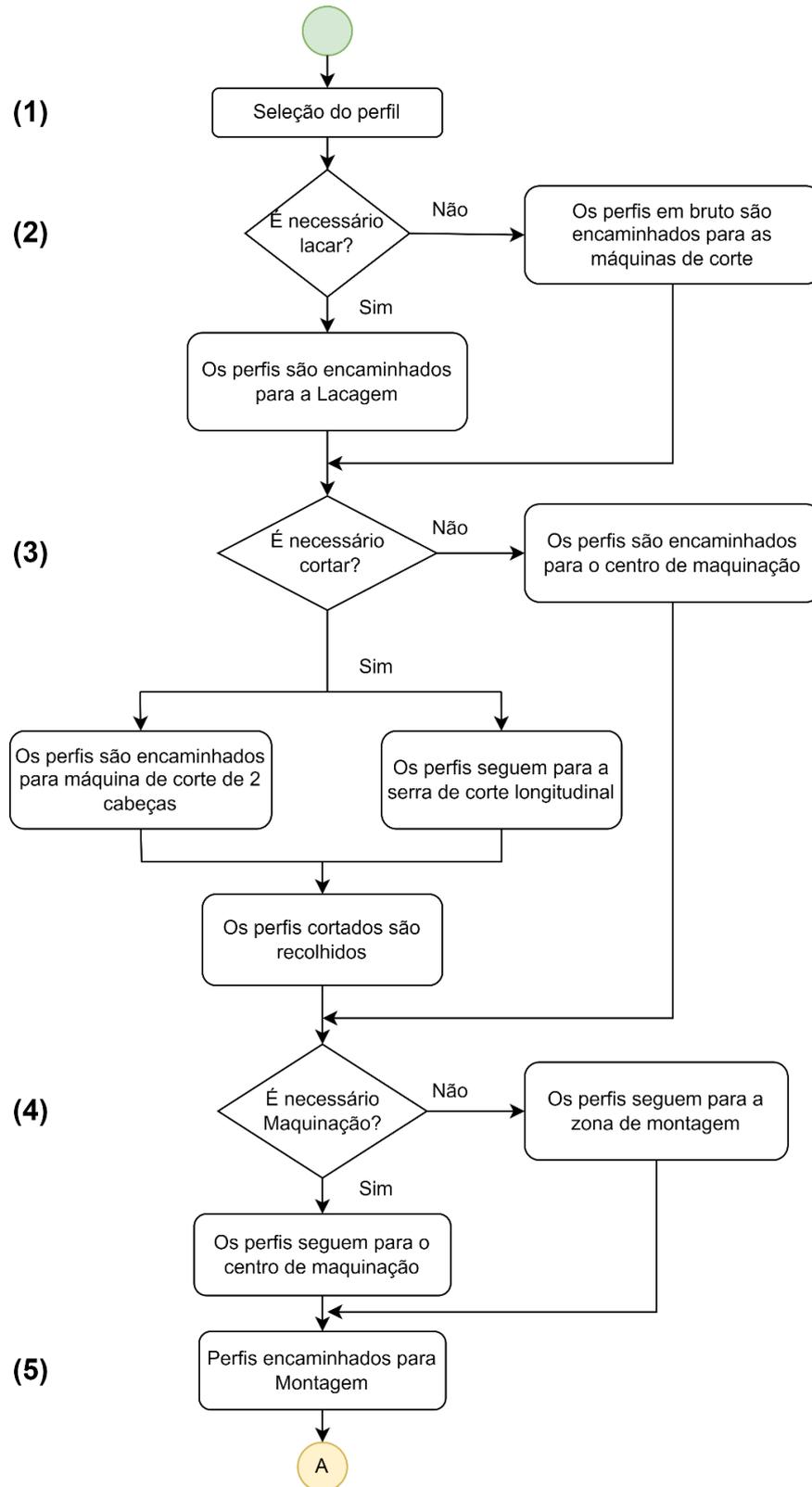
**Tabela 1:** Matriz de correspondência de processos e equipamentos

EQUIPAMENTOS	PROCESSOS						
	Lacagem	Corte de Chapa	Corte de perfil	Corte de XPS	Corte de painel	Maquinação	Colagem
Centro de maquinação	×	×	×	×	×	✓	×
Máquina de corte de 2 cabeças	×	×	✓	×	×	×	×
Serra de corte longitudinal	×	×	✓	×	×	×	×
Guilhotina hidráulica	×	✓	×	×	×	×	×
Serra mural	×	×	×	×	✓	×	×
CNC de chapa	×	✓	×	×	×	✓	×
Máquina de corte fio de quente	×	×	×	✓	×	×	×
Máquina de colagem	×	×	×	×	×	×	✓
Linha de lacagem	✓	×	×	×	×	×	×

### 3.4. Caracterização do fluxo produtivo

Identificados os produtos, processos produtivos, equipamentos e maquinaria a serem utilizados na empresa GHP360, é necessário identificar a sequência de operações do processo produtivo das gamas de produtos. Apesar da existência das quatro categorias de produtos, o fluxo produtivo é em tudo semelhante, existindo sobretudo a versatilidade de dimensões e cores de lacagem.

A caracterização do fluxo produtivo da empresa é baseada na manufatura de um produto da gama Packetbox, conforme diagramas da Figura 24 e da Figura 25. Ao longo do processo são numeradas as diferentes atividades (pontos de (1) a (12)).



**Figura 24:** Fluxo produtivo dos perfis de alumínio antes da montagem do produto.

Para produzir um PacketBox são necessários dois tipos de matéria-prima, perfis e painéis. O processo começa com a ida ao armazém de perfis (1). Dependendo do PacketBox, o perfil é colocado na lacagem (2) para a pintura com a cor pretendida, sendo que o perfil também pode não ter nenhuma cor (perfil em bruto).

Após essa análise do requisito de lacagem, os perfis passam para o processo seguinte. O perfil é encaminhado para a zona de corte (3) e é colocado ou na máquina de corte de 2 cabeças ou na serra longitudinal, de acordo com as dimensões do PacketBox pretendido. O passo seguinte corresponde à maquinação dos perfis (4). Neste processo, os perfis são colocados no centro de maquinação para sofrerem as alterações geométricas necessárias. Os perfis que não necessitem de maquinação, são encaminhados para a zona de montagem (5).

Como referido, no processo de fabrico de um PacketBox é necessária a produção de painéis. Para fazer um painel são necessários dois tipos de matérias-primas, placas de XPS e chapas de metal (Figura 25).

O processo de transformação da chapa inicia-se com a sua recolha do armazém (6). Se for necessário laca de uma determinada cor, as chapas são encaminhadas para a lacagem (7). Após a lacagem, é necessário verificar a necessidade de maquinação das chapas na CNC de chapa. Após a conclusão destes processos, as chapas são encaminhadas para a máquina de colagem (10).

No caso do XPS, após a sua recolha no armazém (8), se necessário, este é encaminhado para o processo de corte (9), sendo colocado na máquina de corte de fio quente. Decorrido este processo de corte, o XPS é encaminhado para a colagem (10).

Na máquina de colagem, é colada uma chapa de cada um dos lados do XPS, formando assim um painel.

Concluído o processo de colagem, e caso seja necessário o processo de corte (11), o painel segue para a zona de corte para a máquina serra mural. Por fim, o painel é então encaminhado para a zona de montagem (12). Na montagem são assemblados os perfis e os painéis para a configuração do produto, no caso, PacketBox.

Importa ainda salientar que a empresa pretende desenvolver a sua atividade considerando o princípio de produção por encomenda de forma a minimizar os *stocks* de matérias-primas e a necessidade de armazenamento de produto acabado.

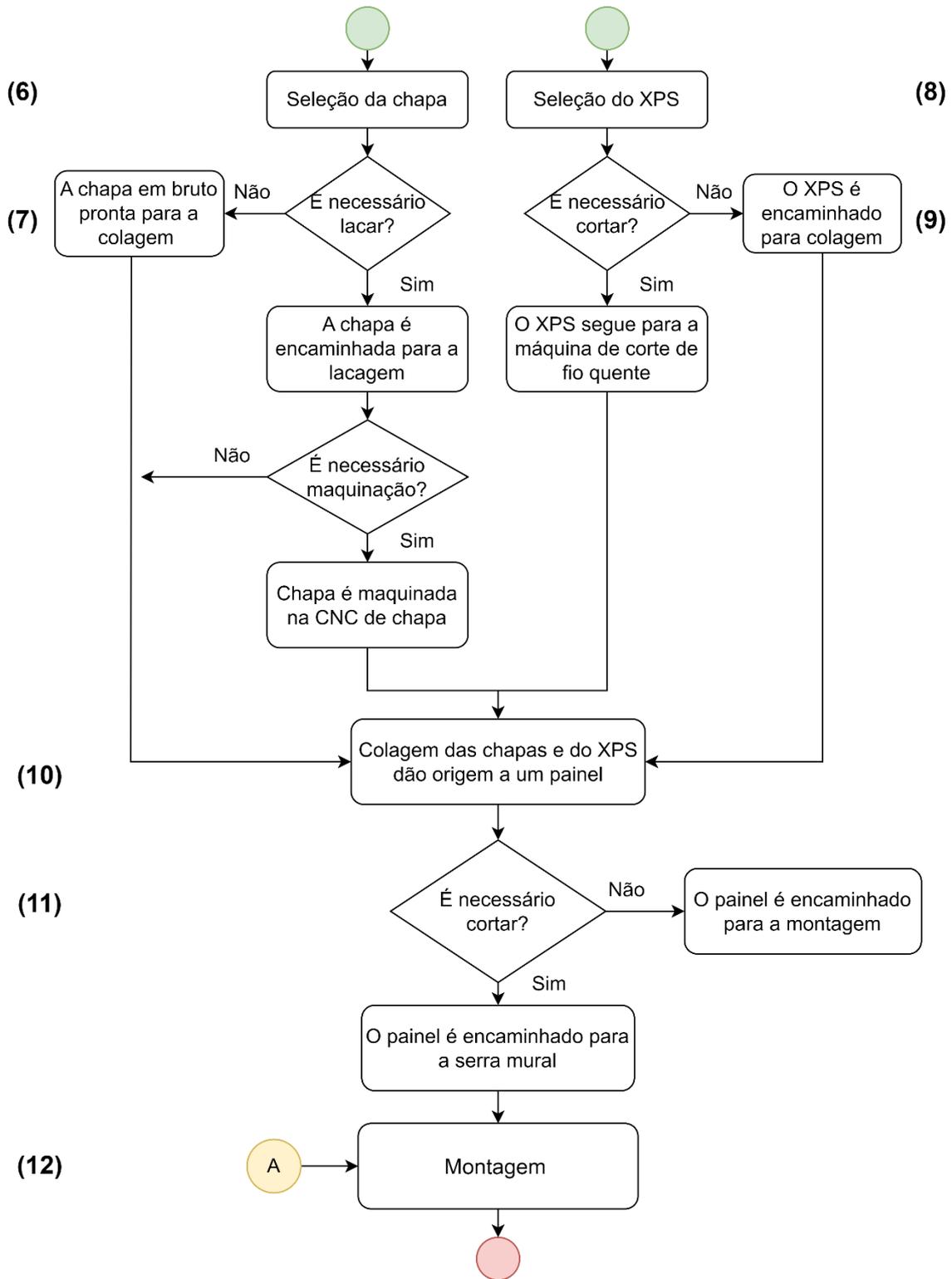


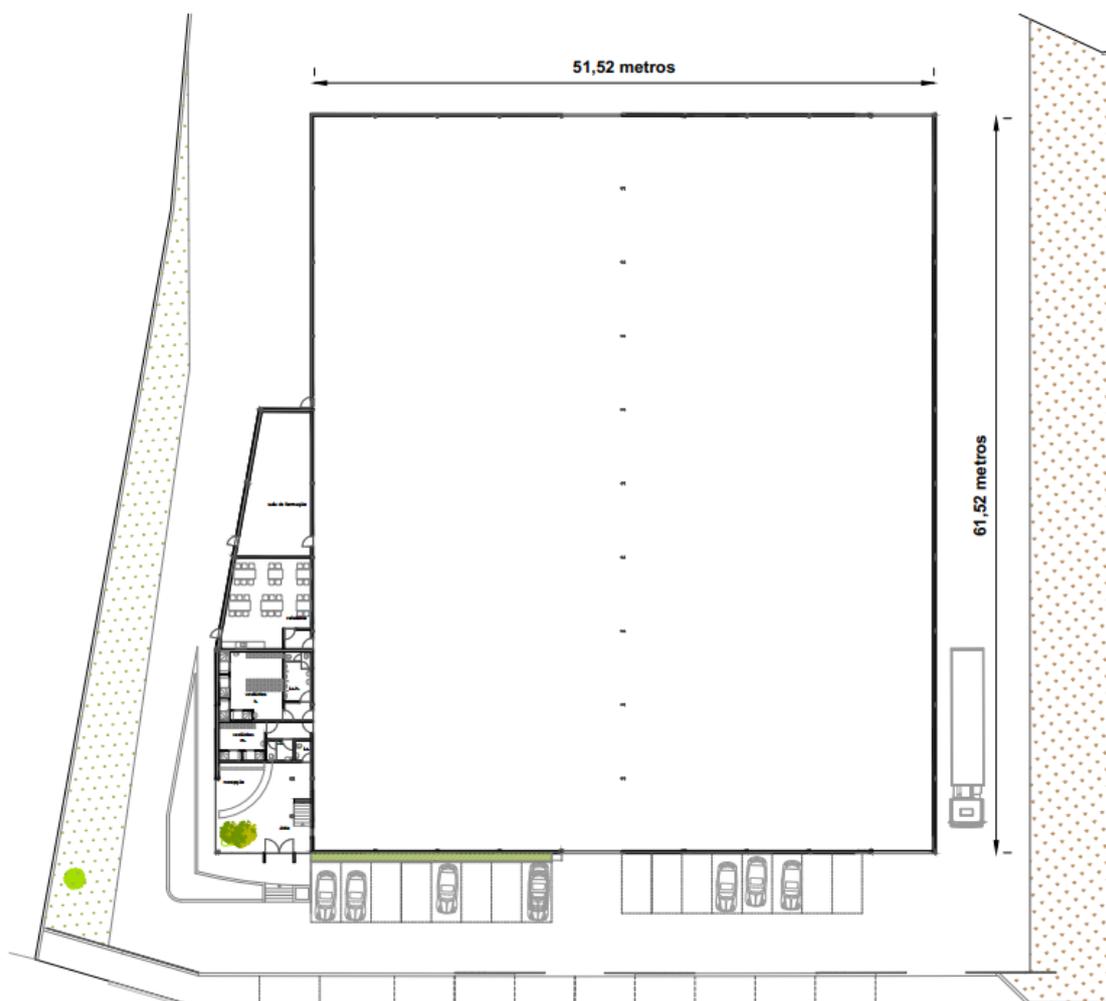
Figura 25: Fluxo produtivo das chapas de alumínio e do XPS para produção de painel.

## 4. Proposta de *layout* industrial

Neste capítulo apresenta-se o procedimento de construção e melhoria da proposta de *layout* industrial. Com base na análise da geometria e características da infraestrutura, identificam-se as restrições de instalação dos equipamentos e as considerações práticas a ter em conta para a aplicação dos métodos ALDEP e CRAFT. A organização do *layout* para a empresa GHP360, releva-se de grande importância pois é fundamental para maximizar a produtividade, reduzindo ao mínimo o desperdício de movimentações.

### 4.1. Caracterização da infraestrutura

A empresa GHP360 para o desenvolvimento da sua atividade económica construiu um pavilhão industrial com 3169,5 m<sup>2</sup> de área útil de produção, conforme apresentado pela planta da empresa encontra-se na Figura 26. As instalações contam ainda com áreas destinadas aos gabinetes dos departamentos administrativos e comerciais.



**Figura 26:** Pavilhão da empresa GHP360.

Trata-se de um *layout* de forma retangular, construído na perspetiva de *openspace* de forma a permitir uma maior adaptabilidade às necessidades de instalação de equipamentos e áreas produtivas. Existem dois pontos de acesso à infraestrutura, localizados em fachadas diferentes do edifício.

## **4.2. Requisitos para o design do *layout***

Para realizar a definição de proposta de *layout*, é importante estudar todas as considerações que condicionar a proposta de *layout* do projeto. Neste caso, deve-se averiguar todos os requisitos associados às infraestruturas e máquinas que fazem parte do processo produtivo.

### **4.2.1. Restrições ligadas à infraestrutura**

Para organizar o *layout* industrial da empresa GHP360 existem restrições ligadas à própria configuração e pré-instalações da infraestrutura:

- A localização das máquinas no *layout* deve ter em atenção se esta precisa de ter acesso a tomadas de pressão, pontos de fornecimento de energia, linhas de ar comprimido ou necessidade de ligação a sistemas de exaustão de fumos e poeiras;
- Ter em atenção as zonas de acesso à infraestrutura para definição da localização dos armazéns de matéria-prima e produto acabado para expedição. Neste caso específico, existem dois pontos de acesso à infraestrutura podendo ser considerado um fluxo de materiais direcionado, desde o ponto de descarga das matérias-primas até ao cais de carga de produto acabado para expedição, propondo assim uma organização de *layout* orientada à tipologia de *layout* por processo;
- Na definição dos locais destinados a zonas de armazém, além da proximidade aos acessos do pavilhão, deve-se ter em consideração a sua localização para eventual de uma ponte rolante para a movimentação dos perfis e chapas de alumínio;
- Para a localização da máquina de colagem é necessário ter em conta a necessidade de instalação de um sistema de exaustão na infraestrutura, permitindo a retirada de odores de substâncias químicas usadas na colagem do XPS e das chapas de metal para constituição do painel.
- No *layout* deve-se ter em atenção a separação de segurança relativamente às distâncias entre máquinas e respetivas áreas de trabalho de forma a que seja possível manusear as matérias-primas e *stocks* intermédios, minimizando acidentes de trabalho;

- Na identificação e definição de corredores de passagem no *layout*, deve ser tido em consideração as distâncias mínimas das vias de circulação (largura mínima de 0,90 metros para os corredores em empresas com 1 a 50 trabalhadores, de acordo com o artigo n.º 56.º do Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndios em Edifícios, aprovado pela Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro e art.º 4.º do anexo do mesmo regulamento).

#### 4.2.2. Restrições relacionadas com equipamentos

Na Tabela 2 estão indicadas as condicionantes para a definição de proposta de *layout* relacionadas com a disposição das máquinas e a respetiva funcionalidade.

**Tabela 2:** Pressupostos e/ou condicionantes das máquinas utilizadas no processo produtivo

<b>Máquina</b>	<b>Pressupostos e/ou Condicionantes</b>
<b>Centro de maquinação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar próximo de máquinas que tenham funções semelhantes e utilizem o mesmo tipo de material, como é o caso da máquina de corte de 2 cabeças.</li> <li>• Considerar área de trabalho, além da dimensão do equipamento para facilitar o manuseamento e a alimentação dos materiais a serem maquinados.</li> </ul>
<b>Máquina de corte de 2 cabeças</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar próximo da zona de armazém de perfis.</li> <li>• Estar próximo à zona de maquinação.</li> <li>• Estar o mais afastada possível da zona de lacagem, garantindo a não exposição a fumos e detritos de material (pó, aparas etc.).</li> </ul>
<b>Guilhotina hidráulica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar próximo do armazém de chapas.</li> <li>• Estar afastada da zona de escritórios devido a ruído e vibrações.</li> </ul>
<b>Serra mural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar o mais próximo possível da máquina de colagem.</li> <li>• Estar o mais afastado possível da zona de lacagem, garantindo a não exposição a fumos e detritos de material (pó, aparas etc.).</li> </ul>
<b>Máquina de corte de fio quente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar o mais próximo possível tanto do armazém de XPS como da máquina de colagem.</li> </ul>
<b>Máquina de colagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar localizada na sequência do processo de corte a fio quente e próxima à serra de mural.</li> <li>• Considerar área de trabalho para facilitar o manuseamento da chapa e do XPS.</li> </ul>

<b>Máquina</b>	<b>Pressupostos e/ou Condicionantes</b>
<b>Serra de corte longitudinal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar o mais afastada possível da zona de lacagem, garantindo a não exposição a fumos e detritos de material (pó, aparas etc.).</li> </ul>
<b>Lacagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Na lacagem, os perfis de alumínio dão entrada nas unidades de pintura onde as partículas de pó, carregadas de eletricidade estática, depositam-se nas superfícies dos perfis.</li> <li>• Depois de transportados para o forno de polimerização, a temperatura fará com que se crie uma camada homogénea, de lacagem, nos perfis. Desta forma o processo implica que a linha disponha de pré-tratamento, polimerização, e estufa de secagem.</li> <li>• A instalação da linha de lacagem deve ser definida num local fixo uma vez que ocupa uma grande área do espaço fabril.</li> </ul>
<b>CNC de chapa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estar o mais próximo possível tanto do armazém de chapa como da máquina de colagem.</li> <li>• Considerar área de trabalho, além da dimensão do equipamento para facilitar o manuseamento e a alimentação dos materiais a serem maquinados.</li> <li>• Estar o mais afastado possível da zona de lacagem, garantindo a não exposição a fumos e detritos de material (pó, aparas etc.).</li> </ul>

### **4.3. Definição da proposta de *layout***

Para a conceção de proposta de *layout* da empresa GHP360, foram tidas em consideração todas as informações acerca das máquinas e equipamentos produtivos necessárias à manufatura das diferentes gamas de produtos da empresa. Foram também analisadas as operações e processos ao nível da produção, identificando as restrições ligadas à infraestrutura e de localização das máquinas e equipamentos. Com base na informação recolhida, foi definido o diagrama REL e, conseqüentemente, aplicado o método ALDEP.

#### **4.3.1. Aplicação do diagrama REL**

Antes de aplicar o diagrama REL, foi necessário identificar as restantes áreas operacionais da empresa de suporte aos processos produtivos.

Uma vez que o pavilhão tem dois pontos de acesso na infraestrutura, optou-se por definir a zona de receção (entrada de materiais) e as zonas de expedição (saída de produto) em locais diferentes. Conjuntamente com a administração da empresa, fixaram-se as localizações destas duas zonas.

Foi considerada a necessidade de zonas de armazenamento, uma zona de receção e uma de expedição, assim como a zona para a montagem das diferentes gamas de produtos. Foi definida a mesma zona de armazém para as chapas de metal e para o XPS, uma vez que estas duas matérias-primas são usadas na produção dos painéis. Em relação aos perfis de alumínio, optou-se por estantes com cinco níveis de altura para o armazenamento, considerando que os perfis podem ser recolhidos de ambos os lados das estantes. A Tabela 3 sintetiza a informação dessas áreas fabris.

**Tabela 3:** Definição de zonas de carga, descarga, armazenamento e montagem

Zonas produtivas	Área (m <sup>2</sup> )	Considerações
Zona de receção	52	Zona de entrada de materiais
Zona de expedição	75	Zona de saída para expedição de produto
Armazém de Perfis	30	Zona com 3 estantes (5 m <sup>2</sup> ) com área de acesso e movimentação de ambos os lados
Armazém de Chapa e XPS	174	Colocação dos lotes recebidos no piso para armazenamento em altura
Zona de montagem	936	Zona para colocação de bancadas de trabalho com ferramentas e acessórios para montagem de produto acabado

O diagrama REL foi aplicado com o intuito de explicar as relações de adjacência entre as diferentes áreas operacionais da empresa. Deste modo, são identificadas as classificações atribuídas:

- Máquinas que processem o mesmo tipo de material tem uma atribuição entre ‘A’ e ‘E’. Por exemplo, o centro de maquinação e a máquina de corte de 2 cabeças tem uma classificação ‘A’ e uma classificação ‘E’ com a serra longitudinal, uma vez que os perfis depois de cortados por uma destas opções, podem requisitar maquinação.
- Operações sequenciais executadas em diferentes máquinas devem ter uma atribuição ‘A’ ou ‘E’. Por exemplo, depois do corte do XPS na máquina de corte de fio quente, o material segue para a máquina de colagem.

- Quando a matéria-prima sai de um armazém diretamente para uma máquina tem uma atribuição entre ‘A’ e ‘E’. Por exemplo, o material do armazém de chapa/XPS mais concretamente chapas, tanto podem seguir para a guilhotina hidráulica, como podem seguir para a CNC de chapa.
- Máquinas que ao serem utilizadas emitam gases e poeiras ou produzam aparas, devem ter localizações afetadas dos equipamentos onde esses detritos possam afetar outros processos, por isso podem ter uma atribuição entre ‘O’, ‘U’ e ‘X’. Por exemplo a CNC de chapa ou a máquina de corte de perfis deve estar o mais afastadas possível da lacagem.

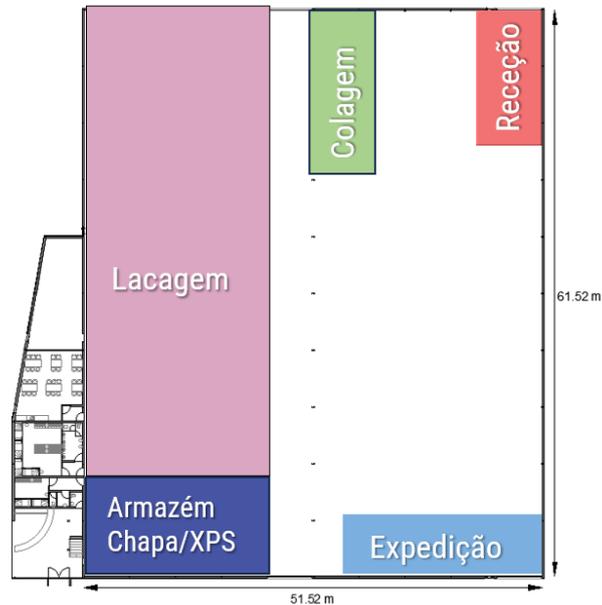
Com base nestes critérios e na análise empírica realizada com a administração da empresa, foi possível delinear o REL apresentado na Tabela 4. Ressalve-se que nesta análise não foram consideradas as zonas administrativas do pavilhão.

**Tabela 4:** Definição do REL

REL	Área (m <sup>2</sup> )	Centro de maquinação	Máquina de corte	Guilhotina hidráulica	Serra mural	CNC de chapa	Máquina de corte	Serra de corte longitudinal	Colagem	Lacagem	Armazém de chapa/XPS	Armazém de perfis	Montagem
Centro de maquinação	8	-											
Máquina de corte de 2 cabeças	8	A	-										
Guilhotina hidráulica	8	U	U	-									
Serra mural	6	U	U	A	-								
CNC de chapa	24	U	U	A	I	-							
Máquina de corte de fio quente	6	U	U	U	U	U	-						
Serra de corte longitudinal	2	E	A	U	I	U	U	-					
Colagem	180	U	U	E	X	X	A	U	-				
Lacagem	802	I	I	U	X	X	I	U	U	-			
Armazém de chapa/XPS	174	U	I	E	U	A	A	U	U	A	-		
Armazém de perfis	30	A	A	U	U	U	U	E	U	A	U	-	
Montagem	936	A	E	O	E	O	E	I	A	U	U	U	-

### 4.3.2. Aplicação do método ALDEP

De forma a poder aplicar o ALDEP, foram em primeiro lugar definidas as localizações das áreas operacionais que, pelas suas características tiveram de ser fixadas. Desta forma, foi considerada como fixa a localização da lacagem, colagem, armazém de chapa/XPS e as zonas de receção e de expedição (Figura 27).

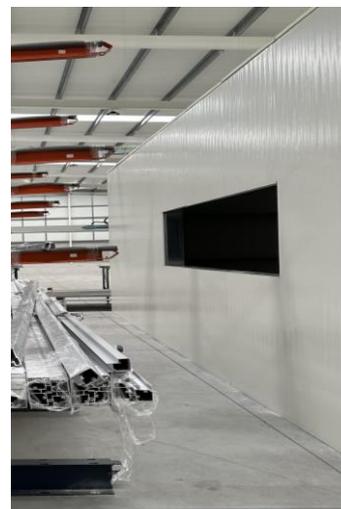


**Figura 27:** Identificação das áreas operacionais e processos com necessidade de localização fixa.

A localização da lacagem foi considerada como fixa, dada a necessidade de pré-instalação dos equipamentos e sistemas de suporte necessários ao processo (Figura 28.a). No caso da colagem, foi necessária a construção de uma estrutura que permitisse o isolamento do processo (Figura 28.b).



a)



b)

**Figura 28:** Fotos do pavilhão: a) instalação da lacagem; b) construção do isolamento da colagem.

No caso específico do armazém de chapa/XPS, esta localização foi considerada fixa a pedido da administração da empresa, com vista à melhor gestão possível do espaço, uma vez que a empresa prevê que, para além da manufatura das gamas de produtos identificada na secção 3.2 da dissertação, possa vir a prestar serviços a outras empresas por contratação, rentabilizando o investimento nos equipamentos adquiridos. Adicionalmente, segundo o diagrama REL, a lacagem e o armazém de chapa/XPS têm uma “medida de desejabilidade” de classificação ‘A’.

Com base no REL, no número de secções e na área estimada ocupada por cada uma delas, a primeira iteração do ALDEP é seleccionar aleatoriamente uma área operacional no canto superior esquerdo da geometria que delimita a área de implantação definida pelo utilizador. Todavia, dadas as inúmeras restrições do problema, optou-se por usar como referencial a área de lacagem (já fixada). Importa salientar que foi considerada a unidade de área base de 2 m<sup>2</sup> (área de ocupação do equipamento de menor dimensão, no caso, a serra de corte longitudinal), e uma largura de varrimento de 1.

Com base no REL, verificou-se que a colagem tem uma relação de “medida de desejabilidade” de classificação ‘A’ com o armazém de chapa/XPS e com o armazém de perfis. Considerando que a localização do armazém de chapa/XPS também tinha sido fixada, optou-se pela seleção de alocação deste no *layout*. O armazém de chapa/XPS tem uma relação de “medida de desejabilidade” de classificação ‘A’ com a máquina de fio de corte quente (corte do XPS).

Por sua vez, a máquina de fio de corte quente tem uma classificação de ‘A’ com a colagem. Foi também possível identificar uma “medida de desejabilidade” de ‘A’ entre a colagem e a montagem, entre a montagem e o centro de maquinação, entre o centro de maquinação e a máquina de corte de 2 cabeças, entre a máquina de corte de duas cabeças e o armazém de perfis, entre a serra de mural e a guilhotina, e entre a guilhotina e a CNC de chapa. Assim, foram apenas identificadas duas “medidas de desejabilidade” de classificação inferior – classificação de ‘E’ entre o armazém de perfis e a localização da serra de corte longitudinal e, ainda uma classificação ‘I’ entre a localização da serra de corte longitudinal e a serra mural.

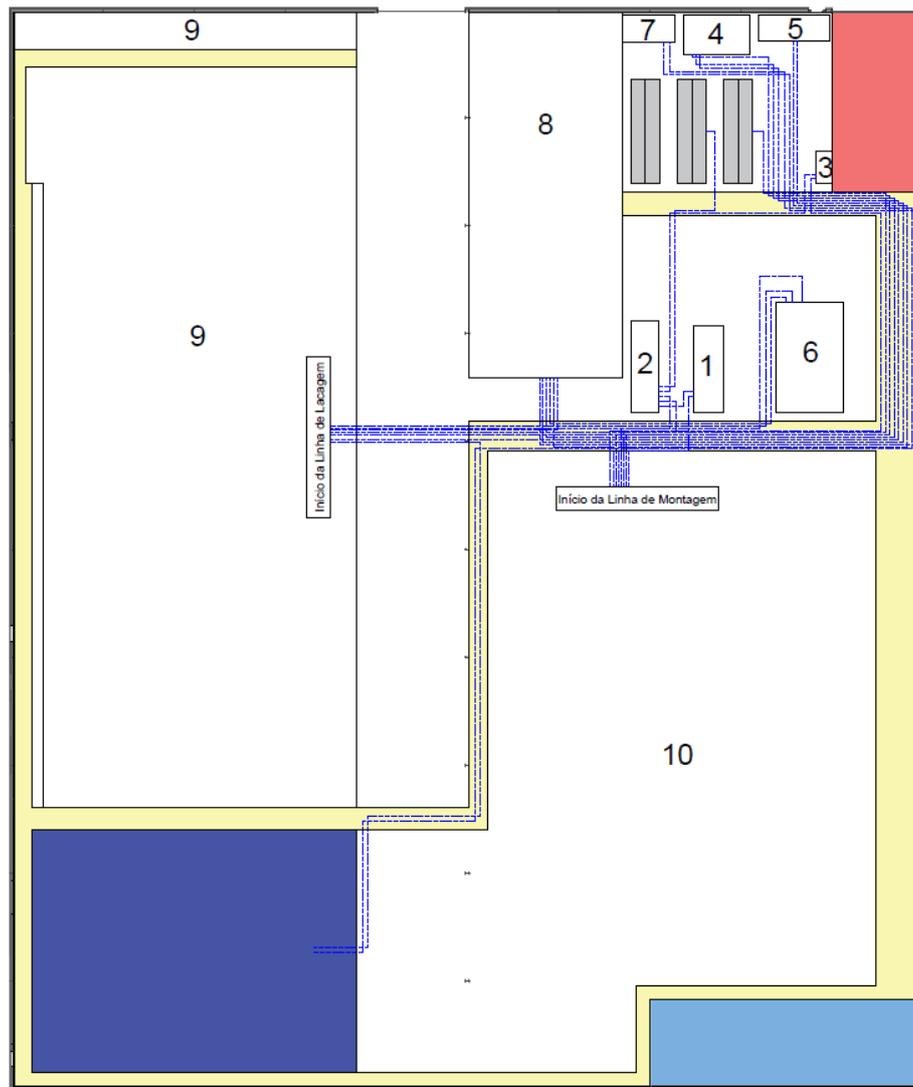
Considerando as restrições do problema do *layout* em estudo e as possíveis alternativas, foi obtida a solução apresentada na Tabela 4, com uma classificação total de 596 pontos. Apenas em duas avaliações do método não foi possível atribuir a máxima classificação.

**Tabela 5:** Solução do método ALDEP

Área operacional		Área operacional	Classificação	Pontos
Lacagem	◆	Armazém de chapa/XPS	A	64
Armazém de chapa/XPS	◆	Máquina de corte de fio quente	A	64
Máquina de corte de fio quente	◆	Colagem	A	64
Colagem	◆	Montagem	A	64
Montagem	◆	Centro de maquinação	A	64
Centro de maquinação	◆	Máquina de corte de 2 cabeças	A	64
Máquina de corte de 2 cabeças	◆	Armazém de perfis	A	64
Armazém de perfis	◆	Serra de corte longitudinal	E	16
Serra de corte longitudinal	◆	Serra mural	I	4
Serra mural	◆	Guilhotina hidráulica	A	64
Guilhotina hidráulica	◆	CNC de chapa	A	64
<b>Pontuação total</b>				<b>596</b>

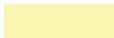
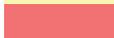
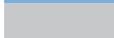
Com base na solução do método ALDEP e nas considerações previamente definidas, foi elaborada a proposta de *layout* da Figura 29. Como se pode verificar, neste *layout* foi possível respeitar as áreas de ocupação e respeitar o requisito de proximidade entre as máquinas que processam o mesmo tipo de material, nomeadamente, o centro de maquinação (1) e a máquina de corte de 2 cabeças (2). O armazém de perfis (3 estantes coloridas a cinza) está próximo da serra de corte longitudinal (3), respeitando assim o fluxo produtivo. Os equipamentos de corte de perfis (2 e 3) e o CNC de chapa (6) foram colocados perto da parede para facilitar o acesso à linha de ar comprimido. O CNC de chapa (6) e a serra de mural (5), por causa dos detritos, estão distanciadas da linha de lacagem (9). Por causa da localização da zona de armazém de chapa/XPS ter sido fixada, e da elevada área ocupada pela zona de montagem, não foi possível localizar de forma mais próxima a guilhotina hidráulica (4) e o CNC de chapa mais próximas ao armazém de chapa/XPS. A máquina de corte de fio quente, está localizada ao lado da colagem (8), respeitando a aplicação do ALDEP. Todavia, uma vez que a colagem se encontra isolada, este fluxo de movimentação implica percorrer a distância necessária até à entrada da colagem (linhas a tracejado assinaladas na Figura 29).

Com vista à melhor avaliação desta proposta de *layout*, foram identificados os possíveis fluxos de circulação no chão-de-fabrica de acordo com o mapeamento do fluxo produtivo. As movimentações são apresentadas também na Figura 29 (traçado em cor azul).



Legenda:

- 1 Centro de maquinação
- 2 Máquina de Corte de 2 cabeças
- 3 Serra de corte longitudinal
- 4 Guilhotina hidráulica
- 5 Serra mural
- 6 CNC de chapa
- 7 Máquina de corte fio quente
- 8 Colagem
- 9 Lacagem
- 10 Montagem

-  Corredores de Passagem
-  Zona de Entrada
-  Zona de Saída
-  Armazém de Perfis
-  Armazém de Chapa e XPS

**Figura 29:** Proposta de *layout* inicial com base no método ALDEP e restrições operacionais.

### 4.3.3. Avaliação da proposta de *layout* inicial

Para avaliar a proposta de *layout*, foi efetuada a determinação do custo total dos fluxos de movimentação. Para determinar este custo avaliaram-se os três parâmetros de custo: a distância entre as diferentes áreas operacionais, a existência de fluxos de materiais entre elas e o custo unitário de transporte por unidade de fluxo e por unidade de distância percorrida.

Inicialmente foi definida a matriz “De-para” (Tabela 6), identificando os fluxos entre as diferentes áreas operacionais. A matriz triangular superior identifica assim entre que máquinas/áreas operacionais existência fluxos de movimentação de materiais (valor 1) Neste processo também se identificou o tipo de transporte que pode ser considerado.

**Tabela 6:** Matriz “De-Para” com a identificação dos meios usados para o transporte

“De-Para”	Centro de maquinação	Máquina de corte de 2 cabeças	Guilhotina hidráulica	Serra mural	CNC de chapa	Máquina de corte de fio quente	Serra de corte longitudinal	Colagem	Lacagem	Armazém de chapa/XPS	Armazém de perfis	Montagem
Centro de maquinação	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Máquina de corte de 2 cabeças		0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
Guilhotina hidráulica			0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
Serra mural				0	0	0	0	1	0	0	0	1
CNC de chapa					0	0	0	1	1	0	0	1
Máquina de corte de fio quente						0	0	1	0	1	0	0
Serra de corte longitudinal							0	0	0	0	1	1
Colagem								0	1	0	0	1
Lacagem									0	1	1	1
Armazém de chapa/XPS										0	0	0
Armazém de perfis											0	0
Montagem												0

Legenda:

	Empilhador		Transporte manual		Transporte carrinho
--	------------	--	-------------------	--	---------------------

A segunda matriz determinada é a de distâncias percorridas. Para determinar estas distâncias, foi necessário determinar os centroides das diferentes áreas ocupadas por cada uma das máquinas/áreas operacionais (consultar Apêndice 1), em relação ao referencial de cota nula no design do *layout* da Figura 29. Para o cálculo das distâncias percorridas, optou-se pelo cálculo da distância Euclidiana ( $\sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$ ), conforme apresentado na Tabela 7.

**Tabela 7:** Matriz das distâncias Euclidiana entre as diferentes áreas operacionais

<b>Matriz de distâncias (metros)</b>	Centro de maquinação	Máquina de corte de 2 cabeças	Guilhotina hidráulica	Serra mural	CNC de chapa	Máquina de corte de fio quente	Serra de corte longitudinal	Colagem	Lacagem	Armazém de chapa/XPS	Armazém de perfis	Montagem
Centro de maquinação	0	4	19	20	6	19	13	13	31	47	13	23
Máquina de corte de 2 cabeças		0	19	21	10	19	15	10	27	45	13	23
Guilhotina hidráulica			0	5	19	3	10	15	38	62	6	42
Serra mural				0	18	8	8	19	42	65	8	42
CNC de chapa					0	20	10	17	37	52	14	25
Máquina de corte de fio quente						0	12	13	36	61	6	42
Serra de corte longitudinal							0	16	40	60	7	35
Colagem								0	24	48	10	32
Lacagem									0	31	34	36
Armazém de chapa/XPS										0	57	57
Armazém de perfis											0	36
Montagem												0

Para a determinação do terceiro fator, o custo unitário de transporte por unidade de fluxo e por unidade de distância, foram apurados os custos em função do tipo de transporte realizado: transporte recorrendo a um empilhador, transporte manual e transporte recorrendo a carrinho de transporte. Foi apenas identificado um único fluxo de movimentação com recurso a empilhador, o transporte de placas de XPS entre o respetivo armazém e a máquina de corte de fio quente. Para este fluxo foi assumido que o transporte é efetuado com empilhador a gás, com um consumo de 2,5 kg/hora.

Para a determinação do custo unitário associado a este tipo de transporte, determinou-se a velocidade média do empilhador na movimentação de cargas (50 metros por minuto), o custo do combustível consumido (no caso, propano com um custo de 6 €/kg). Para o transporte com empilhador, além do consumo do equipamento, foi contabilizada a remuneração de dois colaboradores (condutor do empilhador e colaborador para colocação dos materiais). No transporte manual e no transporte com recurso ao carrinho (Figura 30), também foram considerados dois trabalhadores para o transporte e manuseamento dos materiais. Para esta estimativa assumiu-se a remuneração correspondente ao salário mínimo nacional em Portugal, 760 € da atualização em 2023, 22 dias úteis de laboração em turnos de 8 horas. Este fator representa um custo homem-hora de 5.04 €/hora. Para a determinação do custo de movimentação dos colaboradores, foi considerada uma velocidade de passada humana de 90 metros por minuto.

Dada a configuração das estantes para armazenamento dos perfis de alumínio (Figura 31) e a sua proximidade às máquinas, o transporte pode ser realizado manualmente por dois colaboradores, não sendo necessário nenhum meio de transporte.



**Figura 30:** Carrinho de auxílio ao transporte manual



**Figura 31:** Configuração das estantes de armazenamento dos perfis.

Com a determinação destes parâmetros, foi determinada a matriz de custos por fluxo de movimentação, considerando a distância percorrida (Tabela 8). Para efeitos de cálculo, a distância foi multiplicada por um fator de dois de forma a considerar movimentos ida e volta. Importa salientar que os cálculos foram realizados em MS Excel.

**Tabela 8:** Matriz de custos por fluxo de movimento (valores em Euro cêntimos)

<b>Matriz de custos por fluxo de movimento (Euro cêntimos)</b>	Centro de maquinação	Máquina de corte de 2 cabeças	Guilhotina hidráulica	Serra mural	CNC de chapa	Máquina de corte de fio quente	Serra de corte longitudinal	Colagem	Lacagem	Armazém de chapa/XPS	Armazém de perfis	Montagem
Centro de maquinação	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Máquina de corte de 2 cabeças		0	0	0	0	0	11	0	20	0	0	17
Guilhotina hidráulica			0	0	14	0	0	11	28	0	0	31
Serra mural				0	0	0	0	14	0	0	0	31
CNC de chapa					0	0	0	13	27	0	0	18
Máquina de corte de fio quente						0	0	9	0	105	0	0
Serra de corte longitudinal							0	0	0	0	0	25
Colagem								0	17	0	0	23
Lacagem									0	23	25	26
Armazém de chapa/XPS										0	0	0
Armazém de perfis											0	0
Montagem												0

O custo total dos fluxos de movimentação da proposta de *layout* foi obtido através da multiplicação das três matrizes. Com base nos cálculos efetuados, apurou-se que o custo total dos fluxos de movimentação da proposta de *layout* corresponde a 5,08 €, por unidade de produto fabricada na empresa. Uma vez que a empresa pretende aplicar a estratégia de produção por lote, assumindo lotes mínimos de fabrico de 20 unidades, pode-se concluir que o custo total dos fluxos de movimento por lote de produção corresponde a 101,55 €.

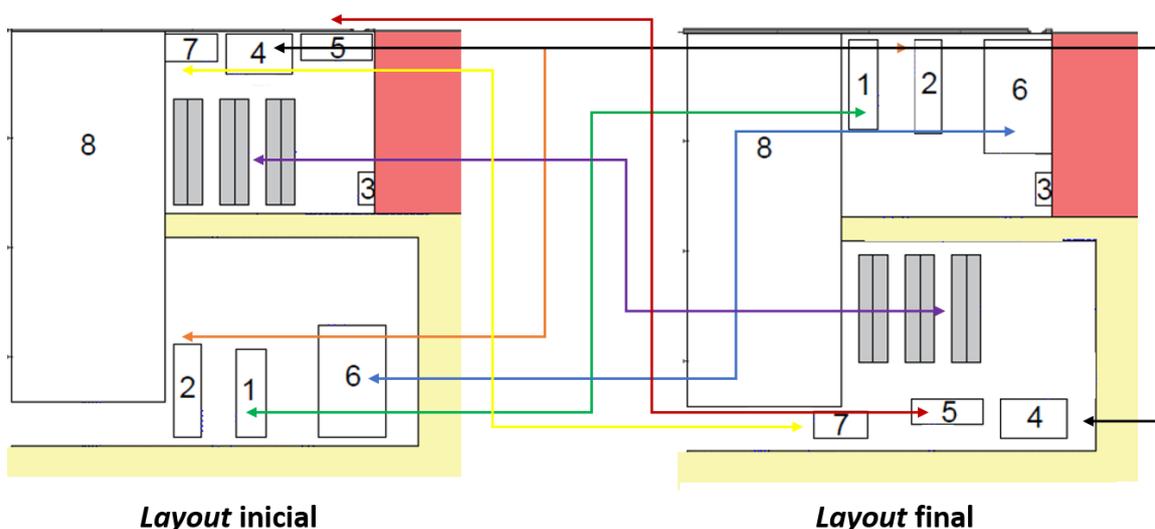
#### 4.3.3. Melhoria do *layout* pela aplicação do CRAFT

Como já referido, o CRAFT corresponde a uma heurística de melhoria de *layouts* que pode utilizar a solução obtida pelo método ALDEP, influenciado significativamente a probabilidade de melhoria. Neste procedimento avaliam-se todas as permutas admissíveis entre pares de áreas operacionais, retendo a implantação correspondente à permuta que produziu a maior diminuição do valor da função objetivo, neste caso a minimização do custo total dos fluxos de movimentação.

Tendo por base algumas considerações práticas, neste processo de avaliação foram excluídas permutas com as áreas de lacagem, colagem e a montagem. Desta forma, foram testadas as permutas correspondentes a:

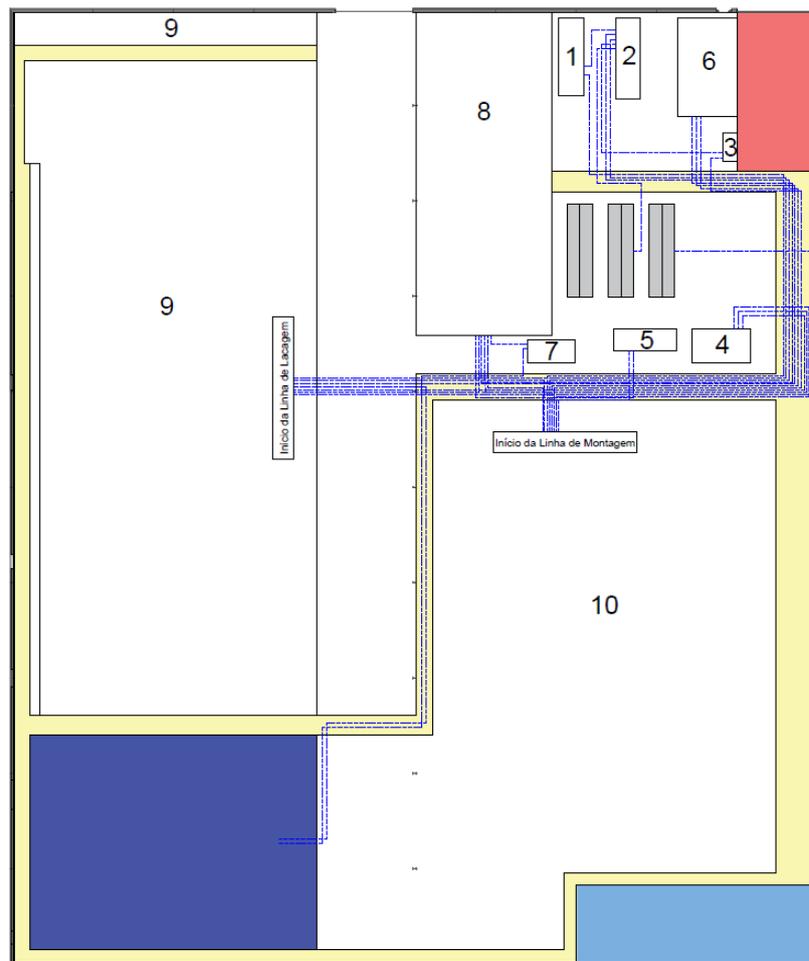
- Centro de maquinação (1);
- Máquina de corte de 2 cabeças (2);
- Guilhotina hidráulica (4);
- Serra mural (5);
- CNC de chapa (6);
- Máquina de corte fio quente (7);
- Armazém de perfis.

Note-se que, para uma troca entre duas secções ser admissível, é necessário que as secções sejam adjacentes ou que tenham a mesma área (neste caso, áreas aproximadas). Considerando a sequência operacional, a principal permuta foi efetuada alterando o conjunto do centro de maquinação e da máquina de corte de 2 cabeças (máquinas 1 e 2) com o grupo guilhotina hidráulica, serra mural e máquina de corte fio quente (máquinas 7, 4, 5). O CNC de chapa (6) foi também reposicionado, dada a necessidade de permutar a localização da máquina de corte de fio quente para reduzir as distâncias percorridas até à entrada da colagem (Figura 32). Importa salientar que, apesar de este estudo se basear nos princípios da heurística do CRAFT, não foram testadas todas as combinações possíveis de permuta de máquinas, dadas as condicionantes de operação das máquinas, o que pode representar uma limitação da melhoria do *layout*.



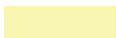
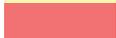
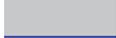
**Figura 32:** Detalhe das permutas das máquinas e áreas operacionais no processo de melhoria do *layout*.

Considerando as trocas efetuadas, foi recalculado custo total dos fluxos de movimentação da proposta de *layout* final apresentada na Figura 33.



Legenda:

- 1 Centro de maquinação
- 2 Máquina de Corte de 2 cabeças
- 3 Serra de corte longitudinal
- 4 Guilhotina hidráulica
- 5 Serra mural
- 6 CNC de chapa
- 7 Máquina de corte fio quente
- 8 Colagem
- 9 Lacagem
- 10 Montagem

-  Corredores de Passagem
-  Zona de Entrada
-  Zona de Saída
-  Armazém de Perfis
-  Armazém de Chapa e XPS

**Figura 33:** Proposta de *layout* final com base no método ALDEP e heurística CRAFT.

As alterações promovidas na proposta de *layout* resultam numa alteração da matriz de distâncias (Tabela 9) e na matriz de custos por fluxo de movimento (Tabela 10), uma vez que a matriz “De-Para” não sofre alterações.

Para o caso da matriz de distâncias, foi necessário recalcular os centroides de localização de cada uma das máquinas e áreas operacionais após as permutas efetuadas (consultar Apêndice 2). Como se pode verificar na matriz, as permutas efetuadas afetam as distâncias percorridas de diversos fluxos de movimentação, resultando na redução de distâncias em alguns dos casos (assinalados a verde) e no aumento de outros (assinalado a vermelho).

**Tabela 9:** Reformulação da matriz das distâncias para a proposta de *layout* final

<b>Matriz de distâncias (metros)</b>	Centro de maquinação	Máquina de corte de 2 cabeças	Guilhotina hidráulica	Serra mural	CNC de chapa	Máquina de corte de fio quente	Serra de corte longitudinal	Colagem	Lacagem	Armazém de chapa/XPS	Armazém de perfis	Montagem
Centro de maquinação	0	3	21	19	9	19	13	8	31	56	13	38
Máquina de corte de 2 cabeças		0	20	18	6	19	10	10	33	57	12	38
Guilhotina hidráulica			0	5	18	9	15	18	35	48	9	20
Serra mural				0	17	4	16	14	30	45	6	20
CNC de chapa					0	20	4	14	38	60	12	37
Máquina de corte de fio quente						0	19	13	26	41	8	19
Serra de corte longitudinal							0	16	40	60	11	35
Colagem								0	24	48	9	32
Lacagem									0	31	30	36
Armazém de chapa/XPS										0	48	48
Armazém de perfis											0	26
Montagem												0

Por consequência, a matriz de custos por fluxo de movimento para a proposta de *layout* final sofreu alteração dos seus valores. Com base nos cálculos efetuados, apurou-se que o custo total dos fluxos de movimentação da proposta de *layout* final corresponde a 4,66 €, por unidade de produto fabricada na empresa.

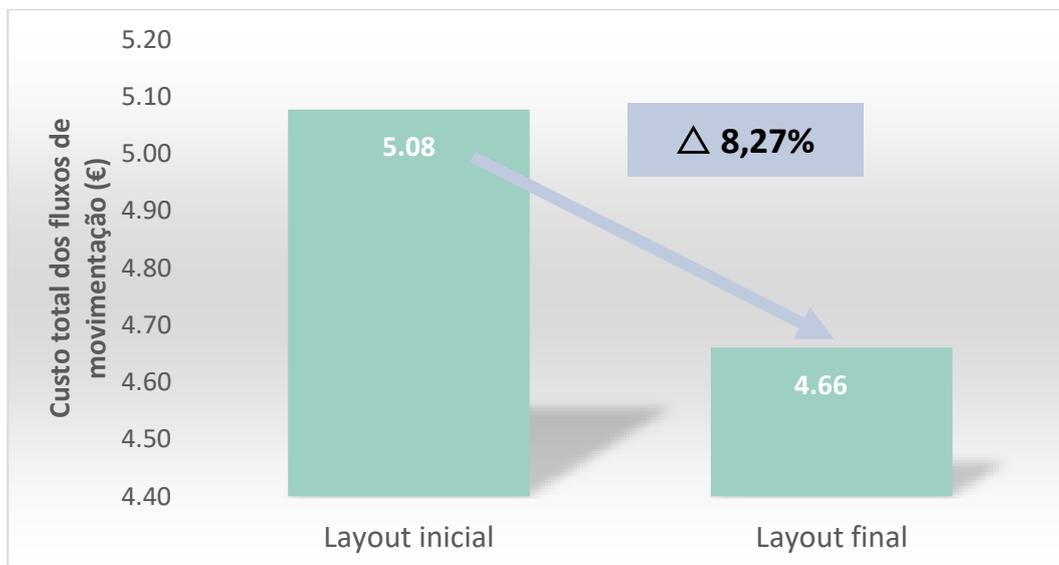
Para esta proposta melhorada, e assumindo lotes mínimos de fabrico de 20 unidades, o custo total dos fluxos de movimento por lote de produção corresponde a 93,21 €.

**Tabela 10:** Matriz de custos por fluxo de movimento para a proposta de *layout* final (valores são apresentados em Euro cêntimos)

<b>Matriz de custos por fluxo de movimento (Euro cêntimos)</b>	Centro de maquinação	Máquina de corte de 2 cabeças	Guilhotina hidráulica	Serra mural	CNC de chapa	Máquina de corte de fio quente	Serra de corte longitudinal	Colagem	Lacagem	Armazém de chapa/XPS	Armazém de perfis	Montagem
Centro de maquinação	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
Máquina de corte de 2 cabeças		0	0	0	0	0	7	0	24	0	9	28
Guilhotina hidráulica			0	0	13	0	0	13	25	0	0	14
Serra mural				0	0	0	0	10	0	0	0	15
CNC de chapa					0	0	0	10	28	0	0	27
Máquina de corte de fio quente						0	0	9	0	71	0	0
Serra de corte longitudinal							0	0	0	0	8	25
Colagem								0	17	0	0	23
Lacagem									0	23	22	26
Armazém de chapa/XPS										0	0	0
Armazém de perfis											0	0
Montagem												0

A melhoria da proposta de *layout* corresponde desta forma a uma redução de 8,27% comparativamente com a solução inicial do método ALDEP (Figura 34). Apesar da relativa simplicidade das heurísticas aplicadas, no contexto do problema em estudo, são inúmeros os fatores que influenciam a definição de uma boa proposta de *layout*, além das distâncias entre as máquinas no decorrer do fluxo produtivo. O tipo de matéria-prima a ser utilizada e a localização dos seus armazéns, as restrições operacionais dos diferentes equipamentos, nomeadamente os tempos de ciclo produtivos podem resultar na necessidade de locais para acomodação de WIP, ainda não contabilizados nesta fase do projeto industrial. A razão pela qual estas necessidades ainda não são contabilizadas prende-se com o objetivo de produção assente no princípio de *one-piece-flow*.

Outro aspeto relevante a considerar com a proposta de *layout* melhorada, é que a permuta de localização de algumas máquinas, permite uma melhor gestão de espaço nas imediações das máquinas e das próprias estantes de armazenamento de perfis.



**Figura 34:** Comparação dos custos totais dos fluxos de movimentação por produto fabricado para a proposta de *layout* inicial e *layout* final.

Tendo em conta os resultados obtidos, o *layout* melhorado permite minimizar o custo total de movimentações relativamente à solução inicial. Este facto contribui para a melhoria do fluxo produtivo, pois as máquinas estão melhor posicionadas, sendo possível reduzir tempos de movimentação, evitar atrasos de produção e contribuir positivamente para a produtividade da empresa. Por fim, haverá uma redução de custos e desperdícios pois minimizará a movimentação excessiva de materiais e melhorará a gestão do espaço de armazenamento.

## 5. Conclusões

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões da realização da dissertação. Não obstante terem sido atingidos os principais objetivos, o desenvolvimento do trabalho esteve sujeito a algumas limitações que são igualmente identificadas neste capítulo.

### 5.1. Principais conclusões

A dissertação teve como principal foco o estudo e análise de uma proposta de *layout* para um projeto empresarial no setor de manufatura metalomecânica, a empresa GHP360. Esta nova empresa tem como objetivo de produção a manufatura de diferentes de artigos de utilização para casa e jardim, fabricados com perfis de alumínio e painéis de XPS. Foram identificados quatro gamas de produtos (Packetbox, Climabox, Bikebox e o Garbagebox). O processo produtivo de qualquer uma das gamas é bastante semelhante, havendo sobretudo diferenças em termos de cor de lacagem selecionada, dimensões e configurações geométricas. Para a sua produção, a empresa teve de realizar um investimento em máquinas e equipamentos para o processo de lacagem, corte, maquinação e colagem. Alguns processos possuem uma elevada especificidade, ou seja, só podem ser executados por uma única máquina ou equipamento, como é o caso da colagem. Todavia, processos como o corte, podem ser realizados por diferentes equipamentos e em função do tipo de matéria-prima a cortar. Os perfis de alumínio podem ser cortados pela máquina de corte de 2 cabeças e pela serra longitudinal, enquanto que as placas de XPS só podem ser cortadas pela máquina de corte de fio quente.

Desta forma, para identificar os principais critérios que condicionam a definição do *layout*, efetuou-se o mapeamento do fluxo produtivo para um produto da gama Packetbox. Além da identificação do fluxo produtivo, foram identificadas as principais características dos equipamentos, nomeadamente, as áreas ocupadas, e restrições operacionais, tais como, as necessidades de pré-instalação de sistemas de suporte ao funcionamento das máquinas.

Com o levantamento e análise desta informação, foi possível identificar os requisitos para a definição da proposta de *layout*, considerando as alternativas de organização e distribuição dos equipamentos, de forma a minimizar os custos dos fluxos de movimentação. A empresa tem por objetivo assentar a sua estratégia de produção na produção de pequenos lotes por encomenda.

A empresa GHP360 para o desenvolvimento da sua atividade económica construiu um pavilhão industrial com 3169,5 m<sup>2</sup> de área útil de produção, tendo sido identificadas 12 áreas operacionais, incluindo duas principais zonas de armazenagem, o armazém de chapa/XPS e o armazém de perfis. No processo de design da proposta de *layout*, foi necessário considerar como fixa a localização da linha de lacagem, o processo de colagem e o armazém de chapa/XPS. Estas restrições foram consideradas na aplicação da classificação REL para a aplicação do método de construção de *layouts*, o método ALDEP. Com a proposta de *layout* inicial, foi possível determinar o custo total de movimentação de 5,08 €. Assim, assumindo lotes mínimos de fabrico de 20 unidades, o custo total dos fluxos de movimento por lote de produção corresponde a 101,55 €.

Com base nesta solução foram aplicados os princípios da heurística CRAFT de forma a testar permutas de localização de diferentes máquinas ou áreas operacionais com áreas de ocupação semelhantes. Com estas alterações, a proposta de *layout* foi reformulada resultando numa redução do custo total dos fluxos de movimentação de 8,27%.

A definição de uma proposta de *layout* adequada depende das distâncias entre localização de áreas operacionais que por sua vez dependem do fluxo produtivo. O tipo de matéria-prima a ser utilizada e a localização dos seus armazéns, assim como os tempos de ciclo produtivos podem resultar na necessidade de locais para acomodação de WIP, o que condiciona a gestão do *layout*. Assim, a minimização do custo total dos fluxos de movimento contribui para reduzir tempos de movimentação, evitar atrasos de produção e para a melhoria da produtividade da empresa.

## **5.2. Limitações e desafios do projeto**

A elaboração da presente dissertação trouxe alguns desafios durante a sua concretização. A primeira limitação a referir relaciona-se com a falta de informação sobre algumas das máquinas e equipamentos integrantes do sistema produtivo. Como foi mencionado, a GHP360 é um novo projeto empresarial e o levantamento da informação foi sendo obtido à medida que os equipamentos foram sendo adquiridos e, conseqüentemente, conhecidas as restrições ligadas à infraestrutura e as restrições relacionadas com equipamentos e maquinaria.

A segunda principal limitação está relacionada com a dificuldade de aplicação dos métodos de construção e melhoria de *layouts*, nomeadamente o CRAFT, uma vez que as zonas operacionais têm áreas muito distintas, não existindo a possibilidade de testar muitas combinações de melhoria por permuta direta. Nesse sentido, para superar esta limitação sugere-se a aplicação e implementação de outros métodos de construção e melhoria de *layouts* com vista à sua otimização.

## Referências bibliográficas

- Agarwal, G. K. (1997). *Production and Operations Management, Prentice Hall of India.*
- Ali Naqvi, S. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1), 1207296. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Besbes, M., Zolghadri, M., & Affonso, R. C. (2021). A method to solve 2D Facility Layout Problem with equipment inputs/outputs constraints using meta-heuristics algorithms. *Procedia CIRP*, 104, 1698–1703. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.286>
- Ciosaki, L. M. (1999). *Gerenciamento visual da produção e trabalho em grupos: ferramentas do sistema just in time aplicadas simultaneamente em uma indústria de calçado.* Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Corrêa, H. L., & Corrêa, C. A. (2009). *Administração de Produção e Operações.*
- Coutinho, C. P., Sousa, A., Dias, A., Bessa, F., Ferreira, M. J., & Vieira, S. (2009). *Investigação - Acção: Metodologia Preferencial nas Práticas Educativas. Psicologia, Educação e Cultura.*
- Dahlgaard, J. J., & Dahlgaard-Park, S. M. (2006). Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *TQM Magazine*, 18(3), 263–281. <https://doi.org/10.1108/09544780610659998>
- Deshpande, V., & Chopade, I. (2005). Facility Layout Design by CRAFT Technique. *Proceedings of COMPUTIME: National Conference on Computational Methods in Mechanical Engineering*, 108–113.
- Deshpande, V., Patil, M., Baviskar, V., & Ganghi, J. (2016). Plant Layout Optimization using CRAFT and ALDEP Methodology. *Productivity Journal By*, 57(1), 32–42.
- Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Sousa, R. M. (2014). Moving from job-shop to production cells without losing flexibility: A case study from the wooden frames industry. *South African Journal of Industrial Engineering*, 25(3), 212–225.
- Dinis-Carvalho, J., Moreira, F., Bragança, S., Costa, E., Alves, A., & Sousa, R. (2015). Waste identification diagrams. *Production Planning and Control*, 26(3), 235–247. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.891059>

- Djassemi, M. (2005). A simulation analysis of factors influencing the flexibility of cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, 43(10), 2101–2111. <https://doi.org/10.1080/00207540412331329176>
- Eaidgah Torghabehi, Y., Maki, A. A., Kurczewski, K., & Abdekhodae, A. (2016). Visual management, performance management and continuous improvement: A lean manufacturing approach. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(2), 187–210. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2014-0028>
- Francis, R. L., & White, J. A. (1999). *Facility layout and location and analytical approach*. PHI Ltd.delhi.
- Green, R. T. M. (1967). Work Study formerly Time and Motion Study. In *Work Study* (Vol. 16, Issue 1).
- Liu, W., Wang, S., Lin, Y., Xie, D., & Zhang, J. (2020). Effect of intelligent logistics policy on shareholder value: Evidence from Chinese logistics companies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 137(February), 101928. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101928>
- Martins, P. G., & Laugeni, F. P. (2005). *Administração da Produção*.
- Molla, R. (2018). *A study on Manufacturing of Deformed Bar (G 60-400W) at Elite Iron and Steel Industries*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24320.33289>
- Muther, R. (1976). *Planejamento do Layout: Sistema SLP*, Edgard Blücher, São Paulo.
- Napvi, S. A. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 177(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Olhager, J., & Wikner, J. (2000). Production planning and control tools. In *Production Planning and Control* (pp. 210–222).
- Oliveira, M. S., Moreira, H. D. A., Alves, A. C., & Ferreira, L. P. (2019). Using Lean Thinking Principles To Reduce Wastes In Reconfiguration Of Car Radio Final Assembly Lines. *Procedia Manufacturing*, 41, 803–810. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.073>
- Paneerselvam, R. (1999). *Production and Operations Management*, Prentice Hall of India.
- Pinto, J. P. (2010). *Gestão de Operações - Na Indústria e nos Serviços* (2ª Edição). Edições Lidel.

- Pinto, J. P. (2014). *Pensamento LEAN - A filosofia das organizações* (4ª Edição). Lidel - Edições Técnicas Lda.
- Rocha, D. (1995). *Fundamentos técnicos da produção*. Editora Makron. ISBN-13. 978-8534605458
- Rodrigues, F. T., Herzog, L. G. P., Junior, M. A. I., & Da Silva, L. P. (2013). Estudo dos tempos e movimentos do ramo Odontológico. In ABEPRO (Ed.), *XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos* (pp. 1–10). ABEPRO.
- Rother, M., & Harris, R. (2002). *Criando fluxo contínuo, Lean Institute Brasil*.
- Santos, A. L. V., & Reis, R. R. (2019). Importância do Layout para as empresas. *Revista Interface Tecnológica*, 16(2), 157–168. <https://doi.org/10.31510/infa.v16i2.677>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). Choosing a research topic and developing your research proposal. In M. N. K. Saunders (Ed.), *Research Methods for Business Students* (8th Editio, Issue 2, pp. 26–69). Pearson Education.
- Saunders, M., Philip, L., & Thornhill, A. (2007). *Research Methods for Business Students (Fourth Edition)*.
- Senderská, K., Mareš, A., & Václav, Š. (2017). Spaghetti diagram application for workers' movement analysis. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, 79(1), 139–150.
- Silva, A., Cardoza, E., & Carlos, S. (2010). *Challenges and Maturity of Production Engineering: competitiveness of enterprises, working conditions, environment. Challenges and Maturity of Production Engineering: competitiveness of enterprises, working conditions, environment. Challenges and Maturity of Production Engineering: competitiveness of enterprises, working conditions, environment.*
- Siregar, I., Tarigan, U., & Nasution, T. H. (2018). Layout design in order to improve efficiency in manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012001>
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management*. [www.pearson-books.com](http://www.pearson-books.com)

- Tavares, J. A. dos R. (2000). *Geração de Configurações de Sistemas Industriais com o Recurso à Tecnologia das Restrições e Computação Evolucionária*.
- Tompkins, White John, Bozer Yavuz, & Tanchoco J. (1996). *Facilities Planning FOURTH EDITION*.
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2008). Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. *Production*, 18(3), 609–624. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132008000300015>
- Yang, Z., & Lu, W. (2023). Facility layout design for modular construction manufacturing: A comparison based on simulation and optimization. *Automation in Construction*, 147(December 2022), 104713. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104713>

## Apêndices

### Apêndice 1- Determinação dos centroides da proposta de *layout* inicial

	Centroide	
	Coordenada x	Coordenada y
Centro de Maquinação	40	42
Máquina de Corte de 2 Cabeças	36	42
Guilhotina Hidráulica	40	61
Serra Mural	45	61
CNC Chapa	46	43
Máquina de Corte de Fio Quente	37	61
Serra de Corte Longitudinal	46	53
Colagem	30	50
Lacagem	9	39
Armazém Chapa/XPS	7	8
Armazém de Perfis	39	55
Montagem	39	19

### Apêndice 2- Determinação dos centroides da proposta de *layout* final

	Centroide	
	Coordenada x	Coordenada y
Centro de Maquinação	34	57
Máquina de Corte de 2 Cabeças	37	57
Guilhotina Hidráulica	44	38
Serra Mural	39	39
CNC Chapa	43	56
Máquina de Corte de Fio Quente	35	38
Serra de Corte Longitudinal	46	53
Colagem	30	50
Lacagem	9	39
Armazém Chapa/XPS	7	8
Armazém de Perfis	38	45
Montagem	39	19

### Apêndice 3 - Publicação científica

No decorrer da realização da dissertação de mestrado, foi submetido, aceite para publicação e apresentado um artigo científico no simpósio “2<sup>nd</sup> Symposium of Applied Statistics to Business and Management” da conferência internacional indexada na SCOPUS: “*ICNAAM 2023 - 21st International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics*”. O artigo foi apresentado online no dia 12 de setembro de 2023:



2nd Symposium of Applied Statistics to  
Business and Management

Crete, Greece  
11 - 17 September 2023

**Layout design to improve industrial  
facility efficiency:  
a case study applying ALDEP and CRAFT**

**Eduardo Costa<sup>1</sup>, Ângela Silva<sup>2,3</sup> and Ana C. Ferreira<sup>1,2,4</sup>**

<sup>1</sup>COMEGI, Universidade Lusíada, Portugal  
<sup>2</sup>ALGORITMI, University of Minho, Guimarães, Portugal  
<sup>3</sup>ADIT-LAB, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal  
<sup>4</sup>MEIRICS, University of Minho, Guimarães, Portugal

COMEGI

#### Referência:

Costa, E., Silva, Â., & Ferreira, A. C. (2023). Layout design to improve industrial facility efficiency: a case study applying ALDEP and CRAFT. *ICNAAM 2023 - 21st International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics. In 2nd Symposium of Applied Statistics to Business and Management*, pp.1–4. (under Scopus indexing)