



**Cátia Teixeira Sousa**

**Definição de uma Nova Área  
Produtiva para Processos de  
Montagem**

**Definition of a New Production  
Area for Assembly Processes**



Universidade de Aveiro

Ano 2022

**Cátia Teixeira Sousa**

## **Definição de uma Nova Área Produtiva para Processos de Montagem**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família e amigos pelo incansável apoio e toda a força transmitida.

**o júri**

presidente

Prof. Doutora Marlene Paula Castro Amorim  
professora associada da Universidade de Aveiro

vogais

Prof. Doutora Maria Beatriz Brito Oliveira  
professora associada da Universidade do Porto- Faculdade de Engenharia

Prof. Doutora Ana Maria Pinto de Moura  
Professora associada da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Um grande agradecimento à empresa que me acolheu ao longo destes oito meses- Yazaki Saltano de Ovar e ao Engenheiro João Fragoso por me ter selecionado de entre vários candidatos para a realização do estágio.

Um forte agradecimento a todos os elementos da equipa de engenharia na qual me inseri, em especial ao meu orientador, Helder Vieira por todo o acompanhamento prestado todas as oportunidades dadas e toda a confiança depositada em mim. Sem isso, o sucesso de toda a experiência não teria sido o mesmo.

Agradecimentos ainda à docente Ana Moura e coorientadora Marlene Brás por toda a disponibilidade, dedicação e por todos os desafios lançados.

Finalmente, agradecimentos à minha família e amigos, que me apoiaram e acreditaram que iria ser bem-sucedida nesta fase desafiante da minha vida.

**palavras-chave**

Produção Lean, Automação, Problema de Layout de Instalação, Layout Design, Layout Industrial, Fluxo Produtivo, Processos Industriais, Problema de Otimização, Systematic Layout Planning, Problema de Afetação, KPI.

**resumo**

Tendo em conta a crescente procura e a grande exigência por parte dos clientes, resultantes da globalização, as organizações precisam, cada vez mais, de se focar na redução de custos e no aumento do lucro. Assim sendo, o aumento da produtividade e a redução de custos são dois dos grandes objetivos a atingir por parte das empresas. De forma a sustentar a capacidade competitiva, as organizações procuram implementar princípios de produção lean, sendo estes cada vez mais valorizados. Para tal, a modificação de layouts, muitas vezes, surge como necessidade resultante de todos os fatores mencionados.

Nesta dissertação é apresentado o estudo de design de layouts industriais realizado numa empresa de componentes elétricos para automóveis. Esta redefinição do layout industrial de uma das áreas da fábrica surgiu devido à expansão de negócio, e à inserção de novos equipamentos no espaço. Para construção do layout, foi necessário (i) um planeamento de tarefas específico que tinha como objetivo a libertação do novo espaço para onde os processos se iriam transportar, (ii) um estudo intensivo dos atuais processos e (iii) a construção de três alternativas de layout recorrendo a diferentes métodos.

**keywords**

Lean Production, Automatization, Facility Layout Problem, Layout Design, Industrial Layout, Production Flow, Industrial Processes, Optimization Problem, Systematic Layout Planning, Affection Problem, KPI.

**abstract**

Considering the growing and huge demand from customers, result of globalization, organizations increasingly need to focus on reducing costs and increasing profit. Thus, increasing productivity and reducing cost are the two main goals to be achieved by companies. In order to sustain the competitive capacity, organizations seek to implement lean production principles, which are increasingly valued. To this end, the modification of layouts often arises as a need resulting from all these factors mentioned.

This dissertation presents the study of design of industrial layouts carried out in a company of electrical components for automobiles. This redefinition of the industrial layout of one of the factory areas emerged due to the expansion of the business and the insertion of new equipment in the area. For the construction of the layout, it was necessary (i) a specific planning of tasks that aimed to free up the new space where the processes would be transported, (ii) an intensive study of the current processes, and (iii) the construction of three layout alternatives using different methods.

# Índice

|   |     |
|---|-----|
| Índice de Figuras .....                             | 10  |
| Índice de Tabelas.....                              | 12  |
| Capítulo 1 .....                                    | 15  |
| 1.1. Contextualização .....                         | 15  |
| 1.2. Introdução .....                               | 15  |
| 1.3. Apresentação e Caracterização do Projeto ..... | 15  |
| 1.4. Descrição da Metodologia.....                  | 17  |
| 1.5. Resultados Esperados .....                     | 18  |
| 1.6. Indústria Automóvel.....                       | 19  |
| 1.6.1. Indústria Automóvel no Mundo .....           | 19  |
| 1.7. Apresentação da Empresa .....                  | 20  |
| 1.8. Organização do Documento .....                 | 20  |
| Capítulo 2 .....                                    | 22  |
| 2.1. Estado de Arte .....                           | 22  |
| 2.1.1. Lean Manufacturing .....                     | 22  |
| 2.1.2. Facility Layout Problem (FLP) .....          | 24  |
| 2.1.3. Layout Design .....                          | 27  |
| 2.1.4. Tipos de Layout.....                         | 28  |
| 2.1.5. Systematic Layout Planning (SLP) .....       | 31  |
| 2.1.6. Problemas de Programação Linear.....         | 34  |
| 2.1.7. Problema da Mochila .....                    | 35  |
| 2.1.8. Problema de Afetação .....                   | 36  |
| Capítulo 3 .....                                    | 39  |
| 3.1. Yazaki Saltano- Moldagem.....                  | 39  |
| 3.2. A Área de Montagem .....                       | 40  |
| 3.3. A Nova Área de Montagem .....                  | 43  |
| 3.4. Definição de um Layout Empírico V1 .....       | 44  |
| Capítulo 4.....                                     | 50  |
| 4.1. Estudo e Definição de um Novo Layout .....     | 50  |
| 4.1.1. Layout V2.....                               | 51  |
| 4.1.2. Layout V3.....                               | 65  |
| 4.1.3. Layout V4.....                               | 88  |
| Capítulo 5 .....                                    | 101 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Análise de Resultados e Escolha do Layout Final .....                         | 101 |
| 5.1.1. Definição e Aplicação de KPI's .....  | 101 |
| 5.1.2. Decisão Final.....  | 112 |
| Capítulo 6.....  | 114 |
| 6.1. Proposta de Trabalhos Futuros.....  | 114 |
| 6.2. Conclusões .....  | 114 |
| Bibliografia .....   | 117 |
| Anexos.....  | 121 |
| Anexo A) Alteração de Fluxo Logístico .....  | 121 |
| Anexo B) Chegada de Novas Máquinas de Montagem e Transição de Máquinas Atuais .... | 123 |
| Anexo C) Dimensionamento das Necessidades de Máquina de Montagem .....             | 125 |
| Anexo D) Exemplo de Dimensionamento de um <i>Rack</i> de Abastecimento .....       | 127 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Metodologia de trabalho seguida no desenvolvimento do projeto.                                | 18 |
| Figura 2: Yazaki Corporation no mundo (Yazaki, 2022).   | 20 |
| Figura 3: Logotipo da empresa Yazaki (Yazaki, 2022).  | 20 |
| Figura 4: Conceitos base do lean e metodologias (Abdullah, 1996).                                       | 22 |
| Figura 5: Representação em árvore dos problemas de layout (Dira et al., 2006)                           | 26 |
| Figura 6: Layout de Processo/ Funcional (Sazzad Molla, 2018).   | 28 |
| Figura 7: Layout de Produto (Sazzad Molla, 2018).   | 29 |
| Figura 8: Layout de posição fixa (Sazzad Molla, 2018).  | 29 |
| Figura 9: Layout de célula (Sazzad Molla, 2018).  | 30 |
| Figura 10: Impacto da variedade de produtos e volume de produção no tipo de layout (Dira et al., 2006). | 30 |
| Figura 11: Método de aplicação do SLP (Suhardini et al., 2017).   | 31 |
| Figura 12: Exemplo (independente) de gráfico de relações (Sembiring et al., 2019)                       | 32 |
| Figura 13: Exemplo de diagrama de relações (de Carlo et al., 2013).                                     | 32 |
| Figura 14: Exemplo de diagrama de relacionamento espacial (Matusek, 2012).                              | 33 |
| Figura 15: Exemplo de conector produzido pela Yazaki (Yazaki Europe, 2022).                             | 39 |
| Figura 16: Processo de Montagem Standard.   | 41 |
| Figura 17: Processo de Montagem com Embolsadeira.   | 41 |
| Figura 18: Layout atual do espaço de montagem.  | 42 |
| Figura 19: Máquina de montagem M15, da Yazaki.  | 43 |
| Figura 20: Linha de montagem para o processo realizado na máquina M15.                                  | 43 |
| Figura 21: Espaço de montagem atual vs. Futuro ("I").   | 43 |
| Figura 22: Diagrama de Ishiwawa- entropia na área de montagem.  | 44 |
| Figura 23: Layout V1.   | 47 |
| Figura 24: Layout V1 legendado.   | 48 |
| Figura 25: Exemplo de rack de gravidade (Liyuan, 2021).   | 52 |
| Figura 26: Ponto de partida para a construção do layout V2.   | 52 |
| Figura 27: Layout atual da área de montagem.  | 54 |
| Figura 28: Locais atuais e futuros da área de montagem e do armazém.                                    | 56 |
| Figura 29: Entradas e saídas da nova área de montagem.  | 56 |
| Figura 30: Dimensões standard das racks de abastecimento (4 colunas X 3 altura X 1 profundidade).       | 60 |
| Figura 31: Zonas IN (verde) e OUT (vermelho) das máquinas de montagem atuais.                           | 61 |
| Figura 32: Distribuição das máquinas de montagem no layout V2.  | 63 |
| Figura 33: Layout de workstation.   | 63 |
| Figura 34: Layout de rack de abastecimento.   | 63 |
| Figura 35: Layout V2.   | 64 |
| Figura 36: Layout V2 legendado.   | 64 |
| Figura 37: Distribuição das workstations pelas máquinas no layout V2.                                   | 64 |
| Figura 38: Interligação entre os três métodos usados para construção do Layout.                         | 65 |
| Figura 39: Ponto de partida para aplicação do problema da mochila.                                      | 66 |
| Figura 40: Representação gráfica da solução.  | 70 |
| Figura 41: Fluxo de materiais entre o armazém e a montagem.   | 72 |
| Figura 42: Diagrama de esparguete relativo à área de montagem atual.                                    | 72 |
| Figura 43: Gráfico de relações da secção A.   | 74 |
| Figura 44: Gráfico de relações da secção B.   | 74 |
| Figura 45: Gráfico de relações da secção C.   | 74 |
| Figura 46: Diagrama de relações da secção A com todas as relações.                                      | 75 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 47: Diagrama de relações da secção A apenas com relações importantes.                          | 76  |
| Figura 48: Diagrama de relações da secção B com todas as relações.                                    | 76  |
| Figura 49: Diagrama de relações da secção B apenas com relações importantes.                          | 76  |
| Figura 50: Diagrama de relações da secção C com todas as relações.                                    | 77  |
| Figura 51: Diagrama de relações apenas com relações importantes.                                      | 77  |
| Figura 52: Requisitos e limitações a considerar para construção do layout V3.                         | 78  |
| Figura 53: Layout da secção C.  | 79  |
| Figura 54: Layout da secção B.  | 80  |
| Figura 55: Layout da secção A (Solução 1).  | 80  |
| Figura 56: Layout da secção A (Solução 2).  | 81  |
| Figura 57: Distribuição das máquinas no layout V3.  | 82  |
| Figura 58: Máquinas cujas racks de abastecimento não foram possíveis alocar nas áreas.                | 83  |
| Figura 59: Distribuição de máquinas e racks de abastecimento no layout V3.                            | 83  |
| Figura 60: Layout V3 legendado.   | 84  |
| Figura 61: Distribuição de workstations pelas máquinas.   | 88  |
| Figura 62: Layout V3.   | 88  |
| Figura 63: Representação gráfica da solução.  | 90  |
| Figura 64: Gráfico de relações da secção A.   | 91  |
| Figura 65: Diagrama de relações da secção A com todas as ligações.                                    | 91  |
| Figura 66: Diagrama de relações da secção A apenas com ligações importantes.                          | 92  |
| Figura 67: Gráfico de relações da secção B.   | 92  |
| Figura 68: Diagrama de relações da secção B com todas as ligações.                                    | 92  |
| Figura 69: Diagrama de relações da secção B apenas com ligações importantes.                          | 93  |
| Figura 70: Gráfico de relações da secção C.   | 93  |
| Figura 71: Diagrama de relações da secção C com todas as ligações.                                    | 93  |
| Figura 72: Diagrama de relações da secção C apenas com ligações importantes.                          | 94  |
| Figura 73: Layout da Secção C.  | 95  |
| Figura 74: Layout da Secção B.  | 95  |
| Figura 75: Layout da Secção A.  | 96  |
| Figura 76: Distribuição das máquinas no Layout V4.  | 96  |
| Figura 77: Layout V4 (incompleto).  | 97  |
| Figura 78: Layout V4 legendado.   | 97  |
| Figura 79: Distribuição das racks de abastecimento no layout V4.                                      | 99  |
| Figura 80: Layout V4.   | 99  |
| Figura 81: Distribuição de operadores por máquinas no Layout V2.                                      | 103 |
| Figura 82: Distribuição de operadores por máquinas no layout V3.                                      | 104 |
| Figura 83: Distribuição de operadores por máquinas no layout V4.                                      | 104 |
| Figura 84: Diagrama de esparguete relativo à simulação das movimentações dos operadores no layout V2. | 109 |
| Figura 85: Diagrama de esparguete relativo à simulação das movimentações dos operadores no layout V3. | 109 |
| Figura 86: Diagrama de esparguete relativo à simulação das movimentações dos operadores no layout V4. | 110 |
| Figura 87: Processo de criação de necessidade e abastecimento da Área de Montagem atual.              | 121 |
| Figura 88: Fluxo proposto de abastecimento da nova área de montagem.                                  | 122 |
| Figura 89: Exemplo de dimensionamento de rack de abastecimento.                                       | 127 |

## Índice de Tabelas

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1: Resultados esperados do projeto. ....   | 18  |
| Tabela 2: Exemplos de ferramentas lean (Abdullah, 1996). ....   | 23  |
| Tabela 3: Exemplos de empresas e melhorias obtidas devido à implementação de princípios lean (Leite & Vieira, 2015). .... | 24  |
| Tabela 4: Consequências positivas e negativas de um bom ou mau layout (Brás, 2021). ....                                  | 25  |
| Tabela 5: Legenda do gráfico de relações. ....  | 32  |
| Tabela 6: Sugestão de abordagem para aplicação do método SLP (Ali Naqvi et al., 2016). ....                               | 33  |
| Tabela 7: Exemplo de um problema de PL e conversão para PLI. ....   | 35  |
| Tabela 8: Máquinas e Equipamentos existentes na área de montagem. ....  | 41  |
| Tabela 9: Legenda do layout da área de montagem. ....   | 42  |
| Tabela 10: Máquinas de montagem automáticas atuais e novas. ....  | 45  |
| Tabela 11: Decisões relativas ao layout V1. ....  | 47  |
| Tabela 12: Layouts construídos e respectivos métodos implementados. ....  | 51  |
| Tabela 13: Máquinas de montagem automática atuais e respectivas áreas. ....   | 54  |
| Tabela 14: Equipamentos presentes na área de montagem atual e futura. ....  | 55  |
| Tabela 15: Novas máquinas de montagem, área, projeto e data de chegada. ....  | 55  |
| Tabela 16: Áreas do novo espaço de montagem. ....   | 56  |
| Tabela 17: Estudo das necessidades de caixas por turno de cada máquina. ....  | 58  |
| Tabela 18: Legenda da Tabela 18. ....   | 58  |
| Tabela 19: Necessidades de abastecimento por turno. ....  | 58  |
| Tabela 20: Necessidades de abastecimento da área de montagem. ....  | 59  |
| Tabela 21: Legenda da Tabela 23. ....   | 60  |
| Tabela 22: Dimensões das racks de abastecimento. ....   | 61  |
| Tabela 23: Problemas decorridos na atual área de montagem e possíveis soluções futuras. ....                              | 62  |
| Tabela 24: Numeração das workstations e máquinas atribuídas. ....   | 65  |
| Tabela 25: Secções e respectivas áreas. ....  | 66  |
| Tabela 26: Dados que servem de input à aplicação do problema da mochila. ....   | 68  |
| Tabela 27: Fator Importância e respectivos valores. ....  | 68  |
| Tabela 28: Solução do modelo. ....  | 70  |
| Tabela 29: Legenda da Figura 42. ....   | 72  |
| Tabela 30: Legenda do código alfabético. ....   | 73  |
| Tabela 31: Legenda do código numérico dos gráficos de relações. ....  | 73  |
| Tabela 32: Código de conversão de gráfico de relações para diagrama de relações. ....                                     | 75  |
| Tabela 33: Requisitos de espaço e espaço disponível. ....   | 77  |
| Tabela 34: Aspectos a avaliar na comparação entre alternativas de layout. ....  | 81  |
| Tabela 35: Resultado do sistema de pontos. ....   | 81  |
| Tabela 36: Número de output gerado por máquina num turno. ....  | 85  |
| Tabela 37: Dados para o problema de afetação (codificação das máquinas). ....   | 86  |
| Tabela 38: Solução do problema de afetação. ....  | 87  |
| Tabela 39: Solução do problema de afetação. ....  | 87  |
| Tabela 40: Dados que servem de input à aplicação do problema da mochila. ....   | 90  |
| Tabela 41: Fator importância e respectivos valores. ....  | 90  |
| Tabela 42: Solução do modelo. ....  | 90  |
| Tabela 43: Requisitos de espaço e espaço disponível. ....   | 94  |
| Tabela 44: Dados para o problema de afetação (codificação das máquinas). ....   | 98  |
| Tabela 45: Solução do problema de afetação. ....  | 98  |
| Tabela 46: Solução do problema de afetação. ....  | 98  |
| Tabela 47: Número de máquinas contempladas nas alternativas de layout. ....   | 102 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 48: Taxa de ocupação nas alternativas de layout.....  | 102 |
| Tabela 49: Distribuição de operadores por máquinas no layout V2. ....  | 103 |
| Tabela 50: Distribuição de operadores por máquinas no layout V3. ....  | 104 |
| Tabela 51: Distribuição de operadores por máquinas no layout V4. ....  | 105 |
| Tabela 52: Necessidade de operadores nas alternativas de layout. ....  | 105 |
| Tabela 53: Número de interações homem-máquina por turno. ....  | 106 |
| Tabela 54: Taxa de ocupação dos operadores nas alternativas de layout.....   | 107 |
| Tabela 55: Proximidade entre máquinas do mesmo projeto. ....   | 108 |
| Tabela 56: Codificação da Tabela 48. ....  | 108 |
| Tabela 57: Código para conversão de linhas para valores. ....  | 109 |
| Tabela 58: Densidade e área das movimentações dos operadores no layout V2. ....  | 109 |
| Tabela 59: Densidade e área das movimentações dos operadores no layout V3. ....  | 110 |
| Tabela 60: Densidade e área das movimentações dos operadores no layout V4. ....  | 110 |
| Tabela 61: Valores relativos à otimização da distribuição das workstations. ....   | 111 |
| Tabela 62: Comparação entre layouts. ....  | 112 |
| Tabela 63: Cronograma da data de chegada das novas máquinas.....   | 123 |
| Tabela 64: Cronograma da data de transição das máquinas atuais para o novo espaço. ....                                      | 124 |
| Tabela 65: Estudo de tempos de ciclo, produção esperada, produção efetiva e de necessidade de caixas para a máquina M4. .... | 126 |
| Tabela 66: Informações relativas a produtos de embalagem. ....   | 126 |
| Tabela 67: Quantidades de caixas relativas à máquina M4.....   | 126 |
| Tabela 68: Periodicidade de abastecimento da máquina M4. ....  | 127 |



# Capítulo 1

## 1.1. Contextualização

A empresa Yazaki Saltano de Ovar- Componentes Elétricos Lda é uma grande produtora de componentes automóveis mundial e encontra-se numa fase de grandes mudanças e investimentos. Muitos projetos novos estão a ser desenvolvidos, o que tornou todo o meu processo de estágio cheio de oportunidades e, ao mesmo tempo, desafiante.

Este relatório tem como foco apresentar todo o trabalho desenvolvido no âmbito do estágio curricular realizado entre outubro de 2021 e abril de 2022, num total de 6 meses. O projeto de estágio teve como objetivo a definição de uma nova área de trabalho para os processos de montagem automáticos que estava integrado num grande projeto de expansão da empresa. Assim, foi necessário desenvolver um entendimento profundo das necessidades e requisitos da empresa, bem como de todos os processos de produção existentes no chão de fábrica e os seus fluxos logísticos.

## 1.2. Introdução

Tendo em conta a crescente procura e a grande exigência por parte dos clientes, resultantes da globalização, as organizações precisam, cada vez mais, de se focar na redução de custos e no aumento da qualidade. Assim, os grandes objetivos das mesmas focam-se redução de custos de produção e no aumento da produtividade dos processos (Haryanto et al., 2021). A implementação de princípios de produção lean possibilita o alcance destes objetivos, sendo cada vez mais valorizada e procurada pelas organizações, pois permite sustentar a capacidade competitiva (Ali Naqvi et al., 2016). Para tal, a alteração de layouts muitas vezes surge como necessidade resultante de todos os fatores anteriormente mencionados.

A definição da localização das diferentes secções numa área fabril consiste num problema conhecido como problema de layout industrial (*facility layout problem*). O resultado do mesmo tem um impacto significativo nos custos de fabricação, no trabalho em curso (WIP- *Work In Progress*), nos prazos de entrega e na produtividade (Drira et al., 2007). Em suma, o bom posicionamento das instalações contribui para a eficiência geral das operações realizadas na fábrica. As principais razões que levam à necessidade de uma reformulação de um layout são as mudanças no volume de produção, no processo produtivo, na tecnologia utilizada ou nos produtos a fabricar e a aquisição de novos equipamentos. (Naik & Kallurkar, 2016). Tendo em conta a realidade atual, resultante da globalização, todas estas situações ocorrem com grande frequência nas organizações. Assim, o design dos layouts pode ser visto como um processo iterativo, contínuo, dinâmico e extremamente importante para o sucesso organizacional.

## 1.3. Apresentação e Caracterização do Projeto

O documento apresenta o estudo realizado que teve como objetivo a definição de um novo layout para a área dos processos de montagem automáticos da empresa. Estes processos decorrem atualmente numa área com aproximadamente 540 metros quadrados, que possui um layout considerado caótico. As máquinas encontram-se muito próximas umas das outras e existe pouco ou nenhum espaço para deslocações seguras e para possíveis instalações de novas máquinas. Para além disso, não existe espaço para inserção de dispositivos como computador e impressoras, nem estão implementadas as ligações necessárias para conectar os mesmos à rede. O número de *workstations*<sup>1</sup> é consideravelmente limitado, o que leva à ocorrência de trocas de etiquetas que

---

<sup>1</sup> Estações de trabalho onde estão presentes equipamento para a impressão das etiquetas identificativas que serão anexadas às caixas de produto acabado.

geram reclamações do cliente. Por fim, as linhas amarelas existentes no chão, que representam os corredores, não são visíveis uma vez que os equipamentos as sobrepõem. Tendo tudo isto em conta, a necessidade de alteração de layout era urgente uma vez que, não só o ambiente dificultava a realização de um bom trabalho, como também não havia qualquer espaço para futuras inovações.

A nova localização da área de montagem encontra-se num armazém de 1450 metros quadrados. Nesta nova área existe espaço para assegurar deslocações bem definidas e seguras, bem como a incorporação de novos equipamentos, o que conduzirá a uma melhor organização de todo o trabalho. Permitirá ainda a alocação de novas máquinas de montagem, *workstations* e um escritório onde estarão presentes os responsáveis pelo espaço de montagem e membros do departamento da qualidade.

Embora a situação caótica e limitada da área atual seja a principal motivação para a criação de um novo espaço de montagem, objetivos de expansão de negócio e estratégicos são também fatores que impulsionam a necessidade de criação deste projeto. Assim, as razões e motivações para a criação deste grande projeto podem-se subdividir-se:

- Área de produção limitada: A empresa, existente há 28 anos, inicialmente já possuía uma área considerada limitada. Isto é, a definição de layout da empresa inicial nas suas várias áreas de negócio já podia ser considerada insuficiente para o perfeito funcionamento dos vários processos. Desde sempre que a movimentação dos *feeders*<sup>2</sup> e dos colaboradores foi dificultada, uma vez que as máquinas e outros equipamentos encontram-se para além das limitações definidas pelas linhas amarelas, entrando na zona dos corredores. Este problema é especialmente visível na área de montagem, que é extremamente pequena. Para além disso, quando esta área foi desenhada, não houve um estudo adequado do layout, não havendo o melhor aproveitamento do espaço.
- Expansão de negócio: A organização não só começou a produzir diferentes produtos, o que levaria à aquisição de maior número de máquinas e recursos humanos, como também começou a produzir maior quantidade de cada produto. Tudo isto exige cada vez mais espaço. A necessidade de um maior número de máquinas de montagem automáticas era crescente, o que levou a uma maior urgência da expansão da área de trabalho.
- Visão estratégica: O CEO da empresa tem como objetivo tornar a Yazaki a maior fábrica injetora nacional, e, para tal, adquiriu 10 máquinas de injeção e tem como objetivo adquirir mais no futuro. Equipamentos dessa natureza ocupam muito espaço o que levará a uma necessidade de área maior para processos de injeção. Desta forma, será necessário, no futuro, libertar mais espaço da fábrica (atual espaço da montagem) para expandir a área de injeção.

O projeto consistiu no estudo profundo dos atuais processos de montagem e **definição do layout de um novo espaço de trabalho** para estes. Assim, envolvia atividades de planeamento de tarefas, procura de dados relativamente às necessidades de componentes das máquinas com recurso ao SAP, cálculo de previsões de abastecimento recorrendo a tempos de ciclo das máquinas, implementação de ferramentas como diagrama de esparguete e fluxograma para compreender o fluxo de tarefas existentes nos processos de montagem, sessões frequentes de *brainstorming* com operadores e chefias do espaço, utilização da ferramenta CAD para desenho de layout, desenvolvimento de modelos que possibilitem a construção de um layout eficiente, definição de KPI's, entre outros.

---

<sup>2</sup> Pessoas responsáveis pelo abastecimento das áreas produtivas.

Considerando o mencionado anteriormente, os principais objetivos do estudo são:

- Realizar uma revisão de literatura que inclui os temas chave do estudo realizado: Produção Lean, *Facility Layout Problem*, Layout design, Tipos de Layout, *Systematic Layout Planning*, e Problemas de Programação Linear;
- Estudar as instalações e fluxos de processo atuais relativos às áreas da moldagem e, em especial, da montagem;
- Definir e recolher inputs técnicos que deverão ser considerados para a construção do layout;
- Desenvolver alternativas de layout: uma que servirá de ponto de partida, pois sofrerá alterações com a introdução de novos inputs, originando novas versões. De seguida, recorrendo a métodos teóricos, obter mais versões de layout, por aplicação do método *Systematic Layout Planning* e outros problemas de programação linear e otimização combinatória;
- Comparar as várias versões com recurso a KPI's a definir, e seleccionar o layout mais vantajoso para a empresa.

#### 1.4. Descrição da Metodologia

Para a realização do projeto foi implementada uma metodologia que integrou as seguintes fases (Figura 1):

- Conhecimento da organização e dos processos conduzidos na empresa;
- Conhecimento do problema e do projeto;
- Determinação dos objetivos;
- Revisão de literatura que aborda os temas chave relacionados com o projeto;
- Pesquisa de campo: observação dos projetos em detalhe e recolha de dados gerais;
- Pesquisa documental: obtenção de dados mais detalhados relativos à produção com recurso a SAP e a documentos organizacionais;
- Pesquisa científica: procura de métodos teóricos para construção de layout que se adequem ao problema;
- Construção de alternativas de layout recorrendo aos métodos considerados adequados;
- Definição de KPI's para comparação entre layouts;
- Comparação, decisão final e implementação do layout em contexto real.

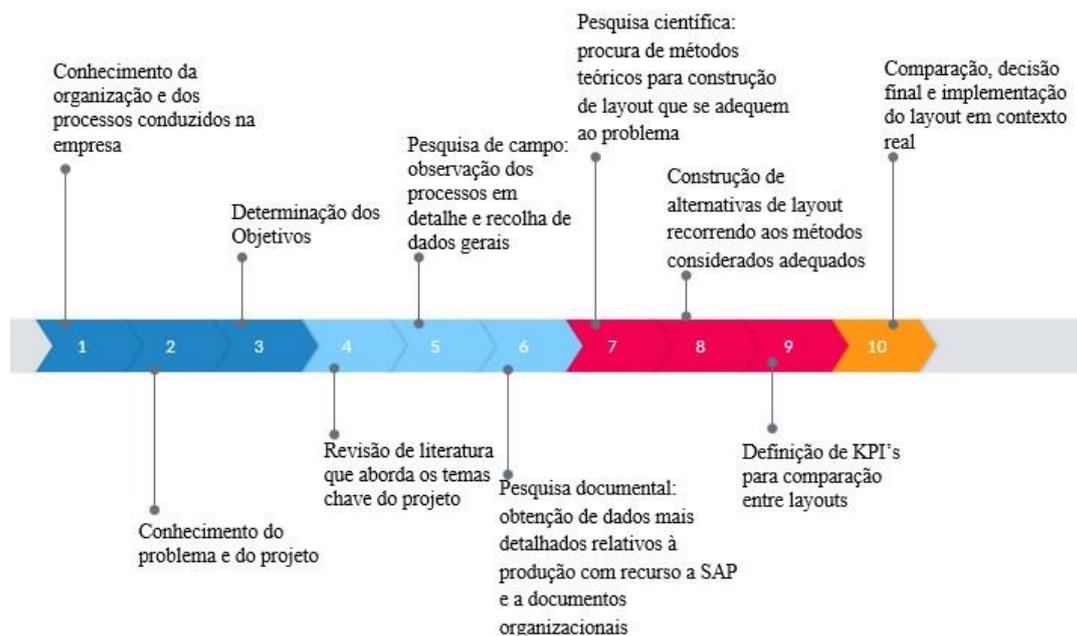


Figura 1: Metodologia de trabalho seguida no desenvolvimento do projeto.

### 1.5. Resultados Esperados

Com o desenvolvimento de um novo layout para processos de montagem e, seguidamente, implementação do mesmo na realidade fabril, espera-se obter os seguintes resultados apresentados na Tabela 1.

| Resultados Esperados do Projeto  |   |
|--|---|
| Melhoria do fluxo interno de pessoas   | Redução da entropia entre máquinas e funcionários                               |
| Otimização do espaço ocupado   | Possibilidade de expansão do negócio  |
| Maior eficiência no uso de recursos  | Maior segurança e menor risco de acidentes                                      |
| Maior distanciamento entre locais de trabalho barulhentos e atividades que requerem concentração | Diminuição de movimentações e consequente redução de tempo gasto em deslocações |
| Facilidade de controlo e supervisão da cadeia produtiva  | Ambiente de trabalho mais saudável  |
| Aumento da clareza do fluxo para os funcionários   | Redução de custos   |
| Redução do tempo gasto entre processos   |   |

Tabela 1: Resultados esperados do projeto.

Tendo em conta os resultados esperados, é de reforçar a enorme importância que o projeto tem para a empresa, uma vez que irá possibilitar o alcance de vários benefícios que trarão ganhos

consideráveis para mesma. Assim, o investimento temporal e monetário neste projeto é necessário e completamente justificado.

## 1.6. Indústria Automóvel

Sendo a Yazaki Saltano de Ovar uma grande produtora mundial de componentes automóveis, torna-se pertinente conhecer um pouco sobre a importância deste grande setor da indústria. O setor da indústria automóvel evoluiu exponencialmente a partir da década de 1980, onde se esperava um grande impacto global. Desde então, esta indústria tem vindo a enfrentar grandes desafios devido ao aumento da exigência do consumidor e de questões ambientais, que são cada vez mais valorizadas. Um dos grandes desafios é conciliar o dever de lidar com a mobilidade pessoal, que cada vez mais é diferenciada e que está em grande crescimento, com a redução de emissões exigida por questões ambientais.

Esta indústria teve um grande crescimento uma vez que o consumidor rapidamente percebeu a sua necessidade e, conseqüentemente, começou a esperar mais dos automóveis. É um facto que, inicialmente, um consumidor procurava obter um automóvel para se deslocar, no entanto, atualmente procuramos muito mais do que isso: procuramos um veículo que nos leve onde queremos, mas também que nos permita atender chamadas telefónicas, ouvir música e que nos facilite várias atividades como estacionar ou efetuar manobras. Assim, a introdução tecnológica nos veículos tem vindo a ganhar grande relevância, oferecendo muitas oportunidades para a indústria automóvel criar, desenvolver e distinguir-se da concorrência (Rahim et al., 2021). Tudo isto cria a necessidade de incorporação da maior variedade de componentes nos veículos, o que reformulou completamente o processo de produção e montagem dos mesmos.

### 1.6.1. Indústria Automóvel no Mundo

A indústria automóvel está a enfrentar uma grande mudança na perspetiva do consumidor, tal mudança é impulsionada pela integração tecnológica na indústria. As tendências mundiais-urbanização e expansão rápida na conectividade mundial- estão constantemente a reestruturar o mercado automóvel e os seus limites competitivos, o que faz com que o setor esteja sempre em mudança.

No que toca à urbanização, atualmente existem 3,7 bilhões de pessoas, e espera-se que este número cresça até 66% nos próximos 30 anos, aumentando o número de consumidores, que são cada vez mais exigentes tecnologicamente e investem mais na sua mobilidade. Já relativamente à expansão rápida na conectividade, a economia mundial está-se a mover em direção a uma economia digital, com recurso a *big data*, análises, sensores inteligentes, IoT, *cloud computing*, entre outras tecnologias. Com o enorme e rápido crescimento e aparecimento de dispositivos inteligentes surge a tarefa para a indústria automóvel de se integrar nesta realidade. Assim, a área da indústria automóvel deverá projetar os seus produtos tendo em conta esta nova realidade tecnológica.

A Yazaki é uma organização que procura, através da inovação e do desenvolvimento do seu mercado, acompanhar toda esta evolução mundial, desenvolvendo novos produtos diretamente com os seus clientes. Assim, é de reforçar a grande importância que a presença de uma instituição como a Yazaki Saltano de Ovar tem no país.

## 1.7. Apresentação da Empresa

A Yazaki é, atualmente, a maior produtora de cablagens elétricas mundial. Tudo começou em 1929 quando Sadami Yazaki começou a vender cablagens para automóveis. Dez anos mais tarde, a Yazaki começou a expandir o seu negócio devido a uma mudança governamental ocorrida nesse ano. O grupo Yazaki encontra-se atualmente espalhado pelo mundo com 140 organizações (Figura 2) e empregando uma totalidade de 239.753 funcionários. Possui 28 fábricas na América, 29 na Europa e África, 44 no Japão e 39 na Ásia e Pacífico. Na Europa encontra-se localizada em 23 países, possuindo 29 organizações e representando 44.606 da população empregada.



Figura 2: Yazaki Corporation no mundo (Yazaki, 2022).

A Yazaki Saltano em Portugal (Figura 3), inicialmente instalada em Oliveira do Douro, foi criada em 1986 devido a um protocolo estabelecido entre a Yazaki Corporation e Salvador Caetano, daí a origem do nome Yazaki Saltano (Alexandra & Rodrigues, 2016). Ao longo dos anos seguintes, a empresa foi-se expandindo nacionalmente e, em 1992, nasceu a Yazaki Saltano em Ovar- Produtos Elétricos Lda. A organização é a maior produtora mundial de cablagens para automóveis e está dividida em três grandes áreas: COMBU (*Components Business Units*), dedicada à fabricação de componentes automóveis, EDS (*Electrical Distribution Systems*), onde ocorre a fabricação de cablagens, e o PTC (*Porto Technical Centre*), que consiste num centro de desenvolvimento e inovação. Dentro da secção da COMBU, existem cinco grandes áreas: fio, PDU (*Power Distribution Units*), Moldagem, Data Con, e CCS (*Customized Cabling Systems*).



Figura 3: Logotipo da empresa Yazaki (Yazaki, 2022).

## 1.8. Organização do Documento

Este relatório está dividido em seis capítulos, sendo que o presente diz respeito ao capítulo um, onde é feita uma introdução, onde é apresentado o projeto, a empresa e ainda a realidade da indústria automóvel, uma vez que diz respeito ao setor da empresa onde o projeto decorreu. No segundo capítulo é apresentado o estado da arte, onde todos os assuntos considerados temas-chave do projeto são profundamente estudados, com recurso a livros e artigos científicos. No terceiro capítulo é apresentada a situação inicial da organização e é construído um layout empírico que servirá de ponto de partida para o estudo. No quarto capítulo é apresentado todo o estudo de construção de alternativas de layouts com recurso a diferentes métodos. No capítulo cinco são definidos KPI's e é feita a decisão final de implementação de layout, com recurso aos mesmos. Por fim, no capítulo seis, são propostos trabalhos futuros e são ainda apresentadas as conclusões do estudo.



# Capítulo 2

## 2.1. Estado de Arte

Com o objetivo de estruturar uma ordem de trabalhos, uma revisão de literatura foi conduzida relativamente aos tópicos críticos relacionados com o projeto, nomeadamente, *lean manufacturing*, *facility layout problem*, *layout design*, tipos de *layout*, problemas de programação linear (inteiros e binários), problema da mochila, problema de afetação e métodos de construção de *layouts* fabris. Após realização de pesquisa literária e tendo em conta que os processos de montagem em causa são considerados de “ponto único” - isto é, constituem apenas uma fase de produção ao contrário das linhas de montagem comuns que possuem várias fases-, e ainda considerando as limitações reais e características do projeto, apenas um método presente na literatura é considerado adequado para o trabalho em causa- *Systematic Layout Planning* (SLP). Assim, um estudo relativamente a este método foi conduzido.

### 2.1.1. Lean Manufacturing

A filosofia lean (*lean thinking*, *lean manufacturing* ou *Toyota Production System*) foi desenvolvida no Japão nos anos 50 e é, atualmente, mundialmente utilizada pelas empresas. O termo “*lean thinking*” engloba um conjunto de práticas lean e tem vindo a ganhar popularidade que se vem a espalhar de forma exponencial (Leite & Vieira, 2015). Esta filosofia é também conhecida por *agile manufacturing*, *just-in-time manufacturing*, *synchronous manufacturing*, *continuous flow*, entre outros (Abdullah, 1996). O termo “lean” diz respeito a um sistema que utiliza o mínimo possível em termos de inputs, para criar o mesmo output que os sistemas de produção em massa tradicionais, ao mesmo tempo que contribui para o aumento da variedade produzida para o cliente final (Abdullah, 1996). A metodologia lean conta com três ideias simples: entregar valor do ponto de vista do consumidor, eliminar desperdícios (coisas que não acrescentam valor ao produto final) e a melhoria contínua.

O conceito de *lean manufacturing* (LM) foi introduzido no Japão e o sistema Toyota de produção foi o primeiro a usar as práticas lean (Figura 4) (Gupta & Jain, 2013). Práticas de LM ajudam a melhorar os processos de manufatura e a aumentar a satisfação dos funcionários (Kumar Sharma et al., 2011). A aplicação da filosofia de LM é um dos conceitos mais importantes que ajudam as empresas a obter vantagem competitiva no mercado mundial. Esta é uma prática de produção que considera desperdício toda a utilização de recursos para qualquer trabalho que não acrescenta qualquer valor ao produto final. O LM é uma técnica de gestão multidimensional que inclui *just-in-time*, sistemas de qualidade, equipas de trabalho, fabricação em células, gestão de fornecedores, entre outros, num sistema integrado (Kumar Sharma et al., 2011).

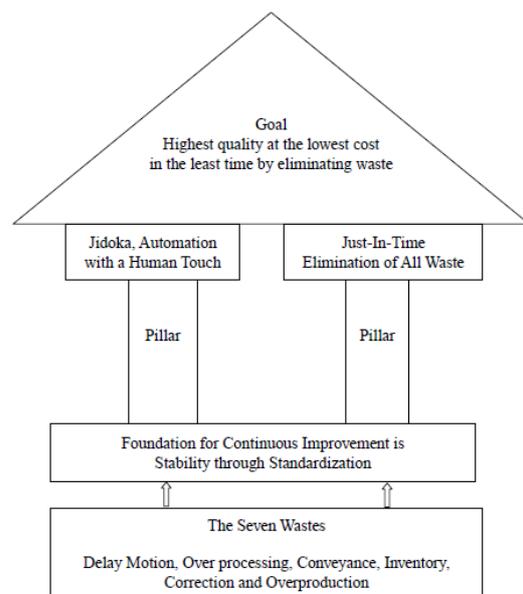


Figura 4: Conceitos base do lean e metodologias (Abdullah, 1996).

Os passos para a implementação de um sistema de LM são (Gupta & Jain, 2013):

- Identificação de desperdícios no sistema. As organizações devem identificar os desperdícios ocultos ou visíveis que existem nos seus sistemas produtivos;
- Os resíduos devem ser caracterizados de acordo com o seu tipo. É importante conhecer esses tipos e as suas causas. Para isso, existem várias ferramentas e técnicas bastante úteis, como por exemplo o diagrama de Ishikawa;
- De seguida, é necessário encontrar as possíveis soluções para a causa raiz dos problemas;
- Finalmente, o passo final da implementação consiste em encontrar as várias soluções e testar os seus resultados.

O LM possui dois grandes objetivos chave: aumentar a perceção de valor por parte do cliente e investir o mínimo de recursos possíveis para que tal aconteça. Para isso, existem inúmeras ferramentas que possibilitam alcançar estes dois objetivos (S. Singh & Kumar, 2020). Algumas dessas ferramentas são apresentadas na Tabela seguinte (Tabela 2).

| <b>Ferramenta</b>                     | <b>Conceito</b>   |
|---------------------------------------|---|
| Kaizen                                | Atividades que melhoram todas as funções de um negócio que, geralmente, são aplicadas na produção.  |
| Jidoka                                | Processo de automação com a presença de um elemento humano.   |
| Kanban                                | Sistema de produção projetado para eliminar desperdícios de stock e acabar com o excesso de produção.   |
| Heijunka                              | Permite nivelar o tipo e a quantidade de produção. Diminui instabilidade de produção em função dos pedidos inconstantes dos clientes.   |
| Just-in-Time                          | Ferramenta que exige a produção que o cliente quer, quando ele quer, na quantidade que ele quer e onde ele quer,  |
| TPM-<br>Manutenção<br>Produtiva Total | Ferramenta utilizada para reduzir ao máximo o tempo de inatividade de uma máquina durante o processo de produção, com o objetivo de aumentar a sua eficiência.  |
| Objetivos<br>SMART                    | Fazem parte de um método para definir metas de maneira produtiva. Para usar de forma eficaz as ferramentas do LM, devem ser estabelecidas metas adequadas. Tais objetivos devem ser claramente definidos e comunicados. |
| KPI (Key<br>Performance<br>Metric)    | Indicadores de Performance que permitem avaliar e analisar a eficiência da fabricação. São métricas definidas para medição do sucesso.  |
| 5 S's                                 | Frequentemente o ponto de partida para empresas que começam o LM. Tem como objetivo implementar melhorias na eficiência e qualidade dos processos desenvolvidos pela empresa.   |
| PDCA                                  | Método de quatro etapas que tem como objetivo criar e executar mudanças. Trata-se de uma ferramenta para a melhoria contínua de processos.  |

Tabela 2: Exemplos de ferramentas lean (Abdullah, 1996).

Para além das ferramentas apresentadas na Tabela 2, outras devem ser destacadas devido à sua aplicabilidade no estudo descrito neste relatório, nomeadamente o diagrama de Ishikawa e o diagrama de esparguete. O diagrama de Ishikawa, também conhecido como espinha de peixe devido ao seu formato, tem como principal motivação a identificação de problemas a partir das suas causas e razões. Esta ferramenta facilita a visualização da relação existente entre um determinado efeito e a sua causa. Já o diagrama de esparguete é uma das principais ferramentas da metodologia LM que consiste no mapeamento das movimentações de cada colaborador. Após todas as linhas, que representam movimentos, serem introduzidas no layout do processo, estas são analisadas. O principal objetivo do diagrama de esparguete é facilitar a compreensão sobre o fluxo de funcionários, materiais e produtos dentro do layout atual. Assim, procura-se identificar oportunidades de tornar as movimentações otimizadas de modo a reduzir o tempo gasto e tornar a operação mais eficiente.

Com o objetivo de evidenciar o impacto que as metodologias e ferramentas lean podem ter nas organizações, alguns exemplos reais de empresas serão apresentados na Tabela 3.

| <b>Empresa</b>       | <b>Melhorias Obtidas devido à Implementação de Princípios Lean</b>  |
|----------------------|---|
| Southwest Airlines   | Eliminação de custos de serviços, melhoria de fluxo e velocidade de entrega de serviços e criação de uma experiência de serviço para clientes.                    |
| Zara                 | Oferece uma grande variedade de roupas, mas evita grandes stocks e conta com uma rápida resposta ao mercado.  |
| LifeCare Hospital    | Redução de 87% nas infeções causadas por transfusão.  |
| Grupo Fernando Simão | Ampliou o tempo de agregação de valor do cliente de 53% para 94% e as suas operações ampliaram o tempo de agregar valor de 27% para 50%, reduzindo custos em 30%. |
| Tesco Retailer       | Atingiu um nível de serviço acima de 96% tornando-se líder de mercado no seu segmento no Reino Unido.   |
| Wal-Mart             | Eliminação da necessidade de manter stocks na parte de trás da loja ou em armazém.  |

Tabela 3: Exemplos de empresas e melhorias obtidas devido à implementação de princípios lean (Leite & Vieira, 2015).

### 2.1.2. Facility Layout Problem (FLP)

A determinação da organização física de uma área ou sistema produtivo é definida como o problema de layout de instalação (*Facility Layout Problem*) (S. P. Singh & Sharma, 2006). Localizar as máquinas, equipamentos e instalações e qual o design mais eficiente são as questões estratégicas fundamentais que devem ser respondidas no momento de definição de um layout. Estes problemas de layout são encontrados em vários tipos de sistemas industriais e são bastante importantes uma vez que têm um enorme impacto no sistema produtivo e nos resultados organizacionais (Drira et al., 2006). De forma a evidenciar a importância deste estudo, é de referir que planeamentos eficazes das instalações fabris podem reduzir os custos entre 10 e 30% anualmente (Kaveh & Vazirinia, 2019). Para o FLP, o objetivo principal é a minimização do manuseamento de materiais e consequente redução de custo, que é algo quantitativo. Fatores qualitativos como a segurança, flexibilidade do layout para projetos futuros, ruído, estética, entre outros, também podem ser considerados (Drira et al., 2007).

O FLP é um problema de otimização combinatória bem estudado que surge numa variedade de situações, como em projetos de layout de hospitais, escolas, aeroportos ou indústrias. No contexto industrial, a preocupação consiste em encontrar o arranjo mais eficiente de um determinado número de instalações ou equipamentos, num determinado número de locais (S. P. Singh & Sharma, 2006). O objetivo compreende minimização do *handling* de materiais e consequente minimização dos custos associados. Assim, a redução dos níveis de trabalho em curso (WIP) permite a redução dos tempos de produção, a diminuição dos danos em produtos, um maior controlo sobre o processo e a minimização do congestionamento existente. O output do FLP é um layout que especifica a localização relativa de cada departamento, máquina e/ou equipamento.

A Tabela seguinte (Tabela 4) evidencia a grande importância das tarefas relacionadas com a definição de layouts e quais os impactos negativos que a falta de investimento nesta área pode ter na organização (Brás, 2021).

| <b>Vantagens de um bom Layout</b>                         | <b>Desvantagens de um Layout pobre</b>                   |
|---|--|
| Inexistência de áreas ocupadas desnecessariamente         | Muito <i>handling</i> e custos associados                |
| Redução de trabalho indireto                              | Stock e inventários excessivos                           |
| Aumento do controlo e supervisão                          | Altos custos de manutenção e de paragens de equipamentos |
| Maior capacidade de ajuste a condições variáveis          | Aumento do número de acidentes de trabalho               |
| Melhor utilização da mão de obra, equipamentos e serviços | Falta de ergonomia nos postos de trabalho                |
| Redução de <i>handling</i> e stock                        | Altos custos associados a movimentações excessivas       |
| Aumento da segurança no trabalho                          |  |
| Aumento da satisfação dos trabalhadores                   |  |
| Diminuição de atrasos e do tempo de produção              |  |
| Aumento de capacidade de produção                         |  |
| Melhoria do ambiente de trabalho                          |  |

Tabela 4: Consequências positivas e negativas de um bom ou mau layout (Brás, 2021).

Vários fatores e problemas afetam o design de um layout, como por exemplo a variedade e volume de produção, o sistema utilizado para manuseamento e transporte de materiais, os diferentes possíveis fluxos, a forma das instalações e os locais de embarque e desembarque de materiais (Figura 5) (Drira et al., 2006).

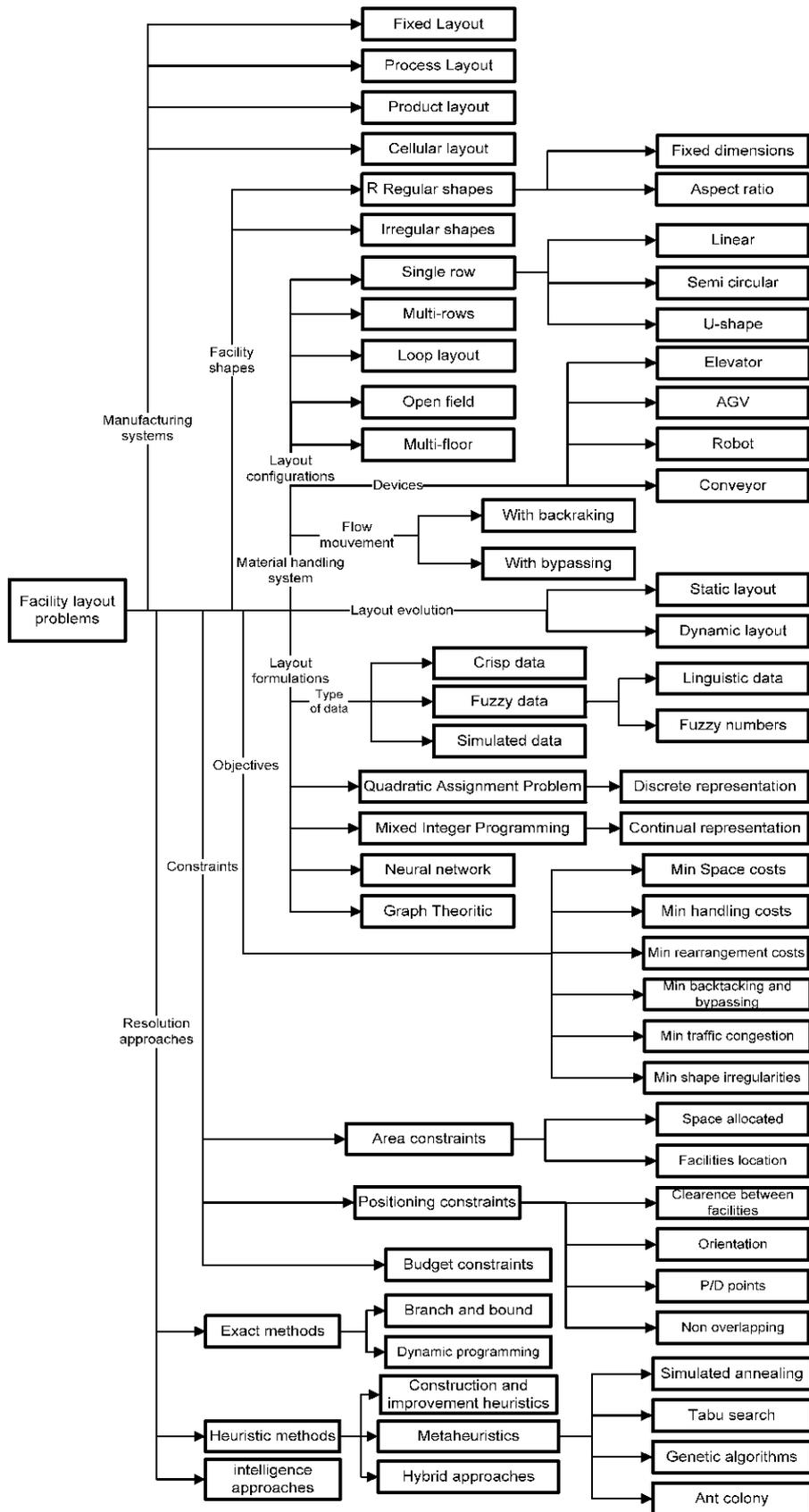


Figura 5: Representação em árvore dos problemas de layout (Dirra et al., 2006)

### 2.1.3. Layout Design

As organizações precisam de cada vez mais, se focar na redução de custos e no aumento do lucro devido ao aumento da exigência dos clientes, resultado da globalização. Desta forma, os grandes objetivos organizacionais baseiam-se na redução de custos e o aumento da produtividade dos seus processos (Haryanto et al., 2021). A implementação de princípios de produção *lean* possibilita o alcance destes objetivos, sendo cada vez mais valorizados e procurados pelas organizações. Para além disso, estes princípios permitem ainda sustentar a capacidade competitiva das organizações. Para tal, a alteração de layouts muitas vezes surge como necessidade resultante de todos os fatores anteriormente mencionados. O *layout design* aumenta e melhora a utilização dos recursos existentes e proporciona um ambiente onde ferramentas como 5S's, 7 desperdícios, kanban e JIT podem ser aplicadas (Ali Naqvi et al., 2016).

O layout industrial diz respeito à forma como um espaço físico é ocupado e utilizado. Assim, efetuar o desenho de um layout novo ou numa fábrica já existente é uma tarefa complexa, isto porque o número de variáveis e decisões a tomar é extremamente grande (Haryanto et al., 2021). O desenho do layout deve estar fortemente interrelacionado com a maneira como as operações são realizadas. Não se limita apenas em distribuir máquinas e postos de trabalho de acordo com as sequências de atividades. Deve considerar variáveis como as necessidades de espaço para realização das tarefas, as necessidades de abastecimento, espaço para stocks, produto intermédio ou produto acabado, quantidades produzidas, quantidade de turnos, entre outros. Assim, projetar um layout não consiste apenas numa atividade de design, mas sim de engenharia industrial. A definição de um bom layout é de extrema importância uma vez que este influencia, a longo prazo, o desempenho de toda a indústria e tem impacto direto na precisão e exatidão da produção. Caso o mesmo seja mal construído, pode não ser capaz de lidar com as flutuações devido à variação da procura e ao mix de produtos, o que pode ter consequências desastrosas na organização.

Uma consideração a ter no momento do estudo de um layout é o equipamento de movimentação (equipamento utilizado para mover o material de um local para outro). Este tipo de equipamento deve ser considerado no planeamento, isto porque os corredores de passagem do espaço devem ser criados tendo em conta o tipo de equipamento que será utilizado, e também porque a criação de supermercados ou *racks* de abastecimento devem ser dimensionados tendo em conta, não só as necessidades das máquinas, mas também a capacidade de transporte do equipamento.

Num contexto de I4.0, um *design de layout* baseado em dados em grande escala (*big data*) é mais eficiente tendo em conta a realidade que é vivida atualmente (mercados altamente competitivos). Assim, um layout industrial robusto e sustentável torna possível lidar com as frequentes variações do mercado, possibilitando a implementação de uma indústria 4.0, na medida em que mantém a precisão e a exatidão na fabricação dos produtos (Kumar et al., 2018). Um layout pobre pode provocar o surgimento de vários problemas, nomeadamente movimentações excessivas que geram perda de tempo por parte dos operadores e custos excessivos com empilhadoras, desperdícios e retrabalho, grandes stocks, baixa produtividade, desorganização, baixa qualidade, aumento dos tempos de ciclo, problemas ergonómicos devido a ambientes escuros, mal ventilados, quentes, entre outros, acidentes devido a obstáculos, piso não adequado e dificuldade em visualizar o fluxo produtivo. Um layout confuso cria dificuldades em perceber todo o funcionamento produtivo e dificulta a deteção de problemas.

A construção de um layout é uma decisão de longo prazo que deve ser revisto com bastante frequência e que tem em conta uma grande diversidade de fatores. Para além disso, qualquer reajuste do mesmo leva a um grande período de reavaliação e, em casos mais avançados, a grandes custos. A definição de layouts deve consistir num estudo frequente nas organizações,

isto porque a maioria dos layouts das fábricas é projetado de acordo com as condições iniciais da organização. Ao longo do tempo, vão começando a surgir gargalos devido ao crescimento do negócio. Portanto, à medida que a capacidade aumenta, o layout deve ser adaptado às mudanças internas e externas. Assim, as principais razões que levam à necessidade de uma reformulação de um layout são as mudanças no volume de produção, as mudanças no processo produtivo e na tecnologia, a alteração de produtos e a aquisição de novos equipamentos (Naik & Kallurkar, 2016). É importante mencionar que a frequência da necessidade de redesenhar o layout depende dos requisitos do espaço e da situação inicial. Assim, o design pode ser visto como um processo iterativo, contínuo e dinâmico.

Existem vários sintomas expressos pelo ambiente produtivo que alertam para a necessidade de redefinir o layout atual, são eles: a ocorrência de congestionamentos, a má utilização do espaço, o excesso de stock, as grandes distâncias percorridas por parte dos *feeders* e para manuseio de materiais, a existência de gargalos nas estações de trabalho, a ansiedade e desconforto laboral por parte dos operadores, a ocorrência de acidentes e a dificuldade em controlar operações e colaboradores.

#### 2.1.4. Tipos de Layout

Os tipos de diferentes layouts podem ser divididos em cinco: layout de processo, layout de produto, layout de posição fixa, layout de célula e layout híbrido (Sazzad Molla, 2018). O último consiste na conjugação de dois ou mais tipos de layout.

Num **layout de processo/funcional** (Figura 6), a disposição dos equipamentos e das máquinas é feita recorrendo a uma única linha e esta depende da sequência ou ordem de operações necessárias para a confeção do produto, agrupando equipamentos e operações de natureza semelhante (Drira et al., 2006). O movimento dos materiais, matérias-primas e produtos semiacabados entre os vários postos de trabalho realiza-se através de uma sequência. Assim, há uma entrada da matéria-prima no primeiro posto e entre os vários postos ocorre um movimento livre de produto semi-acabado (uma saída de um posto corresponde à entrada no posto seguinte). Para além disso, a característica mais distintiva deste tipo de layout é o agrupamento de recursos semelhantes. Isto cria um padrão de fluxo completo, onde o produto flui através de diferentes departamentos.

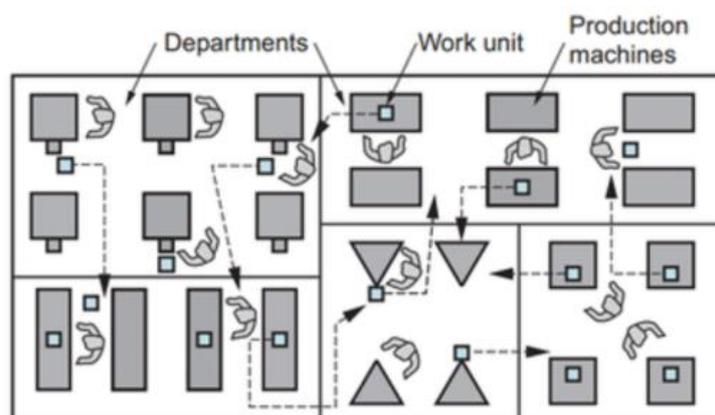


Figura 6: Layout de Processo/ Funcional (Sazzad Molla, 2018).

Os layouts de processo são encontrados principalmente em *job shops*<sup>3</sup> ou empresas que fabricam produtos personalizados em baixas quantidades, que podem exigir diferentes requisitos

<sup>3</sup> Pequenos sistemas de fabricação que lidam com processos de fabricação personalizados ou semi-personalizados.

de processamento e de seqüências das operações. Desta forma, este tipo de layout oferece a flexibilidade necessária à empresa para esta lidar com uma grande variedade de requisitos.

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

Num **layout de produto** (Figura 7) cada produto segue uma rota predefinida com uma seqüência de atividades. Os recursos semiacabados fluem ao longo de uma linha de processo, o que resulta num processo de fluxo claro, previsível e fácil de controlar. Este tipo de layouts é utilizado para produtos com altos volumes de produção e baixa personalização (Drira et al., 2006).

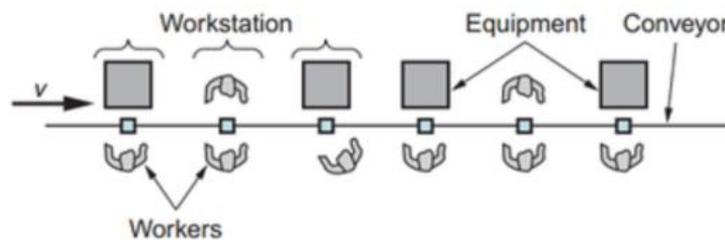


Figura 7: Layout de Produto (Sazzad Molla, 2018).

As principais vantagens deste tipo de layout são os baixos custos unitários, os grandes volumes de produção, a oportunidade para especialização de equipamentos e a movimentação fácil, clara e rápida de produto semiacabado. Como desvantagens existe a baixa flexibilidade, o trabalho repetitivo e a falta de capacidade de lidar com perturbações.

O **layout de posição fixa** (Figura 8) garante que o produto que o processo está a produzir se encontra numa posição fixa e os recursos, sejam eles pessoas, equipamentos ou máquinas, movem-se em direção ao produto. Este tipo de layout é o ideal quando se estão a produzir produtos de grandes dimensões, pesados e/ou frágeis, cuja movimentação é dificultada ou impossível (Drira et al., 2006).

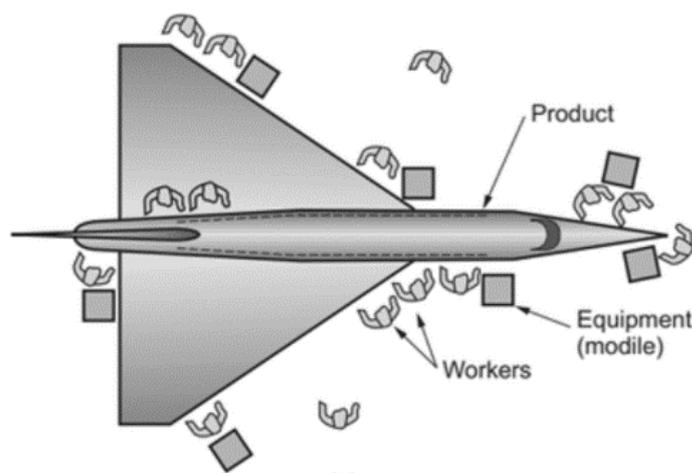


Figura 8: Layout de posição fixa (Sazzad Molla, 2018).

As vantagens deste tipo de layout são a alta flexibilidade, personalização, o facto de diminuir perturbações no produto e a grande variedade de tarefas dos operadores. Porém, os custos unitários de produção são elevados, a programação das atividades e do espaço pode ser muito complicada e há mais perdas de tempo em movimentações dos equipamentos e dos operadores.

Num **layout de célula** (Figura 9) as máquinas são agrupadas em células de acordo com a necessidade de um conjunto de produtos que aguardam processamento semelhante. Basicamente, consiste no agrupamento de máquinas e equipamentos em grupos diversos, de tal forma que cada um desses grupos seja capaz de propiciar a produção de todos os componentes de uma família de produtos. O objetivo deste tipo de layout é proporcionar uma maior produtividade uma vez que existe um melhor aproveitamento da mão de obra (Drira et al., 2006).

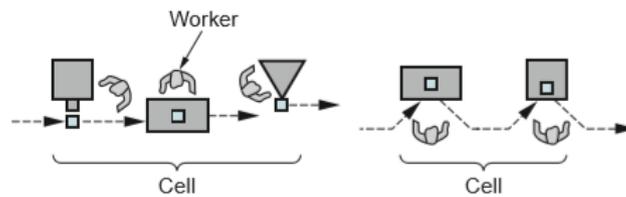


Figura 9: Layout de célula (Sazzad Molla, 2018).

Vantagens deste tipo de layout são o compromisso entre o custo e flexibilidade, a alta variedade de operações, a rapidez das operações e a forte motivação dos colaboradores, uma vez que desempenham várias tarefas. Como desvantagem existe o elevado investimento na definição do layout, uma vez que cada célula precisa de muitos equipamentos.

O tipo de layout existente no ambiente fabril deve ser definido consoante as características do produto, nomeadamente a variedade de produtos produzidos no espaço e os seus volumes de produção (Figura 10).

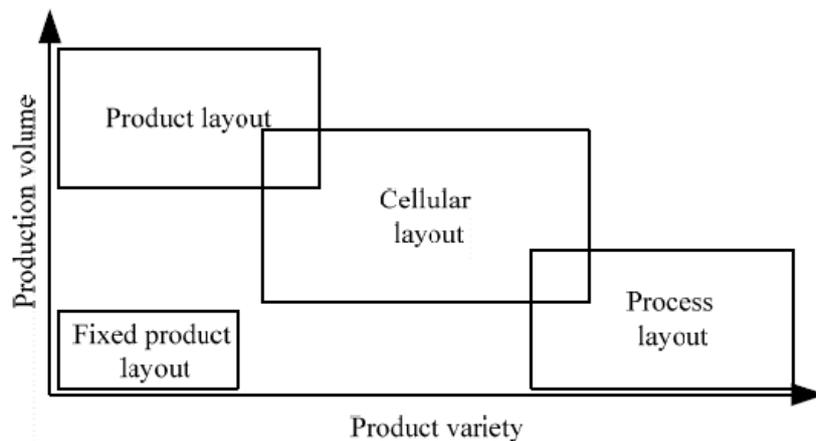


Figura 10: Impacto da variedade de produtos e volume de produção no tipo de layout (Drira et al., 2006).

Como é possível verificar na Figura 10, um layout de produto é mais adequado em situações onde a variedade de produtos é reduzida, no entanto, as poucas referências são produzidas em quantidades elevadas. Assim, o layout construído é focado no produto, e não no processo. No extremo oposto, um layout focado no processo deve ser construído quando se está perante uma realidade onde existe uma imensa variedade de produtos e, cada um deles, é produzido em pequenas quantidades. Já se tanto o volume de produção como a variedade de produtos possuem valores intermédios, havendo assim alguma variedade que é produzida em alguma quantidade, um layout de célula revela-se ser o mais adequado. Por fim, em indústrias

como a fabricação de, por exemplo, aviões, em que os produtos a produzir são de grandes dimensões, revelando extrema dificuldade ou impossibilidade de movimentação, o layout de produto fixo revela-se ser a melhor opção. Neste tipo de indústria, existe, normalmente, pouca variedade e baixo volume de produção.

### 2.1.5. Systematic Layout Planning (SLP)

O método SLP, desenvolvido por Richard Muther (Brás, 2021), permite a criação de um novo layout sem necessidade de ter em conta um antigo e consiste num procedimento que evidencia as relações lógicas existentes entre postos de trabalho ou máquinas, tendo em conta a frequência das interações. O princípio geral do método consiste em colocar duas áreas com grande frequência de interação próximas entre si (Barnwal & Dharmadhikari, 2007). Assim, o método garante uma solução onde o material é movimentado o mais rápido possível e com o menor custo possível, reduzindo o *handling* (Suhardini et al., 2017). Assim, o método SLP tem como principais objetivos a minimização de distâncias e consequente otimização de fluxo de materiais.

O método SLP (Figura 11) inicia-se com uma **análise PQRST** relativamente a todas as atividades de produção. Esta análise visa a recolha de informação que servirá de input ao método, sobre produtos (P), quantidades (Q), roteamento (R), suporte (S) e tempo (T) (Yang et al., 2000). Isto é, conhecimento e informação detalhada deve ser recolhida relativamente ao tipo de produtos produzidos, às quantidades por tipo de produto, à sequência de operações seguidas no processo, todo o equipamento de suporte existente, como *workstations*, computadores, cacifos, entre outros, e por fim, informações sobre o tempo de ciclo de cada produto e máquina (Suhardini et al., 2017). Ainda numa fase inicial, os problemas do layout atual (caso existam) devem ser identificados com o objetivo de maximizar o investimento feito no novo layout (Wiyaratn et al., 2013). Seguidamente, todo o **fluxo de material** (passo 2) entre processos e linhas de produção são representadas demonstrando a relação entre os diferentes departamentos. Importante mencionar que a designação “departamento” pode também referir-se a processos ou máquinas, caso a definição de layout em causa seja desse contexto. No passo 3- **relações de atividade**- uma análise qualitativa é realizada com vista à identificação do nível de proximidade entre diferentes departamentos. De seguida, no passo 4 - “**diagrama de relações**” - os departamentos são posicionados espacialmente e aqueles que possuem relações mais fortes são colocados próximos uns dos outros. Neste passo, existem duas fases, sendo a primeira relativa à construção de um gráfico de relacionamentos que evidencia a necessidade de proximidade entre departamentos. Um exemplo deste tipo de gráficos pode ser visualizado na Figura 12. Na coluna esquerda estão presentes os vários departamentos e/ou operações em estudo e as letras que simbolizam as necessidades de proximidade entre eles de acordo com a codificação apresentada na Tabela 5 (de Carlo et al., 2013). Relativamente aos números, estes representam os motivos pelos quais a codificação foi atribuída, seja por questões de segurança, supervisão, ou outros motivos (Sembiring et al., 2019). Na segunda fase do passo 4 são então construídos os diagramas de relação. Estes diagramas apresentam de uma forma visual

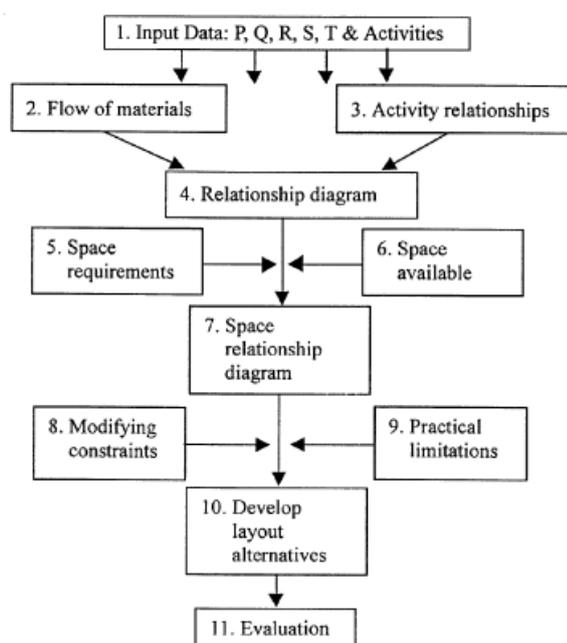
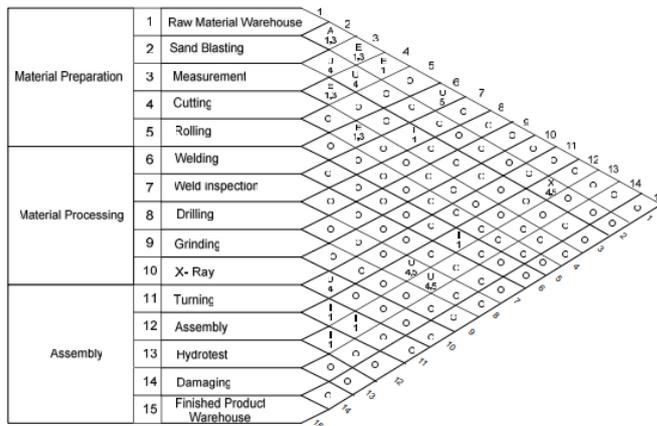


Figura 11: Método de aplicação do SLP (Suhardini et al., 2017).

maximizar o investimento feito no novo layout (Wiyaratn et al., 2013). Seguidamente, todo o **fluxo de material** (passo 2) entre processos e linhas de produção são representadas demonstrando a relação entre os diferentes departamentos. Importante mencionar que a designação “departamento” pode também referir-se a processos ou máquinas, caso a definição de layout em causa seja desse contexto. No passo 3- **relações de atividade**- uma análise qualitativa é realizada com vista à identificação do nível de proximidade entre diferentes departamentos. De seguida, no passo 4 - “**diagrama de relações**” - os departamentos são posicionados espacialmente e aqueles que possuem relações mais fortes são colocados próximos uns dos outros. Neste passo, existem duas fases, sendo a primeira relativa à construção de um gráfico de relacionamentos que evidencia a necessidade de proximidade entre departamentos. Um exemplo deste tipo de gráficos pode ser visualizado na Figura 12. Na coluna esquerda estão presentes os vários departamentos e/ou operações em estudo e as letras que simbolizam as necessidades de proximidade entre eles de acordo com a codificação apresentada na Tabela 5 (de Carlo et al., 2013). Relativamente aos números, estes representam os motivos pelos quais a codificação foi atribuída, seja por questões de segurança, supervisão, ou outros motivos (Sembiring et al., 2019). Na segunda fase do passo 4 são então construídos os diagramas de relação. Estes diagramas apresentam de uma forma visual

e rápida a necessidade de aproximação entre departamentos através da espessura das linhas- linhas espessas e vermelhas representam necessidade de aproximação e linhas finas e claras representam a falta dessa necessidade (de Carlo et al., 2013) (Figura 13).



|   |                          |
|---|--------------------------|
| A | Absolutamente necessário |
| E | Especialmente importante |
| I | Importante               |
| O | Ordinário                |
| U | Não importante           |
| X | Indesejável              |

Tabela 5: Legenda do gráfico de relações.

Figura 12: Exemplo (independente) de gráfico de relações (Sembiring et al., 2019)

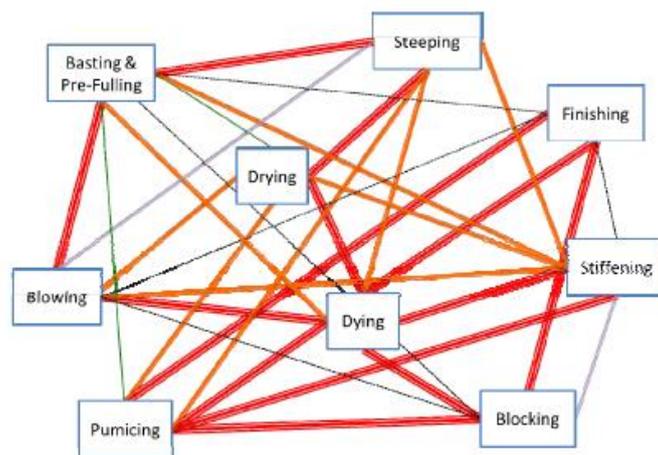


Figura 13: Exemplo de diagrama de relações (de Carlo et al., 2013).

Os passos 5 e 6- “requisitos de espaço” e “espaço disponível” têm como objetivo a determinação do espaço a ser alocado a cada departamento. O passo seguinte (passo 7), **diagrama de relacionamento espacial**, adiciona informações relativas ao espaço ocupado por departamento às informações presentes no diagrama de relações. Nesta etapa, o diagrama de relações é convertido, originando um diagrama que mapeia a área de cada departamento no contexto real, aproximando aqueles com intensas relações (Figura 14) (Matusek, 2012). **Requisitos e limitações** adicionais são consideradas e, de seguida, são desenvolvidos **layouts alternativos** (passo 10). Finalmente, no último passo, é **selecionado** um layout dos candidatos (Yang et al., 2000).

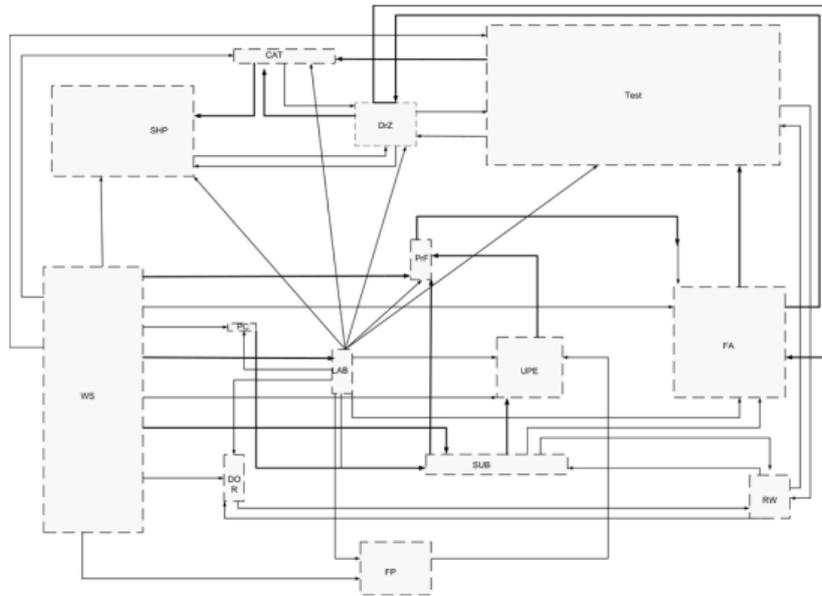


Figura 14: Exemplo de diagrama de relacionamento espacial (Matussek, 2012).

De forma resumida, o método pode ser dividido em 4 grandes fases (Suhardini et al., 2017):

1. Determinar a localização onde o novo layout será construído;
2. Desenhar o fluxo de materiais do layout atual;
3. Determinar o novo layout com detalhe;
4. Preparação e instalação do novo layout.

O método de aplicação do SLP proposto em (Ali Naqvi et al., 2016), encontra-se explicitado na Tabela 6. O respetivo método indica que ferramentas podem ser utilizadas para o desempenho de determinado passo do SLP, bem como apresenta uma descrição das ações a tomar.

| <b>Recolha de Dados</b>       | <b>Ferramentas</b>                             | <b>Abordagem Detalhada</b>   |
|-------------------------------|--|--|
| Determinar a Capacidade       | Abordagem PQRST                                | Utilizar dados de produção mensais de um certo período (por exemplo, 6 meses).       |
| Analisar Operações            | Ferramentas de estudo de trabalho e método     | Identificar desperdícios utilizando <i>flowchart</i> .                               |
| <i>Flow</i> de Materiais      | Diagrama <i>from-to</i>                        | Visitas ao <i>shoopfloor</i> .   |
| Relações entre Máquinas       | Gráfico de quilometragem com critério de graus | Incluir as necessidades de comunicação entre máquinas.                               |
| Requisitos de espaço          | Diagrama de relação de espaço                  | Identificar área total das máquinas, corredores e espaço para garantia de ergonomia. |
| Alternativas de <i>Layout</i> | Simulação                                      | Avaliação das características de todos os layouts.                                   |
| Selecionar <i>Layout</i>      | Converter a teoria para a realidade            | Máquinas e equipamentos são colocados no espaço real.                                |

Tabela 6: Sugestão de abordagem para aplicação do método SLP (Ali Naqvi et al., 2016).

Atualmente, existem vários métodos para o desenho de layout que recorrem à aplicação de algoritmos e a simulações. No entanto, o método SLP é considerado interessante por se tratar de um método de fácil compreensão e aplicação.

### 2.1.6. Problemas de Programação Linear

A programação linear (PL) é um ramo da programação matemática que faz parte dos métodos quantitativos de apoio à tomada de decisão, e que diz respeito à afetação de recursos escassos a determinados usos, de forma a satisfazer um objetivo, sujeito a um conjunto de condições ou restrições (Nabli, 2009). Esta programação é uma das técnicas mais úteis e utilizadas de investigação operacional (Sallan et al., 2015) e é aplicável quando o objetivo e as restrições do problema podem ser traduzidos através de funções lineares<sup>4</sup> (Andersen & Andersen, 1995). A solução que satisfaz simultaneamente a função objetivo e as várias restrições é designada por solução ótima.

A popularidade dos problemas de programação linear deve-se ao facto de permitir modelar uma grande variedade de situações relativas à maior diversidade de áreas, como por exemplo, economia, física, engenharia, gestão, entre outros, com um *framework* simples. Para além disso, é um problema de fácil resolução, uma vez que o Simplex permite resolver a maioria dos problemas lineares de forma eficiente.

A origem do método remete para 1937, quando Leonid Kantorovich publicou o seu primeiro artigo intitulado “*A new method of solving some classes of extremal problems*”. Mais tarde, Kantorovich desenvolveu a programação linear como uma técnica de planeamento de gastos e retornos financeiros, com o objetivo de otimizar os custos para o exército e aumentar as perdas para o inimigo. O método manteve-se em segredo até 1947, quando George B. Dantzig publicou o método Simplex para resolver programação linear (Sallan et al., 2015).

O modelo de programação linear inclui N variáveis para as quais se pretende determinar o valor ótimo, isto é, o valor que minimiza ou maximiza a função objetivo representada por uma função linear. Os valores atribuídos às variáveis N devem respeitar as restrições M que representam as condições do problema. As restrições são funções lineares que são representadas, normalmente, por inequações. No entanto, também podem existir restrições de igual. É ainda necessário assegurar que as N variáveis do problema pertencem a um determinado conjunto de valores.

Em suma, um modelo de programação linear consiste em determinar o valor da solução  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  que, neste caso, maximize a função objetivo apresentada, ao mesmo tempo que respeite as restrições. O problema é então formalizado da seguinte forma:

$$\text{Max } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n c_j x_j;$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m;$$

Onde:

- $x_j \geq 0$  são as variáveis de decisão;
- $c_j$  são os coeficientes de lucro ou custo para a variável  $x_j$ ;
- $f(x) = z$  é a função objetivo a ser maximizada;
- $a_{ij}$  são coeficientes da variável  $x_j$  na restrição  $i$ ;
- $b_i$  é o valor limite da restrição  $i$ ;
- $j = 1, 2, \dots, n$  é o número de variáveis;
- $i = 1, 2, \dots, m$  é o número de restrições impostas.

Uma variante deste tipo de problemas de PL são os de programação inteira (PLI), onde são consideradas variáveis que assumem valores inteiros. Este problema é de mais difícil

---

<sup>4</sup> Uma função linear é uma função  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  definida como  $f(x) = a x$ , sendo  $a$  um número real e diferente de zero.

resolução do que os de programação linear (PL). Existem quatro tipos de problemas de programação linear inteira, nomeadamente, problemas de programação inteira pura, problemas de programação inteira mista, problemas binários puros (ou Zero-Um) e problemas de programação binária mista.

Os modelos de PLI são modelos PL, sujeitos a restrições adicionais que indicam que algumas ou todas as variáveis são discretas, conforme é demonstrado na Tabela 7, onde é apresentado um exemplo de problema de PL e correspondente PLI.

| PL  | PLI   |
|---|---|
| Max F= $4x_1 - 5x_2$<br>Sujeito a: $2x_1 + 3x_2 \leq 8$<br>$5x_1 + 2x_2 \leq 11$<br>$x_1, x_2 \geq 0$ | Max F= $4x_1 - 5x_2$<br>Sujeito a: $2x_1 + 3x_2 \leq 8$<br>$5x_1 + 2x_2 \leq 11$<br>$x_1, x_2 \geq 0$ e <b>inteiras</b> |

Tabela 7: Exemplo de um problema de PL e conversão para PLI.

Existe ainda o caso especial de variáveis inteiras: as variáveis binárias onde apenas podem ser tomados os valores 0 (zero) e 1 (um). Quando todas as variáveis do modelo são binárias, então o modelo é designado por Programação Inteira Binária. Neste tipo de problemas são expressas situações dicotómicas (sim ou não).

### 2.1.7. Problema da Mochila

O problema da mochila, também conhecido como problema de alocação, ou, do inglês, *knapsack problem*, consiste num problema de otimização combinatória<sup>5</sup> que foi reportado pela primeira vez na literatura por Dantzig em 1957 ((Luila, 2008), (Bretthauer & Shetty, 2001)). Supondo que temos um conjunto de objetos com um valor e peso conhecidos, e ainda uma mochila com uma capacidade limitada, o objetivo do problema da mochila é determinar o subconjunto dos objetos a colocar na mochila, que não excede a sua capacidade e que, ao mesmo tempo, maximiza o seu valor total (Luila, 2008).

Sendo um problema de natureza combinatória, a obtenção de uma solução ótima pode ser alcançada recorrendo à enumeração de todas as soluções admissíveis e, de seguida, à comparação entre elas com vista à identificação da melhor solução (Clemente, 2010). Porém, a obtenção de uma solução com recurso a esta metodologia pode ser um processo extremamente complexo que exige um grande esforço computacional, tornando-o inexecutável. Desta forma, este método de resolução só seria viável em problemas de pequenas dimensões.

O problema da mochila na sua vertente mais geral- monocritério- pode ser definido da forma seguinte: contendo um conjunto  $N$  de objetos que possui  $n$  objetos com um certo valor associado  $c_n$  e peso  $p_n$ , e considerando ainda a capacidade da mochila  $P$ , o objetivo é selecionar um subconjunto de  $N$  cujo peso não excede a capacidade  $P$  da mochila, ao mesmo tempo que maximiza o seu valor total (Luila, 2008). Este problema pode ser formulado da seguinte forma (Morais Da Silva, 2003):

$$\begin{aligned} \text{Max } f(x) &= \sum_{n=1}^N c_n x_n, \\ \text{Sujeito a } &\sum_{n=1}^N p_n x_n \leq P, \\ &x_n \in \{0, 1\}; n=1, \dots, N. \end{aligned}$$

<sup>5</sup> A Otimização Combinatória diz respeito ao ramo da ciência da computação e da matemática aplicada que estuda problemas de otimização em conjuntos discretos e finitos e que tem como objetivo encontrar uma ou mais soluções de acordo com uma função objetivo, dentro de uma região admissível definida para o problema em estudo.

- $N$ = número de objetos;
- $p_n$ = peso unitário do objeto “ $n$ ” ( $n=1, 2, \dots, N$ );
- $c_n$ = valor do objeto “ $n$ ” ( $n=1, 2, \dots, N$ );
- $P$ = capacidade máxima de alocação em unidades de peso.

Neste contexto monocritério, o conceito de solução ótima é válido uma vez que existirá apenas uma solução que maximiza a função objetivo. Assim, a solução ótima poderá ser representada pelo vetor  $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*)$  que consiste no conjunto de objetos que deverão ser colocados na mochila com o objetivo de obter uma solução ótima de valor  $z^*$ .

Diversas aplicações práticas deste problema contêm restrições, como por exemplo limitações, prioridades e urgências, o que conduz a novas variantes do modelo básico (Luila, 2008). Assim, partindo do problema da mochila monocritério geral, outras variáveis do problema podem ser consideradas, como por exemplo o problema da mochila inteiro que apenas considera valores inteiros, o problema da mochila binário onde as variáveis de decisão serão 0 (zero) ou 1 (um), o problema da mochila restrito, onde são acrescentadas condições adicionais, como por exemplo, a limitação da quantidade de objetos a ser selecionados, entre outras variantes.

. Um exemplo de aplicação do problema poderá ser a seleção de projetos onde o objetivo máximo seria encontrar um subconjunto de  $n$  projetos que maximize todos os recursos e que respeite todas as restrições. Outros exemplos de aplicação do problema poderão ser o planejamento de capacidade de produção, planejamento de produção, controlo orçamental, problemas de embalagem e de carregamento de equipamentos (Bretthauer & Shetty, 2001).

#### 2.1.8. Problema de Afetação

O problema de afetação é um dos problemas de otimização combinatória mais importantes, mais estudados e com a maior variedade de aplicações, nomeadamente em problemas de definição de rotas, atribuição de tarefas, entre outros (Akgil, 1992). Foi investigado por G. Monge, em 1784, e desde então desenvolvido por inúmeros investigadores, sendo o primeiro algoritmo publicado por Easterfield em 1946 (Schrijver, 2005).

Este tipo de problemas é um caso particular do problema de transporte<sup>6</sup> onde o objetivo é atribuir um número de recursos a um número de atividades, de modo a minimizar o custo total ou maximizar o lucro total da alocação (Silva & Malcata, 2018). A necessidade de atribuição de recursos a atividades surge dos variados graus de eficiência dos recursos, como homens ou máquinas. Daqui, a realização das atividades poderá ter diferentes custos ou lucros dependendo dos recursos que lhe são atribuídos. Assim, o problema consiste em responder à seguinte questão: como devem ser feitas as atribuições de recursos a tarefas, de modo a otimizar o resultado esperado.

O problema a resolver contém uma origem, designada por recurso  $a_i$ , e um destino, designado por tarefa  $b_j$ , de forma a que existem  $I$  recursos a alocar a  $J$  tarefas. O objetivo é afetar cada recurso a uma tarefa, originando um custo de afetação  $c_{ij}$ . A afetação de um recurso a uma tarefa é representada por  $x_{ij}$ , tal que  $x_{ij}$  assume o valor nulo quando o recurso  $i$  não é afetado à tarefa  $j$ , e assume o valor unitário quando o recurso  $i$  é afetado à tarefa  $j$ . O problema pode ser modelado matematicamente da seguinte forma (Morais Da Silva, 2017):

---

<sup>6</sup> O problema de transporte é um problema de programação linear que tem como objetivo determinar a forma mais eficiente de enviar um bem disponível em quantidades limitadas, que se encontra em determinados locais, para os locais onde é necessário.

$$\text{Min } f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \times x_{ij}$$

Sujeito a:

$$\text{Para todas as origens } m \sum_{j=1}^n x_{mj} = 1$$

$$\text{Para todos os destinos } n \sum_{i=1}^m x_{in} = 1$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}$$

Estes problemas são ideais para, por exemplo, formular situações em que existe um certo número de operários a afetar a um número de tarefas. Assim, se  $x_{ij}=1$ , o operário  $i$  efetua a tarefa  $j$ , e se  $x_{ij}=0$  o operário  $i$  não efetua a tarefa  $j$ . Se  $c_{ij}$  representar o tempo que o operário  $i$  demora a desempenhar a tarefa  $j$ , o objetivo consiste em distribuir as tarefas pelos operários, de forma que a soma dos tempos por eles despendidos seja mínima. Os problemas de afetação podem, desta forma, ser tratados como problemas de transportes.



# Capítulo 3

## 3.1. Yazaki Saltano- Moldagem

Nesta secção, irá ser brevemente apresentada a área da fábrica que sofrerá uma reestruturação de layout: a área da moldagem. Primeiramente, é necessário compreender quais as atividades relativas à moldagem. Nesta zona são produzidos os conectores (Figura 15). Estes conectores são constituídos por várias partes que são injetadas e são posteriormente montadas. Esses conectores permitem que a corrente elétrica, conduzida pelos fios elétricos, chegue aos dispositivos automóveis.



Figura 15: Exemplo de conector produzido pela Yazaki (Yazaki Europe, 2022).

Os componentes dos conectores são produzidos através de processos de **injeção**. Assim, uma grande área do chão de fábrica é relativa à injeção dos componentes. Nesse espaço estão presentes dezenas de máquinas injetoras com diferentes tonelagens. Para ser possível a injeção dos mesmos, é necessária a presença de um espaço onde a **matéria-prima** que será fornecida à injeção se encontra. Existe também um **armazém de produto acabado e produto intermédio** onde estão presentes todos os produtos que foram injetados internamente, componentes subcontratados, e produto acabado. Antes dos conectores serem armazenados, pode ser necessária a sua **pesagem e embalagem**. Assim, existe uma pequena área relativa ao embalagem dos mesmos. Quando os conectores não são produzidos internamente, passam por uma **zona de sorting**<sup>7</sup> onde são inspecionados. É também nesta zona que são feitas avaliações de qualidade dos produtos. Existe ainda uma zona onde se guardam os **moldes** que serão colocados nas várias máquinas injetoras e onde se guardam todas as **ferramentas** necessárias aos processos de moldagem. Concluídos os processos relativos à injeção dos conectores, é necessário um espaço para a **montagem** dos mesmos que pode ser feita através de processos totalmente **automáticos**, sem necessidade de intervenção humana, ou através de processos **semiautomáticos**. A montagem consiste na junção dos vários componentes que formam um conector.

As áreas existentes na zona de montagem da empresa são:

- 1) Zona da Matéria-Prima e Reciclagem;
- 2) Zona de Injeção P2;
- 3) Zona de Injeção P1;
- 4) *Tooling Center* e Armazém de Moldes;
- 5) Armazém da Montagem;
- 6) Zona de Montagem- processos Automáticos;
- 7) Zona de Pesagem e Embalamento;
- 8) Zona de Montagem- processos Semiautomáticos;
- 9) Zona de *Sorting*.

---

<sup>7</sup> Consiste em identificar itens num sistema e desviá-los para os seus respetivos destinos.

Em seguida será apresentado um resumo dos vários processos conduzidos na moldagem:

-Abastecimento da Matéria-Prima: Este processo consiste no abastecimento da matéria-prima necessária para que toda a produção seja efetuada;

-Reciclagem: Consiste na reciclagem dos gitos (desperdícios do processo de injeção) de forma a recolocar o material reciclado no processo produtivo;

-Alimentação das Máquinas de Injeção: Processo que consiste na alimentação das máquinas de injeção com a matéria-prima, após esta sofrer um processo de desumidificação;

-Mistura/Despoeiramento: Consiste em misturar a matéria-prima virgem com a reciclada e em retirar o pó da matéria-prima antes desta entrar no processo de desumidificação;

-Secagem/Desumidificação: Desumidificar a matéria-prima, previamente preparada, antes de entrar no processo de injeção;

-Injeção do Produto: Plasticização/derretimento de um termoplástico granulado, através de um cilindro de metal aquecido. Dentro desse cilindro é encostado um sem-fim<sup>8</sup> que plasticiza o material acumulado. Após esse processo, o material é empurrado pelo sem-fim, e injetado dentro da cavidade de um molde que contém as dimensões do produto final. Depois de um período de arrefecimento, a peça é extraída do molde;

-Montagem: Após a injeção dos componentes, ocorrem processos de montagem onde os produtos injetados são montados entre si, formando os conectores que são vendidos ao cliente. Os processos de montagem podem ser totalmente automáticos, recorrendo a equipamentos de montagem que apenas necessitam de ser abastecidos pela mão humana, ou podem ser feitos através de processos semiautomáticos, onde existe a vertente automática e a vertente manual.

### 3.2. A Área de Montagem

Esta secção tem como objetivo apresentar brevemente o funcionamento e os constituintes do espaço de montagem presente na fábrica. Após o processo de injeção de componentes realizado na empresa, estes são montados no espaço de montagem, obtendo os conectores. O processo de montagem tanto pode ser realizado internamente, como também pode ser um processo subcontratado a outras organizações. Para além disso, existe uma zona de montagem automática e uma zona semiautomática.

Relativamente à **área de montagem automática** relacionada com o projeto, esta contém 15 máquinas de montagem, 3 *workstations*, 8 *racks* de produto IN e 1 mesa de trabalho (Tabela 8). Para além disso, cinco das máquinas presentes neste espaço necessitam de seguir para um processo de embalamento que se realiza na embolsadeira. Este equipamento, atualmente, não se encontra no espaço de montagem, mas sim, numa outra área próxima. O funcionamento geral desta área consiste apenas em alimentar as várias máquinas de montagem com as referências que originam o conector a produzir, retirar o produto acabado (conectores embalados) das mesmas e efetuar etiquetagem (Figura 16). Para as cinco máquinas que necessitam de ir à embolsadeira, o processo é semelhante, no entanto o output da máquina de montagem é transportado para a embolsadeira onde é embalado e daqui surge o produto acabado (Figura 17). Assim, ao contrário do que é considerado comum, os processos de montagem que são conduzidos neste espaço são considerados de “ponto único”, o que quer dizer que as várias máquinas presentes no espaço são independentes entre si, contendo uma entrada, uma ação (montagem) e uma saída (produto acabado).

---

<sup>8</sup> O fuso roscado no interior do cilindro de plasticização.

| Equipamento  | Quantidade | Considerações  | Quantidade na Nova Área | Considerações   |
|--|------------|--|-------------------------|---|
| <b>Máquinas Montagem</b>   | 15         | Fluxo do processo representado nas Figuras 16 e 17.  | 27                      | As novas máquinas já se encontram encomendadas e chegarão às instalações entre 2022 e 2025. |
| <b>Workstations</b>  | 3          | Número extremamente reduzido tendo em conta as necessidades.   | A definir               | A definir conjuntamente com a chefe da área e recorrendo a métodos teóricos.                |
| <b>Racks de abastecimento</b>  | 8          | Desorganização. Uma rack de abastecimento alimenta várias máquinas e algumas exigem grandes distâncias a percorrer.  | 27                      | Uma por cada máquina  |
| <b>Mesas de trabalho</b>   | 1          | Número insuficiente. Única mesa para trabalho existente é mal posicionada.   | A definir               | Localizadas no escritório   |
| <b>Embolsadeiras (não presente no layout atual, mas irá ser inserida no layout futuro)</b> | 1          | Equipamento que tem como objetivo realizar embalagem dos conectores montados. Apenas cinco máquinas de montagem necessitam de seguir para este processo de embalagem. As restantes máquinas já têm como output o produto embalado. | 2                       | Localizado fora do espaço de montagem por questões de limitação de espaço atual.            |

Tabela 8: Máquinas e Equipamentos existentes na área de montagem.

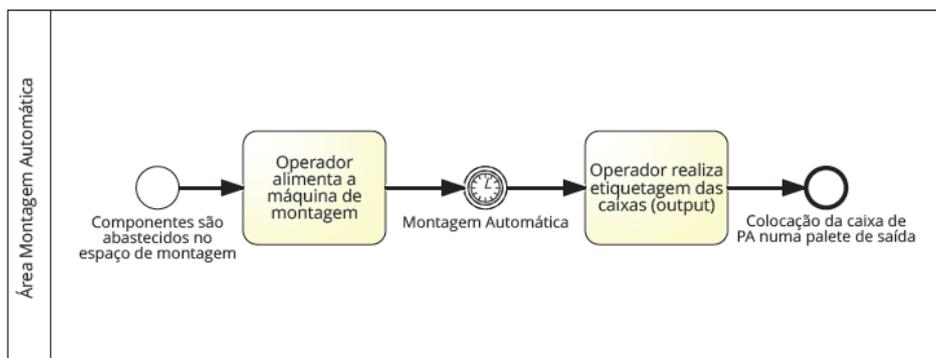


Figura 16: Processo de Montagem Standard.

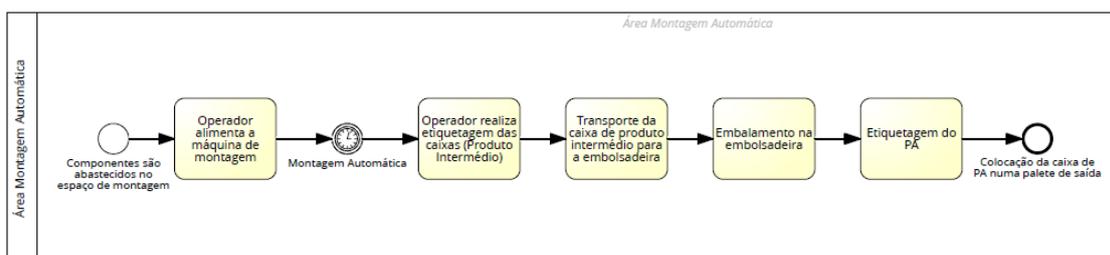
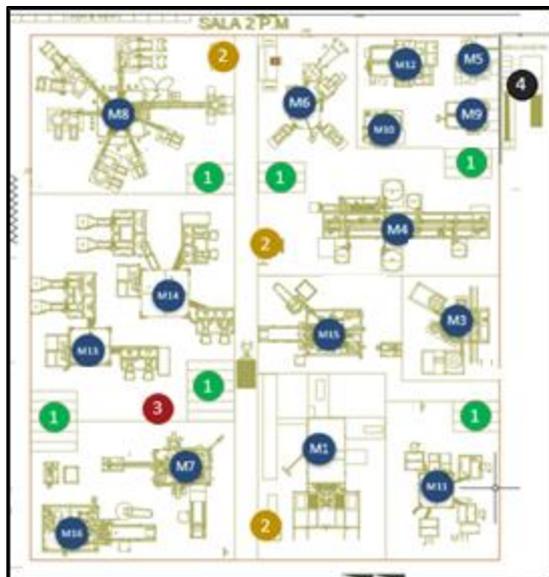


Figura 17: Processo de Montagem com Embolsadeira.

### Relação entre os tipos de layout tradicionais e o layout da área de montagem

O tipo de **layout da área de montagem automática da empresa Yazaki Saltano de Ovar** aproxima-se a um **layout de produto**, no entanto não é inteiramente caracterizado por este. Sendo assim, e como muitos dos métodos para design de layouts expostos na secção 2.1.4 são específicos a cada um destes cinco tipos – layout de processo, layout de produto, layout de posição fixa, layout de célula e layout híbrido-, será necessária uma abordagem diferente para construção do layout. Os conectores são montados em grandes quantidades e possuem baixa personalização, isto porque um equipamento de montagem monta uma família de conectores muito semelhantes entre si. No entanto, para todas as referências de produtos da mesma família, o procedimento é o mesmo. Para a montagem dos vários conectores, apenas é necessária uma máquina de montagem, que é alimentada manualmente pelos vários componentes e, automaticamente, efetua a montagem dos mesmos, originando o produto final. Para a realização da montagem dos conectores, é então necessária apenas a máquina automática. Assim, todo o espaço de montagem é constituído por quinze máquinas automáticas independentes umas das outras, formando quinze subáreas independentes, onde cada componente segue um fluxo claro e simples de “ponto único”. Concluindo, uma vez que as quinze máquinas são independentes entre si, não existindo fluxo entre elas, na definição do layout devem ser analisados outros fatores que possam ser críticos: por exemplo as rotas de abastecimento de material, as rotas de recolha de produto acabado, a taxa de utilização das máquinas, a facilidade de acesso a equipamentos de manutenção, entre outros. Tendo isto em conta, muitos dos métodos de *design de layout* encontrados e estudados não se podem aplicar, na íntegra, neste caso em específico, uma vez que a grande maioria se refere a zonas de produção onde existe fluxo entre máquinas e equipamentos. O layout do espaço atual pode ser visualizado na Figura 18.



|   |   |
|---|---|
| 1 | Racks de abastecimento                  |
| 2 | Workstations                            |
| 3 | Mesa de trabalho                        |
| 4 | Embolsadeira (fora da área de montagem) |
| M | Máquinas de montagem                    |

Tabela 9: Legenda do layout da área de montagem.

Figura 18: Layout atual do espaço de montagem.

### Relação entre I4.0 e automação e o layout da área de montagem

Como já foi referido, os processos de montagem existentes na área de montagem da empresa cujo layout será reestruturado, são processos completamente automáticos. Sem a robotização existente, este espaço teria uma constituição distinta, onde existiriam linhas de montagem com vários operadores que desempenhavam tarefas contínuas e repetitivas. Assim, as máquinas de montagem automáticas presentes no espaço permitem a automatização de todas as

atividades de montagem de conectores, o que se reflete no aumento considerável da taxa de produção, na redução de necessidade de recursos humanos, na diminuição de erros e na redução de espaço ocupado. Sem esta automatização seria necessária a existência de uma linha de montagem. Um exemplo é apresentado nas Figuras 19 e 20, relativo a uma máquina de montagem específica designada por M15. Nesta máquina de montagem automática, é fabricada uma família de conectores que possui seis componentes. Assim, a máquina M15 possui seis zonas de alimentação de componentes injetados, e contém cinco estações de trabalho, integradas na máquina, onde estes componentes são montados entre si. Na Figura 19, é possível verificar a realidade automatizada que corresponde ao contexto da Yazaki Saltano. O processo de montagem do conector produzido na máquina M15 necessita apenas do espaço relativo à máquina apresentada na Figura 19. Já na Figura 20, é apresentada como seria a realidade caso não existisse a robotização. Seria necessária uma linha de montagem com cinco postos de trabalho, onde, em cada um deles, seria montado um dos seis componentes que constituem o conector aqui fabricado. Seria necessário ainda um posto final de embalagem. Através destas imagens é possível evidenciar a grande diferença entre uma realidade automatizada e outra completamente manual.

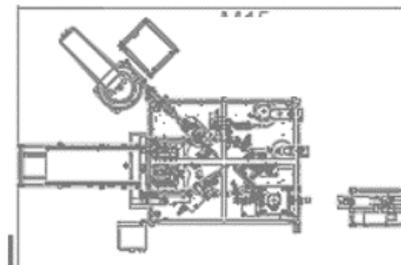


Figura 19: Máquina de montagem M15, da Yazaki.

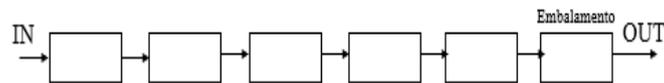


Figura 20: Linha de montagem para o processo realizado na máquina M15.

### 3.3. A Nova Área de Montagem

Na Figura 21 é possível observar a localização da área de montagem inicial, rodeado a verde, e o espaço para onde esta será transportada, sombreado. O novo espaço, em construção, designado por “I” é consideravelmente maior, o que permitirá a criação de melhores condições de trabalho.

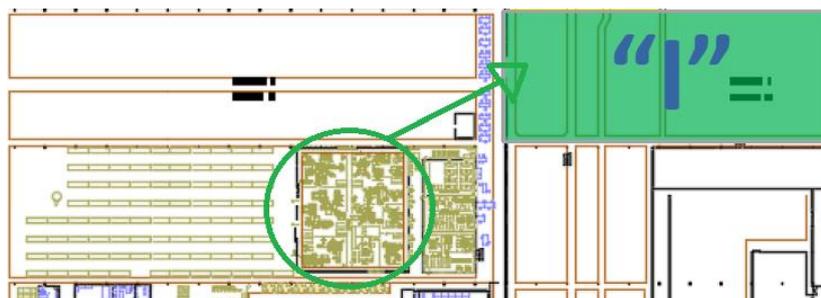


Figura 21: Espaço de montagem atual vs. Futuro ("I").

Um dos grandes problemas existentes no espaço de montagem é a entropia entre os equipamentos e funcionários, que gera uma falta de produtividade. Com o objetivo de identificar as possíveis causas para estes fenómenos, embora estas sejam visíveis e facilmente identificáveis, foi elaborado o diagramas de causa efeito presente na Figura 22, cuja finalidade é a estruturação e organização de raciocínio, que visa a representação entre um “efeito” - entropia e falta de produtividade” - e as suas possíveis causas (Hristoski et al., 2017).



Figura 22: Diagrama de Ishikawa- entropia na área de montagem.

Através da observação da zona de trabalho e do diagrama de Ishikawa apresentado, é possível concluir que os principais motivos para a existência de níveis de entropia elevados na área de montagem são (i) a proximidade das máquinas e (ii) a falta de espaço existente para deslocações e para possíveis instalações de novos equipamentos. Foi possível confirmar o estado caótico da área através das várias visitas que foram realizadas. Visitas estas que permitiram observar todo o processo de trabalho dos operadores. Não existia espaço nem adaptações para dispositivos como computadoras e impressoras. Não havia ligações necessárias à rede e não havia espaço para deslocações. As linhas amarelas existentes no chão que representavam os corredores, não eram visíveis uma vez que os equipamentos as sobrepõem. Por fim, a necessidade de partilha de equipamentos era também uma grande fonte de entropia entre operadores. Contudo, a necessidade de mudança era obrigatória uma vez que, não só o ambiente era caótico, como também não havia qualquer espaço para futuras inovações.

### 3.4. Definição de um Layout Empírico V1

Uma vez que diversas decisões relacionadas com a nova área de montagem deveriam receber inputs de diversos departamentos como o de higiene e segurança, informático, qualidade, logística, entre outros, duas sessões de *brainstorming* foram desenvolvidas com o objetivo de receber todos os inputs que poderiam ser importantes para a construção do layout. Através dos mesmos, foi criado um layout inicial que viria a ser otimizado. Estas sessões envolveram a equipa de engenharia numa primeira fase, e numa segunda fase envolveram alguns responsáveis de vários departamentos da empresa, com o objetivo de fornecerem inputs mais abrangentes. Foram discutidos assuntos que viriam a influenciar na decisão da distribuição das máquinas na nova área de montagem, assuntos esses que incluíam temas como a ergonomia e os fluxos de materiais existentes. Os inputs recolhidos consideravam fatores como os processos produtivos atuais,

gestão visual, *know-how* dos operadores, responsáveis pelo espaço, e membros de outros departamentos, opiniões dos operadores e cadência geral das máquinas.

Antes de mais, é importante definir quais as máquinas de montagem existentes no espaço e quais as novas máquinas de montagem que irão ser implementadas (Tabela 10).

| <b>Máquinas<br/>Atuais</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Novas<br/>Máquinas</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| <b>M1</b>                  | 43,60                       | <b>M17</b>                | 56,00                       |
| <b>M3</b>                  | 18,70                       | <b>M18</b>                | 10,00                       |
| <b>M4</b>                  | 42,00                       | <b>M19</b>                | 33,00                       |
| <b>M5</b>                  | 7,30                        | <b>M20</b>                | 33,00                       |
| <b>M6</b>                  | 20,20                       | <b>M21</b>                | 26,00                       |
| <b>M7</b>                  | 26,00                       | <b>M22</b>                | 33,00                       |
| <b>M8</b>                  | 56,00                       | <b>M23</b>                | 26,00                       |
| <b>M9</b>                  | 7,30                        | <b>M24</b>                | 26,00                       |
| <b>M10</b>                 | 7,30                        | <b>M25</b>                | 26,00                       |
| <b>M11</b>                 | 33,00                       | <b>M26</b>                | 26,00                       |
| <b>M12</b>                 | 7,30                        | <b>M27</b>                | 26,00                       |
| <b>M13</b>                 | 43,00                       | <b>M28</b>                | 26,00                       |
| <b>M14</b>                 | 43,00                       | <b>M29</b>                | 26,00                       |
| <b>M15</b>                 | 26,00                       |                           |                             |
| <b>M16</b>                 | 26,00                       |                           |                             |

Tabela 10: Máquinas de montagem automáticas atuais e novas.

Após considerar todos os fatores fornecidos pelos vários departamentos, foram definidos níveis de importância que possibilitaram obter as seguintes conclusões:

#### **A área deve ser climatizada**

Uma área de trabalho climatizada permite manter o ambiente de trabalho adequado, tendo resultados diretos na produtividade dos colaboradores, na durabilidade dos equipamentos e até na poupança energética. Assim, tendo em conta o ambiente fabril existente na área de montagem atual, era clara a necessidade de uma correta climatização do novo espaço para efeitos de conservação dos equipamentos, dos produtos e, uma vez que as máquinas existentes produzem muito calor, para a criação de um bom ambiente de trabalho com temperaturas reguladas. Para tal, era importante ter em conta vários fatores para se obter uma correta climatização do espaço, nomeadamente o tamanho da área a ser climatizada, quais as características do edifício (orientação e isolamento, por exemplo), qual a distribuição do espaço a climatizar, isto é, se é uma área aberta ou com vários pontos de obstrução e qual será o calor gerado internamente pelas pessoas, iluminação e equipamentos.

Tendo conhecimento sobre estes fatores, as informações foram comunicadas à empresa responsável pelas obras de construção, que desenvolveu o plano de obras de acordo com as necessidades.

#### **A sala deve ser limpa com antecâmara**

Uma antecâmara é um espaço fechado que separa duas ou mais áreas de trabalho que possuem necessidades de limpeza distintas. O objetivo da antecâmara é controlar o fluxo de ar entre as salas separadas.

O novo espaço de montagem devia de se tratar de um espaço limpo, evitando contaminações exteriores vindas de outras áreas (por exemplo a área da reciclagem ou injeção). Tendo em conta o enorme valor monetário dos equipamentos de montagem automáticos, é clara a necessidade da sua preservação. Para além disso, trata-se de um espaço onde componentes delicados são produzidos, cuja ausência de contaminação dos mesmos é um aspeto crítico a ser respeitado. Assim, através da limpeza exigente do espaço, a durabilidade dos equipamentos é garantida ao mesmo tempo que as contaminações dos produtos IN e OUT são evitadas.

### **Máquinas com maior cadência localizadas mais perto do armazém**

Máquinas com maior cadência terão um maior output, necessitando de um maior número de deslocações por parte do responsável por alimentar as máquinas e por parte do responsável por transportar o produto OUT. Sendo assim, é imperativo reduzir a distância das viagens realizadas pelos funcionários. Desta forma, máquinas com maior output irão ficar nas áreas mais próximas do armazém de montagem, por forma a reduzir as distâncias percorridas. Consequentemente, máquinas com uma menor cadência e com menores necessidades de abastecimento serão localizadas em pontos mais distantes do armazém. Da mesma forma, máquinas em fim de vida deverão também ser afastadas do armazém.

### **Existirá um escritório separado das máquinas**

Atualmente, a responsável e coordenadora do espaço está localizada numa secretária posicionada entre as máquinas de montagem. Estas funcionárias realizam trabalhos que necessitam de silêncio para efeitos de concentração. Neste momento, tais atividades são realizadas num espaço extremamente ruidoso que dificulta a concentração. Uma vez que todos os equipamentos de montagem produzem bastante ruído, torna-se difícil a realização de reuniões no espaço. Para além disso, seria importante incluir membros do departamento de qualidade na equipa de montagem para efeitos de monitorização dos processos. Assim, a construção de um escritório isolado permitirá responder a todas as necessidades mencionadas, ao mesmo tempo que cria um espaço de trabalho ergonómico e adequado.

### **Tapetes anti fadiga**

Medida implementada pelo departamento de higiene e segurança que visa aumentar a ergonomia dos postos de trabalho onde são desempenhadas atividades que podem ter efeitos prejudiciais à saúde, aumentando o bom desempenho dos trabalhos.

### **Corredor Central**

Com vista à criação de um espaço de trabalho onde poderá ser implementado, no futuro, um AGV (*Automatic Guided Vehicle*) para abastecimento das máquinas, um corredor central de 2,35 metros de largura deverá percorrer o novo espaço de montagem.

### **Incorporação de Embolsadeiras**

Uma vez que alguns equipamentos de montagem necessitam de seguir para um processo de embalagem realizado na embolsadeira, foi decidido que esse equipamento deveria integrar na nova área de montagem, bem como todos os processos de embalagem auxiliares. Assim, uma área dedicada a estes processos será colocada na nova área de montagem.

### **Espaço para armazenamento de bens pessoais**

Para obtenção de um espaço mais organizado e com separação entre bens pessoais (mochilas, lancheiras, entre outros) e equipamentos da empresa, será criada uma sala com cacifos onde todos os operários deverão deixar os seus bens pessoais armazenados de forma segura. Será neste espaço que a antecâmara será localizada.

### Aproximar máquinas novas entre si

Por fim, com o objetivo de evitar a interferência entre a montagem de novas máquinas e a deslocação de máquinas atuais, foi decidido que dever-se-ia afastar o máximo possível as máquinas novas das atuais.

Considerando todas as conclusões resultantes das sessões de *brainstorming*, foi feita uma síntese (Tabela 11) e construído o Layout V1 apresentado nas Figuras 23 e 24, com recurso à ferramenta Auto CAD.

| Equipamento                       | Considerações  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Embolsadeira</b>               | Localizada junto à entrada do espaço de montagem por se tratar da zona mais próxima do armazém. Uma vez que o output desta estação é produto acabado, pretende-se minimizar a distância entre o posto e o armazém que corresponde ao destino seguinte. |
| <b>Cacifos</b>                    | Afastado do armazém e próximo de um corredor principal da fábrica por questões de deslocação de funcionários.  |
| <b>Escritório</b>                 | Afastado do armazém e separado das máquinas de montagem. Localizado junto a um corredor principal da fábrica por questões de deslocação de funcionários.   |
| <b>Máquinas Montagem Atuais</b>   | Maioritariamente localizadas na zona inferior do espaço de montagem. Apenas 4 máquinas atuais se encontram separadas por questões de otimização de espaço ocupado.   |
| <b>Máquinas de Montagem Novas</b> | Localizadas maioritariamente na zona superior do espaço de montagem, com exceção de uma máquina que possui uma cadência de trabalho elevada (M17) e, por essa razão, foi priorizada a aproximação ao armazém.  |

Tabela 11: Decisões relativas ao layout V1.

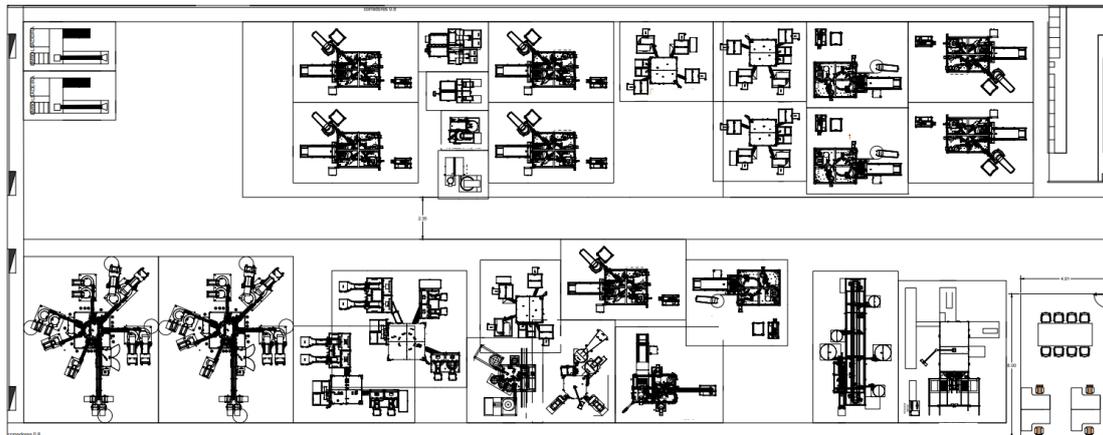


Figura 23: Layout V1.

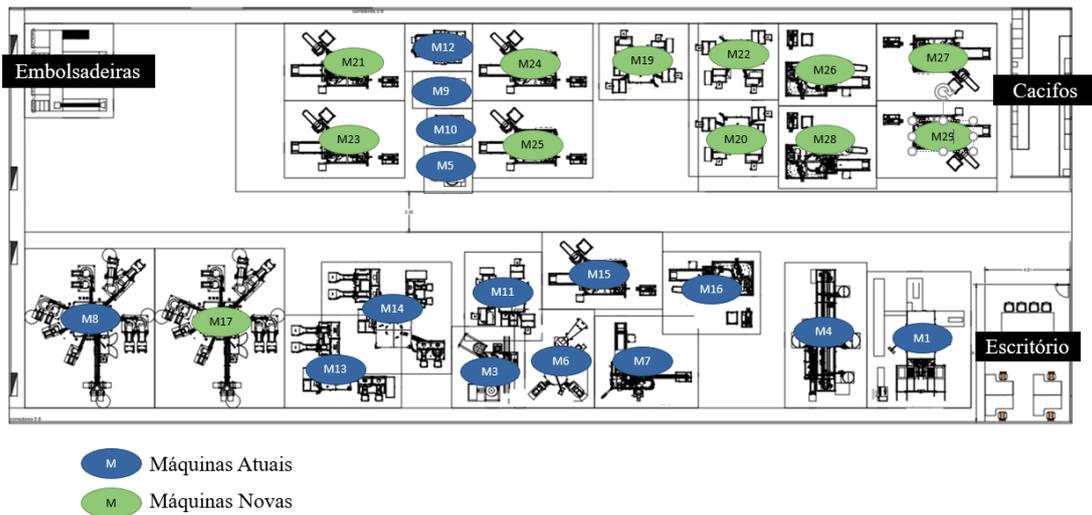


Figura 24: Layout V1 legendado.

É importante mencionar que a ocupação e forma das máquinas novas que foi considerada não é a real. No momento do estudo, as novas máquinas encontravam-se em fase de construção e, por esse motivo, a sua forma e ocupação real não era conhecida. Assim, com auxílio de técnicos da área, foram utilizadas as formas de máquinas atuais que possuíssem um *design* e área aproximadamente semelhantes, para preencher os espaços relativos às novas máquinas.

Desta forma foi obtida uma primeira possibilidade de layout- Layout V1. As principais preocupações para a criação deste layout foram as necessidades gerais dos vários departamentos, o conhecimento qualitativo e geral das necessidades de abastecimento das novas máquinas e a aproximação entre máquinas novas e entre máquinas atuais.

### Limitações do Layout V1:

Um conhecimento generalizado sobre as máquinas atuais e futuras foi incorporado na construção do layout V1. Apenas se considerou um conhecimento qualitativo em relação às máquinas (maior e menor cadência) e não foram tidos em conta valores quantitativos de necessidades e produção. Para além disso, nesta abordagem, não foi feito um estudo relativamente ao abastecimento das máquinas, bem como não foram incorporados equipamentos auxiliares como *racks* e *workstations*. Todas estas questões foram avaliadas mais tarde, o que originou a incorporação de novos inputs na construção de outros layouts.



# Capítulo 4

## 4.1. Estudo e Definição de um Novo Layout

Com o objetivo de obter um layout com o melhor aproveitamento de espaço possível e que permitisse um aumento de produtividade e lucro para a empresa, foi investido bastante tempo no estudo do mesmo. Assim, foi construído um primeiro layout empírico (Layout V1) que considerou aspectos gerais e que, por essa razão, é visto como um ponto de partida para potenciais melhorias e desenvolvimentos, e não como uma alternativa de layout. Ao longo do decorrer do projeto surgiu a necessidade de considerar outros fatores que foram revelando importância, como por exemplo, questões relacionadas com as obras a realizar no local, com as datas de chegada das novas máquinas, com o planejamento de produção da empresa, entre outras. Uma vez identificados todos os inputs técnicos necessários para a criação de um layout eficiente, um segundo layout foi desenvolvido (layout V2). Este layout permitiu responder a todos os fatores que foram identificados como sendo importantes, desde as necessidades de abastecimento das máquinas, até à minimização das perturbações que poderiam ser causadas na produção, devido à montagem das mesmas. Por fim, recorrendo à metodologia *Systematic Layout Planning* (SLP) e a dois problemas de otimização combinatória obtiveram-se mais duas alternativas de Layouts (Layout V3 e Layout V4). O problema da mochila, numa fase inicial, possibilitou a alocação de um grupo de máquinas a cada uma das três áreas disponíveis. Partindo desta solução, o método SLP prioriza a minimização de distâncias e conseqüente otimização de fluxo. Desta forma, o seu objetivo seria aproximar máquinas semelhantes entre si, bem como máquinas relativas a projetos idênticos, e, ao mesmo tempo, afastar máquinas que, num contexto real, criam conflitos caso exista proximidade entre elas. A proximidade/afastamento ao armazém e a processos de embalagem foi também incorporado no modelo. Por fim, recorreu-se a um problema de afetação para alocar *workstations* a máquinas de montagem. Recorrendo a estes diferentes métodos para construção de layouts (Tabela 12), obtiveram-se várias alternativas que, por fim, viriam a ser comparadas entre si.

|           | Método de Construção  | Principal Objetivo   | Inputs Considerados   |
|-----------|-----------------------|--|---|
| Layout V1 | Empírico              | Atender aos requisitos gerais dos vários departamentos     | -Necessidades dos vários departamentos;<br>-Funcionamento qualitativo e geral das máquinas de montagem;<br>-Aproximação entre máquinas novas e entre máquinas atuais.   |
| Layout V2 | Empírico              | Atender a todos os requisitos do problema em contexto real | -Máquinas atuais e futuras;<br>-Datas de chegada das novas máquinas;<br>-Cadência das máquinas;<br>-Ordem de transição das máquinas atuais;<br>-Aproximar máquinas novas entre si e máquinas atuais entre si;<br>-Localização do novo armazém;<br>-Entradas e saídas da nova área;<br>-Área total e área útil;<br>-Rotas de abastecimento;<br>-Dimensões das <i>racks</i> de abastecimento;<br>-Orientação das máquinas;<br>-Problemas existentes na área atual;<br>-Fluxo de trabalho das máquinas;<br>-Aproximar máquinas do mesmo projeto. |
| Layout V3 | Problema da Mochila e | Aproximar máquinas com maior cadência                      | -Cadência das máquinas;<br>-Fluxo de trabalho das máquinas;   |

**Layout V4**

|   |  |  |
|---|--|--|
| <i>Systematic Layout Planning</i>                       | ao armazém e minimizar a distância percorrida pelos operadores                                       | -Aproximar máquinas do mesmo projeto;<br>-Localização do novo armazém;<br>-Entradas e saídas da nova área;<br>-Dimensões das racks de abastecimento;<br>-Distância percorrida pelos operadores.  |
| Problema da Mochila e <i>Systematic Layout Planning</i> | Aproximar máquinas com maior cadência ao armazém e minimizar a distância percorrida pelos operadores | -Cadência das máquinas;<br>-Fluxo de trabalho das máquinas;<br>-Aproximar máquinas do mesmo projeto;<br>-Localização do novo armazém;<br>-Entradas e saídas da nova área;<br>-Dimensões das racks de abastecimento;<br>-Distância percorrida pelos operadores. |

Tabela 12: Layouts construídos e respectivos métodos implementados.

#### 4.1.1. Layout V2

Ao longo do decorrer do projeto foram identificadas novas necessidades que obrigaram a alterações consideráveis no layout V1 construído. Todo o fluxo logístico fabril de abastecimento de produto IN e OUT estava a sofrer alterações na fábrica, em especial no espaço de montagem (Anexo A). Na realidade inicial, o armazém localizava-se imediatamente ao lado do espaço de montagem e, como consequência, todas as necessidades de abastecimento eram geradas verbalmente e diretamente ao responsável do armazém. Isto é, sempre que um operário do espaço de montagem necessitava de uma certa referência, comunicava diretamente com o operador do armazém que se encontrava sempre por perto e este, que possui um elevado conhecimento relativamente aos processos de montagem e às várias referências existentes, transportava recorrendo a um porta-paletes, as caixas necessárias para o espaço de montagem. De reforçar a enorme quantidade de referências existentes de componentes (centenas de referências), o que torna a empresa extremamente dependente dos operadores que, atualmente, se encontram a desempenhar as tarefas de abastecimento da área de montagem. Esta não será a realidade no novo espaço de montagem uma vez que, no futuro, o armazém encontrar-se-á longe do mesmo e, o abastecimento será realizado pelo departamento da logística que não tem qualquer conhecimento específico sobre os processos de montagem nem sobre as várias referências de produto que alimentam o espaço.

Assim, novos pressupostos viriam a ser definidos relativamente à nova área de montagem, que viriam a influenciar o design do novo layout:

- A nova área de montagem será abastecida por um comboio logístico;
- Necessidade de criação de corredores laterais de 2 metros (adicionalmente ao corredor central) para passagem do comboio logístico;
- Numa primeira análise, o comboio logístico irá passar pela zona de montagem a cada uma hora (tempo que demora a passar por todo o espaço e regressar ao armazém);
- As sobras existentes nos finais de produção serão contabilizadas pelo operador de montagem e recolhidas pelo comboio logístico;
- O *feeder* será um colaborador do departamento da logística;
- Cada máquina de montagem terá uma *rack* de produto IN e OUT dedicada e exclusiva (Figura 25);
- Será realizado um dimensionamento das *racks* que terá em conta as necessidades de abastecimento de produção para um período de uma hora;
- As necessidades de abastecimento serão despoletadas através de um ato de picagem com recurso ao SAP (*Pull system*).



Figura 25: Exemplo de rack de gravidade (Liyuan, 2021).

Relativamente à existência de corredores e divisões obrigatórias, foi necessário respeitar os seguintes pressupostos:

- Corredor central de 3 metros de largura;
- Corredores laterais de 2 metros de largura;
- Cantos dos corredores recortados;
- Embolsadeiras e processos de embalagem localizados à entrada do espaço de montagem, e com área superior (relativamente a V1), para a possibilidade de incorporar todos os equipamentos de embalagem;
- Cacifos e escritórios localizados no extremo direito do espaço de montagem;
- Corredor de evacuação na zona inferior da área;
- O escritório deverá conter duas secretárias adicionais (para além das consideradas em V1) devido à incorporação de funcionários do departamento de qualidade na área de montagem.

Tendo em conta estes pressupostos, o ponto de partida para a construção do layout é o representado na Figura 26. Este ponto de partida foi construído com recurso à ferramenta Auto CAD.

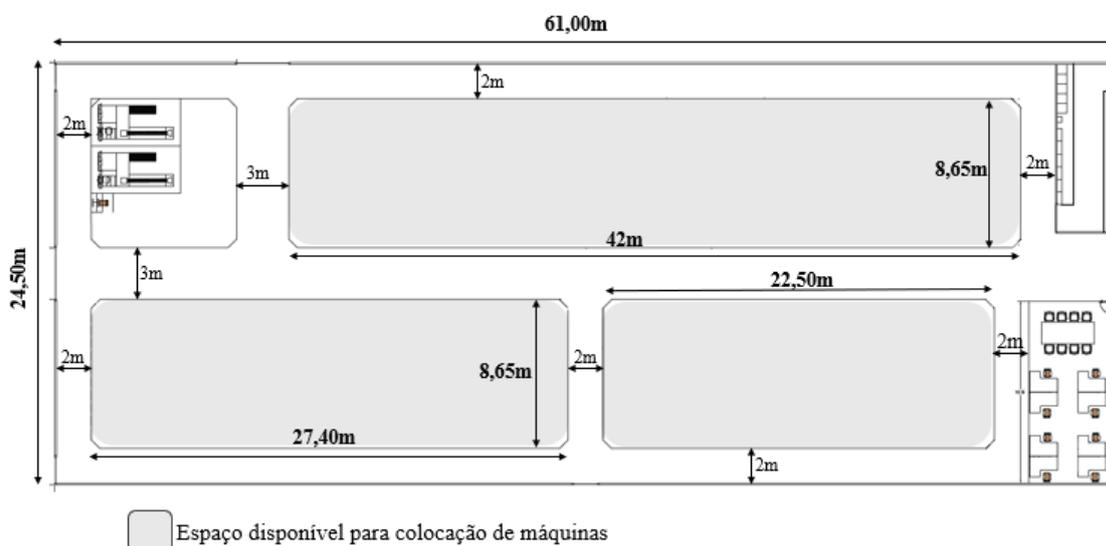


Figura 26: Ponto de partida para a construção do layout V2.

Após definição dos vários pressupostos para o novo espaço de montagem, uma longa fase de recolha de inputs técnicos foi conduzida com o objetivo de recolher toda a informação pertinente para a construção de um layout eficiente e adequado para as necessidades dos processos de montagem.

## Inputs Técnicos

De seguida, serão apresentados os vários inputs técnicos considerados na construção do layout V2:

- Máquinas de montagem atuais e respetiva área ocupada;
- Equipamentos presentes no espaço de montagem;
- Novas máquinas de montagem e respetivas áreas;
- Datas previstas de chegada das novas máquinas de montagem. É importante considerar este fator para garantir que, na data da sua chegada, existe espaço para passagem das máquinas;
- Transição das máquinas atuais para o novo espaço- ordem e datas. Esta calendarização já está definida com o planeamento de produção;
- Aproximar novas máquinas entre si, assim como máquinas antigas (por motivos de construção e montagem);
- Localização do armazém;
- Entradas e saídas da nova área de montagem;
- Área total da nova área e área útil (considerar corredores, escritório e cacifos);
- Necessidades de abastecimento das máquinas atuais e futuras, nomeadamente quantidades de caixas e frequência das necessidades. Valores totais de necessidades também foram considerados com vista ao dimensionamento do comboio logístico;
- Frequência de abastecimento;
- Dimensões necessárias para os *racks* de abastecimento de cada máquina. Cada máquina terá uma *rack* de abastecimento dedicada;
- Orientação das máquinas relativamente aos *racks* de abastecimento. Aproximar pontos IN das máquinas com maior cadência da respetiva *rack*;
- Problemas existentes no atual espaço de montagem;
- Máquinas cujo output necessita de seguir para a embolsadeira. Aproximar estas máquinas da embolsadeira. Este equipamento atualmente não se encontra no espaço de montagem, no entanto, foi definido que no novo layout estará presente;
- Manter próximas máquinas relativas aos mesmos projetos;
- Aproveitamento máximo da área disponível (recurso ao CAD);

Primeiramente é necessário conhecer quais as máquinas de montagem atuais e as respectivas áreas em m<sup>2</sup> (Tabela 13). De forma a conhecer layout da área de montagem atual, bem como a forma e design das máquinas de montagem, é apresentado o layout atual da área de montagem (Figura 27).

| Máquina | Área (m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------|
| M1      | 43,60                  |
| M3      | 18,70                  |
| M4      | 42,00                  |
| M5      | 7,30                   |
| M6      | 20,20                  |
| M7      | 26,00                  |
| M8      | 56,00                  |
| M9      | 7,30                   |
| M10     | 7,30                   |
| M11     | 33,0                   |
| M12     | 7,30                   |
| M13     | 43,0                   |
| M14     | 43,0                   |
| M15     | 26,0                   |
| M16     | 26,0                   |

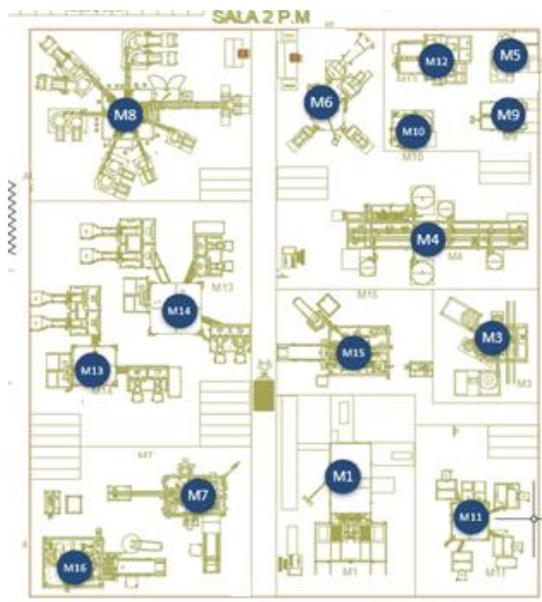


Tabela 13: Máquinas de montagem automática atuais e respectivas áreas.

Figura 27: Layout atual da área de montagem.

Relativamente aos equipamentos presentes atualmente na área, estes são apresentados na Tabela 14. São de destacar as *workstations*, as *racks* de abastecimento, as mesas de trabalho e as embolsadeiras. São ainda aqui mencionadas as novas quantidades dos mesmos equipamentos na nova área de montagem.

| Equipamento  | Quantidade Atual | Considerações  | Área unitária (m <sup>2</sup> ) | Quantidade na Nova Área | Considerações                              |
|--|------------------|--|---------------------------------|-------------------------|--|
| <b>Workstations</b>  | 3                | Número extremamente reduzido tendo em conta as necessidades.   | 0,80                            | 13                      | Definido conjuntamente com a chefe da área |
| <b>Racks de abastecimento</b>                              | 8                | Desorganização. Uma <i>rack</i> de abastecimento alimenta várias máquinas e algumas exigem grandes distâncias a percorrer. | Variável 1                      | 27                      | Uma por cada máquina                       |
| <b>Mesas de trabalho</b>                                   | 1                | Número insuficiente. Única mesa para trabalho existente é mal posicionada.   | 0,96                            | 4                       | Localizadas no escritório                  |
| <b>Embolsadeiras</b><br>(não presente no layout atual, mas | 1                | Equipamento que tem como objetivo realizar   | 10,00                           | 2                       | -  |

|                                    |  |   |  |  |  |
|------------------------------------|--|---|--|--|--|
| irá ser inserida no layout futuro) |  | embalamento dos conectores montados. Apenas cinco máquinas de montagem necessitam de seguir para este processo de embalamento. As restantes máquinas já têm como output o produto embalado. |  |  |  |
|------------------------------------|--|---|--|--|--|

Tabela 14: Equipamentos presentes na área de montagem atual e futura.

Tal como as máquinas de montagem atuais, é necessário conhecer as novas máquinas, bem como as respetivas áreas em m<sup>2</sup> (Tabela 15). São também apresentados os projetos nos quais se inserem estas máquinas, bem como a data de previsão de chegada às instalações da empresa. É possível visualizar ainda, no anexo B, dois cronogramas que esquematizam estas datas de chegada das máquinas (Tabela 63) e a ordem e data de transição das máquinas de montagem atuais (Tabela 64).

| <b>Número</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Projeto</b> | <b>Previsão de Chegada</b> |
|---------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|
| <b>M17</b>    | 56,00                       | 14-015         | Semana 16                  |
| <b>M18</b>    | 10,00                       | Embolsadeira   | Semana 19                  |
| <b>M19</b>    | 33,00                       | 20-0607        | Semana 19                  |
| <b>M20</b>    | 33,00                       | 18-090         | Semana 26                  |
| <b>M21</b>    | 26,00                       | 19-111         | Semana 27                  |
| <b>M22</b>    | 33,00                       | 18-090         | Semana 27                  |
| <b>M23</b>    | 26,00                       | 19-111         | Termo 82 <sup>9</sup>      |
| <b>M24</b>    | 26,00                       | 19-111         | Termo 83                   |
| <b>M25</b>    | 26,00                       | 19-111         | Termo 84                   |
| <b>M26</b>    | 26,00                       | 17-112         | Termo 84                   |
| <b>M27</b>    | 26,00                       | 17-112         | Termo 84                   |
| <b>M28</b>    | 26,00                       | 17-112         | Termo 84                   |
| <b>M29</b>    | 26,00                       | 17-112         | Termo 84                   |

Tabela 15: Novas máquinas de montagem, área, projeto e data de chegada.

<sup>9</sup> O tempo na empresa é medido em termos. Exemplo: Termo 81 refere-se às semanas entre junho de 2021 e junho de 2022. Da mesma forma, o termo 82 refere-se às semanas entre junho de 2022 e junho de 2023.

Um outro aspecto que deve ser considerado e que revela extrema importância para o processo de decisão de alocação das máquinas, é a localização do armazém de montagem. Na Figura 28 é possível verificar qual a localização do futuro armazém de montagem relativamente à nova área.

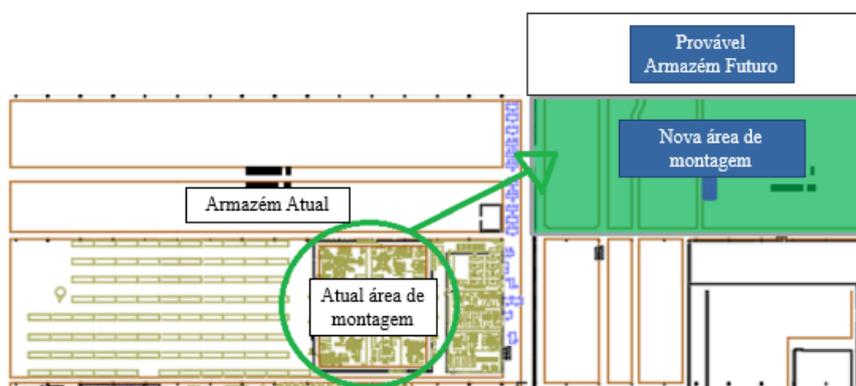


Figura 28: Locais atuais e futuros da área de montagem e do armazém.

É também importante ter em conta quais as entradas e saídas na nova área de montagem. Estes acessos estão representados na Figura 29.

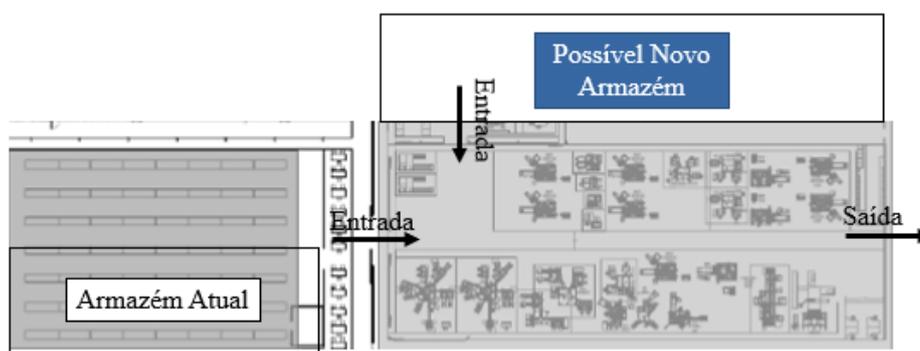


Figura 29: Entradas e saídas da nova área de montagem.

Um estudo de áreas foi também desenvolvido. A área total do espaço e a área útil devem ser conhecidas e estes valores são apresentados na Tabela 16.

|  |                     |
|--|---------------------|
| <b>Área Total Espaço</b>   | 1495 m <sup>2</sup> |
| <b>Área Embalamento</b>  | 72 m <sup>2</sup>   |
| <b>Escritório</b>  | 52 m <sup>2</sup>   |
| <b>Cacifos</b>   | 37 m <sup>2</sup>   |
| <b>Área útil para máquinas (sem corredores, escritório, embolsadeiras e cacifos)</b> | 829 m <sup>2</sup>  |

Tabela 16: Áreas do novo espaço de montagem.

Com o objetivo de conhecer as necessidades de abastecimento das máquinas atuais e futuras, foi feita uma pesquisa com recurso ao SAP, onde foram retiradas as seguintes informações:

- Tempo de ciclo de cada máquina;
- Referências de produto acabado produzidas em cada máquina;
- Referências de componentes que alimentam cada máquina;

- Quantidades de cada componente por caixa;
- Dimensão dos lotes de equipamentos de embalagem (caixas de cartão, sacos de plástico, labels).

Com estas informações foi possível calcular:

- Produção esperada;
- Produção efetiva;
- Necessidade de caixas por turno (Tabela 17). Os valores no  $t = start$  e  $t = 8h$  são sobredimensionados para garantir uma margem de segurança. Considerou-se nestes instantes que a máquina estaria a iniciar produção e que, por essa razão, as respetivas racks de abastecimento estariam vazias;
- Periodicidade da necessidade de abastecimento em horas (Tabela 19).

| Máquina    | Necessidade de Caixas |                |                |                |                |                |                |                |                | Total Caixas IN | Total Caixas OUT |
|------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|
|            | Start                 | 1h             | 2h             | 3h             | 4h             | 5h             | 6h             | 7h             | 8h             |                 |                  |
| <b>M1</b>  | 5 IN<br>-             | 2 IN<br>-      | 2 IN<br>1 OUT  | 2 IN<br>-      | 2 IN<br>1 OUT  | 2 IN<br>-      | 2 IN<br>1 OUT  | -<br>-         | 4 IN<br>1 OUT  | <b>21</b>       | <b>4</b>         |
| <b>M3</b>  | 9 IN<br>-             | 1 IN<br>1 OUT  | 2 IN<br>1 OUT  | -<br>2 OUT     | 2 IN<br>2 OUT  | 1 IN<br>1 OUT  | 1 IN<br>2 OUT  | 1 IN<br>1 OUT  | 7 IN<br>3 OUT  | <b>24</b>       | <b>13</b>        |
| <b>M4</b>  | 9 IN<br>-             | 2 IN<br>3 OUT  | 6 IN<br>3 OUT  | -<br>4 OUT     | 4 IN<br>3 OUT  | 5 IN<br>3 OUT  | 3 IN<br>4 OUT  | -<br>3 OUT     | 9 IN<br>3 OUT  | <b>38</b>       | <b>26</b>        |
| <b>M5</b>  | 2 IN<br>-             | 1 IN<br>1 OUT  | 1 IN<br>2 OUT  | 1 IN<br>1 OUT  | 2 IN<br>2 OUT  | 1 IN<br>1 OUT  | 1 IN<br>2 OUT  | -<br>1 OUT     | 2 IN<br>2 OUT  | <b>11</b>       | <b>12</b>        |
| <b>M6</b>  | 6 IN<br>-             | 2 IN<br>2 OUT  | 3 IN<br>2 OUT  | 3 IN<br>2 OUT  | 3 IN<br>2 OUT  | 2 IN<br>2 OUT  | 3 IN<br>3 OUT  | 2 IN<br>2 OUT  | 6 IN<br>3 OUT  | <b>29</b>       | <b>19</b>        |
| <b>M7</b>  | 9 IN<br>-             | -<br>-         | 1 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | -<br>-         | 1 IN<br>1 OUT  | -<br>-         | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>18</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M8</b>  | 23 IN<br>-            | 15 IN<br>5 OUT | 16 IN<br>5 OUT | 15 IN<br>5 OUT | 16 IN<br>5 OUT | 16 IN<br>5 OUT | 15 IN<br>5 OUT | 15 IN<br>5 OUT | 23 IN<br>6 OUT | <b>154</b>      | <b>41</b>        |
| <b>M9</b>  | 2 IN<br>-             | 1 IN<br>1 OUT  | 1 IN<br>1 OUT  | -<br>1 OUT     | 2 IN<br>1 OUT  | 1 IN<br>2 OUT  | 1 IN<br>1 OUT  | -<br>1 OUT     | 2 IN<br>2 OUT  | <b>10</b>       | <b>10</b>        |
| <b>M10</b> | 3 IN<br>-             | 3 IN<br>1 OUT  | 2 IN<br>2 OUT  | 2 IN<br>1 OUT  | 3 IN<br>2 OUT  | 2 IN<br>2 OUT  | 3 IN<br>1 OUT  | 1 IN<br>2 OUT  | 3 IN<br>2 OUT  | <b>22</b>       | <b>13</b>        |
| <b>M11</b> | 10 IN<br>-            | 4 IN<br>2 OUT  | 7 IN<br>2 OUT  | 4 IN<br>3 OUT  | 8 IN<br>2 OUT  | 5 IN<br>2 OUT  | 6 IN<br>3 OUT  | 4 IN<br>2 OUT  | 9 IN<br>3 OUT  | <b>57</b>       | <b>19</b>        |
| <b>M12</b> | 6 IN<br>-             | 5 IN<br>3 OUT  | 6 IN<br>4 OUT  | 5 IN<br>4 OUT  | 5 IN<br>4 OUT  | 6 IN<br>3 OUT  | 5 IN<br>4 OUT  | 4 IN<br>4 OUT  | 6 IN<br>4 OUT  | <b>48</b>       | <b>30</b>        |
| <b>M13</b> | 16 IN<br>-            | 10 IN<br>8 OUT | 14 IN<br>8 OUT | <b>100</b>      | <b>64</b>        |
| <b>M14</b> | 14 IN<br>-            | 8 IN<br>6 OUT  | 14 IN<br>6 OUT | 8 IN<br>8 OUT  | 10 IN<br>6 OUT | 12 IN<br>6 OUT | 10 IN<br>8 OUT | 8 IN<br>6 OUT  | 14 IN<br>8 OUT | <b>98</b>       | <b>54</b>        |
| <b>M15</b> | 8 IN<br>-             | -<br>-         | 6 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | 5 IN<br>-      | 1 IN<br>1 OUT  | 5 IN<br>-      | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>32</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M16</b> | 8 IN<br>-             | -<br>-         | 5 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | 7 IN<br>-      | -<br>-         | 5 IN<br>1 OUT  | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>32</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M17</b> | 23 IN<br>-            | 15 IN<br>5 OUT | 16 IN<br>5 OUT | 15 IN<br>5 OUT | 16 IN<br>5 OUT | 16 IN<br>5 OUT | 15 IN<br>5 OUT | 15 IN<br>5 OUT | 23 IN<br>6 OUT | <b>154</b>      | <b>41</b>        |
| <b>M19</b> | 10 IN<br>-            | 4 IN<br>2 OUT  | 7 IN<br>2 OUT  | 4 IN<br>3 OUT  | 8 IN<br>2 OUT  | 5 IN<br>2 OUT  | 6 IN<br>3 OUT  | 4 IN<br>2 OUT  | 9 IN<br>3 OUT  | <b>57</b>       | <b>19</b>        |
| <b>M20</b> | 9 IN<br>-             | 2 IN<br>3 OUT  | 6 IN<br>3 OUT  | -<br>4 OUT     | 4 IN<br>3 OUT  | 5 IN<br>3 OUT  | 3 IN<br>4 OUT  | -<br>3 OUT     | 9 IN<br>3 OUT  | <b>38</b>       | <b>26</b>        |
| <b>M21</b> | 8 IN<br>-             | -<br>-         | 6 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | 5 IN<br>-      | 1 IN<br>1 OUT  | 5 IN<br>-      | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>32</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M22</b> | 12 IN<br>-            | 3 IN<br>4 OUT  | 8 IN<br>4 OUT  | -<br>6 OUT     | 6 IN<br>4 OUT  | 7 IN<br>4 OUT  | 4 IN<br>6 OUT  | -<br>4 OUT     | 12 IN<br>4 OUT | <b>52</b>       | <b>36</b>        |
| <b>M23</b> | 8 IN<br>-             | -<br>-         | 5 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | 7 IN<br>-      | -<br>-         | 5 IN<br>1 OUT  | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>32</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M24</b> | 8 IN<br>-             | -<br>-         | 5 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | 7 IN<br>-      | -<br>-         | 5 IN<br>1 OUT  | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>32</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M25</b> | 8 IN<br>-             | -<br>-         | 6 IN<br>-      | -<br>1 OUT     | 5 IN<br>-      | 1 IN<br>1 OUT  | 5 IN<br>-      | -<br>-         | 7 IN<br>1 OUT  | <b>32</b>       | <b>3</b>         |
| <b>M26</b> | 11 IN<br>-            | -<br>-         | 8 IN<br>-      | -<br>2 OUT     | 7 IN<br>-      | 2 IN<br>2 OUT  | 7 IN<br>-      | -<br>-         | 10 IN<br>2 OUT | <b>45</b>       | <b>6</b>         |
| <b>M27</b> | 11 IN<br>-            | -<br>-         | 8 IN<br>-      | -<br>2 OUT     | 7 IN<br>-      | 2 IN<br>2 OUT  | 7 IN<br>-      | -<br>-         | 10 IN<br>2 OUT | <b>45</b>       | <b>6</b>         |

|            |       |   |      |       |      |       |      |   |       |           |          |
|------------|-------|---|------|-------|------|-------|------|---|-------|-----------|----------|
| <b>M28</b> | 11 IN | - | 8 IN | -     | 7 IN | 2 IN  | 7 IN | - | 10 IN | <b>45</b> | <b>6</b> |
|            | -     | - | -    | 2 OUT | -    | 2 OUT | -    | - | 2 OUT |           |          |
| <b>M29</b> | 11 IN | - | 8 IN | -     | 7 IN | 2 IN  | 7 IN | - | 10 IN | <b>45</b> | <b>6</b> |
|            | -     | - | -    | 2 OUT | -    | 2 OUT | -    | - | 2 OUT |           |          |

Tabela 17: Estudo das necessidades de caixas por turno de cada máquina.

|  |                      |
|--|----------------------|
|  | Novas máquinas       |
|  | Cálculos aproximados |

Tabela 18: Legenda da Tabela 18.

Interpretando a Tabela 17, é possível verificar que a máquina M1, no instante do início do turno (“*Start*”), necessita de receber 5 caixas de componentes e/ou produtos necessários à produção. Uma hora mais tarde, necessita de receber mais 2 caixas de componentes. Já duas horas após o início do turno, necessita de 2 caixas de componentes e, nesta altura, uma caixa de produto acabado já foi fabricada. No final do turno, esta máquina necessita de receber um total de 21 abastecimentos e produz 4 caixas de produto acabado.

É importante referir que todos os cálculos foram realizados com recurso ao Excel. Um exemplo de cálculo para uma máquina específica encontra-se apresentado no Anexo C. Para além disso, os valores relativos às novas máquinas não são exatos. Foram utilizadas aproximações com base no conhecimento prévio existente relativamente ao funcionamento das mesmas.

Tendo todos estes valores em conta, foram calculadas as necessidades de caixas e de output totais, em cada hora, relativos às máquinas atuais (sendo estes valores reais), e relativos às novas máquinas (que representam valores aproximados). Por fim, todos os valores foram compilados com o objetivo de ter uma noção geral das necessidades de caixas, considerando todas as máquinas que irão existir no espaço de montagem.

|                        |           | Necessidade de Caixas |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|-----------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        |           | Start                 | 1h  | 2h  | 3h  | 4h  | 5h  | 6h  | 7h  | 8h  |
| <b>Máquinas Atuais</b> | Total IN  | 130                   | 54  | 82  | 49  | 79  | 65  | 70  | 45  | 120 |
|                        | Total OUT | -                     | 33  | 37  | 43  | 38  | 37  | 43  | 35  | 48  |
|                        | Total     | 130                   | 87  | 119 | 92  | 117 | 102 | 113 | 80  | 168 |
| <b>Novas Máquinas</b>  | Total IN  | 130                   | 24  | 91  | 19  | 86  | 43  | 76  | 19  | 121 |
|                        | Total OUT | -                     | 14  | 14  | 30  | 14  | 24  | 20  | 14  | 28  |
|                        | Total     | 130                   | 38  | 105 | 49  | 100 | 67  | 96  | 33  | 149 |
| <b>Atuais + Novas</b>  | Total IN  | 260                   | 78  | 173 | 68  | 165 | 108 | 146 | 64  | 241 |
|                        | Total OUT | -                     | 47  | 51  | 73  | 52  | 61  | 63  | 49  | 76  |
|                        | Total     | 260                   | 125 | 224 | 141 | 217 | 169 | 209 | 113 | 317 |

Tabela 19: Necessidades de abastecimento por turno.

Como é possível verificar pela análise da Tabela 19, no instante de início de turno, existe necessidade de transportar um total de 260 caixas, sendo todas relativas ao abastecimento das máquinas. Uma hora mais tarde ( $t=1h$ ), existe a necessidade de abastecer 78 caixas de produto IN nas várias máquinas de montagem, e de recolher um output de 47 caixas.

Por forma a conhecer a frequência de abastecimento, foi desenvolvida a Tabela 20, onde são apresentadas as necessidades de abastecimento ao longo de um turno de oito horas. Para cálculo das necessidades, foi definido o pressuposto de que o *feeder* só passará nas máquinas que necessitam de receber produto IN. Isto é, nos casos em que uma máquina não necessita de receber nenhum produto, mas origina um output, este ficará “em espera” na *rack* até o *feeder* necessitar de alimentar a máquina em questão. Nesse momento, o *feeder* alimenta a máquina e recolhe todo

o produto acabado existente. Desta forma, a distância percorrida pelo *feeder* é reduzida e nenhum impacto negativo é causado.

A informação que a Tabela 20 transmite é que, no momento “*Start*” o *feeder* deverá passar em todas as máquinas de montagem para alimentar as respectivas *racks* de abastecimento. Já no instante “1h”, ou seja, 1h após início do turno de trabalho, as máquinas M7, M15, M16, M21, M23, M24, M25, M26, M27, M28 e M28 não têm necessidade de abastecimento ao contrário das restantes, o que quer dizer que o *feeder* não necessitará de passar por estas máquinas. Após 2h do início do turno todas as máquinas necessitam novamente de ser reabastecidas, e desta forma, o *feeder* deverá passar por todas. A restante Tabela deverá ser lida desta forma.

Como é visível, existe uma grande necessidade de deslocação do *feeder* em relação à maioria das máquinas num período de tempo de hora a hora, uma vez que a maioria da Tabela se encontra sombreada. No entanto, em algumas máquinas (M1, M3, M4, M5, M7, M9, M15, M16, M20, M21, M22, M23, M24, M25, M26, M27, M28, M29), existem alguns momentos em que não ocorre necessidade de abastecimento, não existindo a obrigação do *feeder* passar nas mesmas.

|          |     | Tempo (h) |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          |     | Start     | 1h | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 7h | 8h |
| Máquinas | M1  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M3  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M4  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M5  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M6  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M7  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M8  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M9  |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M10 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M11 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M12 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M13 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M14 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M15 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M16 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M17 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M19 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M20 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M21 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M22 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M23 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M24 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M25 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M26 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M27 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M28 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | M29 |           |    |    |    |    |    |    |    |    |

Tabela 20: Necessidades de abastecimento da área de montagem.

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
|  | Necessidade de Abastecimento     |
|  | Sem Necessidade de Abastecimento |

No cálculo das dimensões necessárias para os *racks* de abastecimento de cada máquina foram considerados os seguintes pressupostos:

- Cada máquina terá uma *rack* de abastecimento dedicada;
- Caixas de cartão, molas, sacos plásticos, ferrite, terminais e outros produtos que são embalados em formatos distintos da caixa, não são armazenados nas *racks*;
- As *racks* terão as dimensões *standard* apresentadas na Figura 30, bem como a utilização representada- o nível inferior será sempre para OUT e os níveis superiores para IN. As sobras serão colocadas nas zonas OUT. Poderão ter várias colunas e dar-se-á prioridade à altura em detrimento do número de colunas;
- O abastecimento será realizado de hora a hora. Assim, cada *rack* deverá ter espaço para serem colocadas caixas que alimentarão a produção durante uma hora. Por exemplo, como a máquina M16 necessita de, no instante *start*, 8 abastecimentos, sendo que apenas 4 correspondem a caixas a armazenar na *rack* e o máximo de output gerado é de 1 caixa. Assim, a *rack* deverá conter 4 IN e 1 OUT. As dimensões da *rack* serão então 2 colunas  $\times$  3 altura  $\times$  1 profundidade. Um exemplo de dimensionamento encontra-se no Anexo D;
- Tentar-se-á que as *racks* possuam apenas uma caixa de profundidade, com o objetivo de ocupar o menor espaço do solo possível.

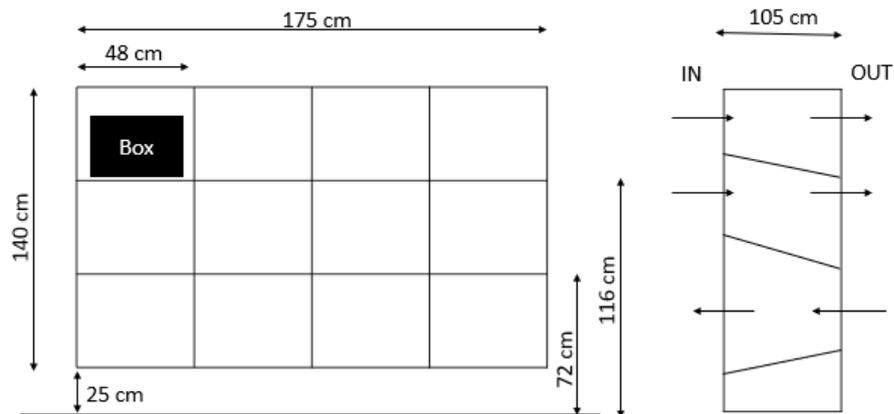


Figura 30: Dimensões standard das racks de abastecimento (4 colunas X 3 altura X 1 profundidade).

O resultado do dimensionamento das *racks* para cada máquina é apresentado na Tabela 22. Com o objetivo de facilitar a compreensão das dimensões, foi adaptado um formato *standard*: colunas × altura/níveis × profundidade.

| Máquina | Dimensões Rack | Máquina | Dimensões Rack |
|---------|----------------|---------|----------------|
| M1      | 2×3× 1         | M17     | 6×3× 2         |
| M3      | 4×3× 1         | M19     | 4×3× 1         |
| M4      | 4×3× 1         | M20     | 3×3× 1         |
| M5      | 2×2× 1         | M21     | 3×3× 1         |
| M6      | 3×3× 1         | M22     | 3×3× 1         |
| M7      | 3×3× 1         | M23     | 3×3× 1         |
| M8      | 6×3× 2         | M24     | 3×3× 1         |
| M9      | 2×2× 1         | M25     | 3×3× 1         |
| M10     | 2×3× 1         | M26     | 2×3× 1         |
| M11     | 4×3× 1         | M27     | 2×3× 1         |
| M12     | 4×3× 1         | M28     | 2×3× 1         |
| M13     | 4×3× 2         | M29     | 2×3× 1         |
| M14     | 4×3× 2         |         |                |
| M15     | 2×3× 1         |         |                |
| M16     | 2×3× 1         |         |                |

Tabela 22: Dimensões das racks de abastecimento.

A orientação das máquinas em termos de rotação irá ser definida tendo em conta as entradas e saídas da máquina (Figura 31), com o objetivo de minimizar a distância percorrida pelo operador entre a máquina e a *rack* de abastecimento. Assim, este fator (orientação) será definido após a máquina estar alocada a um local, assim como a respetiva *rack* de abastecimento. Nesse momento, tentar-se-á aproximar as entradas de máquina com maior cadência às *racks* de abastecimento. Nesta fase do estudo foram apenas consideradas máquinas atuais devido ao desconhecimento do funcionamento das máquinas novas.

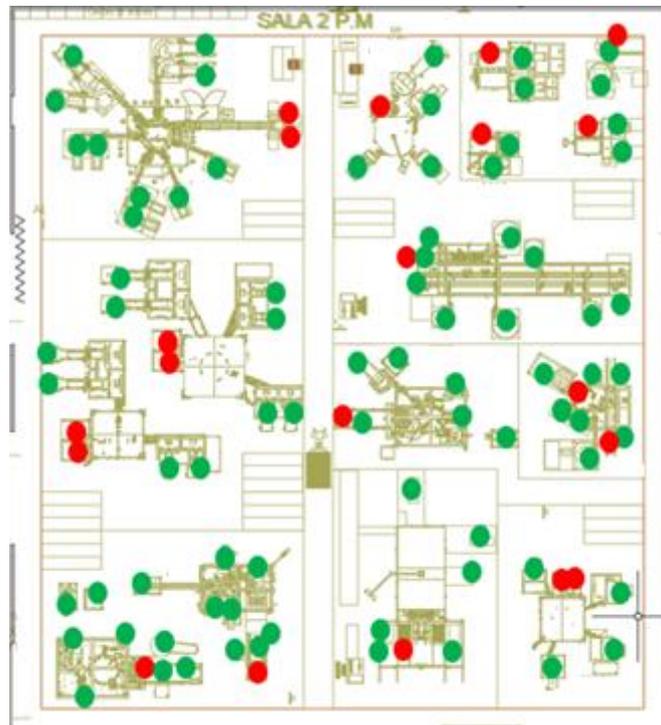


Figura 31: Zonas IN (verde) e OUT (vermelho) das máquinas de montagem atuais.

Considera-se também pertinente ter em conta os problemas que existem na atual área de montagem. Estes foram estudados e avaliados com o objetivo de não serem transportados para o novo espaço. Assim, recorrendo a um acompanhamento constante das atividades de montagem, foi possível detetar a ocorrência de certas situações que permitiram tirar conclusões relativamente ao design de layout da nova área de montagem. De seguida os problemas identificados serão apresentados na Tabela 23, bem como a respetiva solução.

| Problema  | Solução   |
|---|---|
| <p>Ocorre frequentemente <b>troca de etiquetas</b> entre o produto acabado das máquinas M4 e M3. Após avaliação, percebeu-se que, devido às cadências de trabalho serem extremamente semelhantes e ao facto de os conectores produzidos nestas máquinas terem um aspeto idêntico, o operador que efetua a etiquetagem do produto acabado, muitas vezes, engana-se e emite a etiqueta errada. Assim, quando deveria emitir a etiqueta para a máquina M3, acaba por emitir para a máquina M4 ou vice-versa e, devido à elevada semelhança entre os conectores, não se apercebe do erro.</p> | <p>As máquinas M4 e M3 não deverão estar próximas uma da outra. Desta forma, o operador que tem como responsabilidade a máquina M4 será diferente do responsável pela máquina M3. Para além disso, uma vez que as máquinas se encontram distantes, será possível possuírem diferentes <i>workstations</i>, o que diminuirá a probabilidade de ocorrência do erro.</p> |
| <p>Devido à estrutura e geometria da máquina M12, bem como a aparência do produto acabado e de uma das referências IN, duas reclamações de cliente surgiram. O operador etiquetou uma das caixas de produto IN como sendo produto acabado que, depois, foi enviado ao cliente. O que acontece nesta máquina é que a saída de produto acabado e a entrada da referência em causa na máquina estão extremamente próximas o que criou uma mistura entre produto OUT e IN. Assim, o operador transportou a caixa errada para a embolsadeira e ocorreu embalamento de produto não acabado.</p> | <p>A máquina M12 deverá ter uma <i>workstation</i> exclusiva ou, no máximo, partilhar uma com uma máquina que tenha menor cadência de abastecimento. Desta forma, o operador poderá ter mais atenção às atividades relacionadas com a máquina M12 e terá maior tempo para efetuar uma correta etiquetagem, uma vez que a <i>workstation</i> estará mais próxima.</p>  |
| <p>Devido ao número limitado de <i>workstations</i> no espaço de montagem atual, os operadores percorrem longas distâncias para efetuar etiquetagem de produto acabado. Para além disso, muitas vezes há formação de congestionamentos uma vez que vários operadores partilham a mesma <i>workstation</i>.</p>  | <p>Uma <i>workstation</i> deverá ser partilhada, no máximo, por 3 máquinas de montagem.</p>   |

Tabela 23: Problemas decorridos na atual área de montagem e possíveis soluções futuras.

Por fim, e tendo todas estas situações em conta, é necessário garantir que os erros que ocorrem atualmente são evitados ou impedidos no futuro, na nova área de montagem.

Um outro aspeto a considerar é o fluxo de materiais. De lembrar que algumas máquinas produzem produto intermédio que necessita de seguir para a embolsadeira. Assim:

- As máquinas M5, M6, M9, M10 e M12 necessitam de seguir para a embolsadeira após a montagem;
- A embolsadeira, como é partilhada pelos processos automáticos e semiautomáticos, deverá estar posicionada à entrada do novo espaço de montagem (pressuposto).

Tendo em conta todo o estudo apresentado e todos os inputs técnicos considerados, a distribuição das máquinas para construção do layout V2 foi efetuada com recurso à ferramenta CAD e pode ser visualizado na Figura 32.

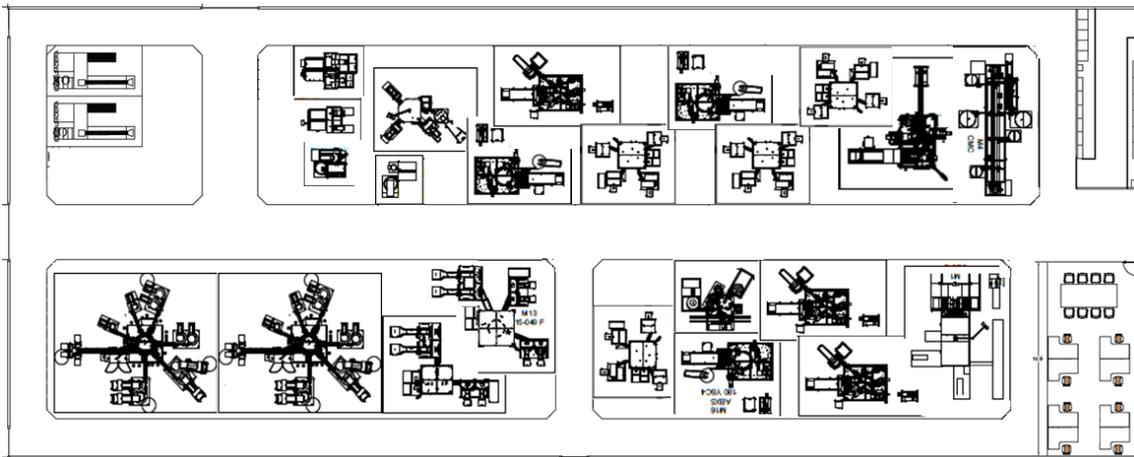


Figura 32: Distribuição das máquinas de montagem no layout V2.

Após a distribuição das máquinas foi então necessária incorporação das *racks* de abastecimento, já dimensionadas (Tabela 22), junto de cada máquina e das *workstations*, para obter a proposta de layout V2 final (Figuras 33 e 34). De notar que tais aspetos não tinham sido considerados na proposta V1. No que toca à **distribuição das racks**, estas foram distribuídas



Figura 33: Layout de workstation.



Figura 34: Layout de rack de abastecimento.

pelos espaços livres, tentando aproximar o máximo possível a *rack* à sua máquina dedicada sem que provocasse qualquer obstrução ao futuro fluxo de trabalho existente na área. Assim, o método que foi utilizado para distribuir as *racks* no layout, pode ser considerado um método empírico. Relativamente à **quantidade e localização das workstations**, ambas foram decididas com a responsável da área de montagem uma vez que se tratava de um ponto crítico a abordar. Muitos dos problemas existentes no espaço de montagem, deviam-se à quantidade reduzida de *workstations* existentes e, portanto, esta situação deveria ser avaliada em conjunto com alguém que tivesse conhecimento prático do espaço. Após vários *brainstormings*, as *workstations* foram distribuídas pelas máquinas ou grupos de máquinas, assumindo que a área de embalagem teria de conter uma *workstation*, obrigatoriamente. Desta forma, máquinas com grandes cadências de produção deveriam ter uma estação única e exclusiva, enquanto máquinas com menor cadência ou em fim de vida poderiam partilhar *workstations*. Ao mesmo tempo, foi procurado que máquinas com cadências de trabalho semelhantes não partilhassem a mesma *workstation*, mesmo que pudessem partilhar o mesmo operador, isto para evitar um erro comum- a troca de etiquetas nas caixas de produto acabado.

O resultado obtido, após a incorporação de *racks* e de *workstation* pode ser visualizado nas Figuras 35 e 36. Na Figura 37 e Tabela 24 é apresentada, detalhadamente, a distribuição das *workstations* pelas várias máquinas. O estudo de construção do layout V2 é então dado como finalizado.

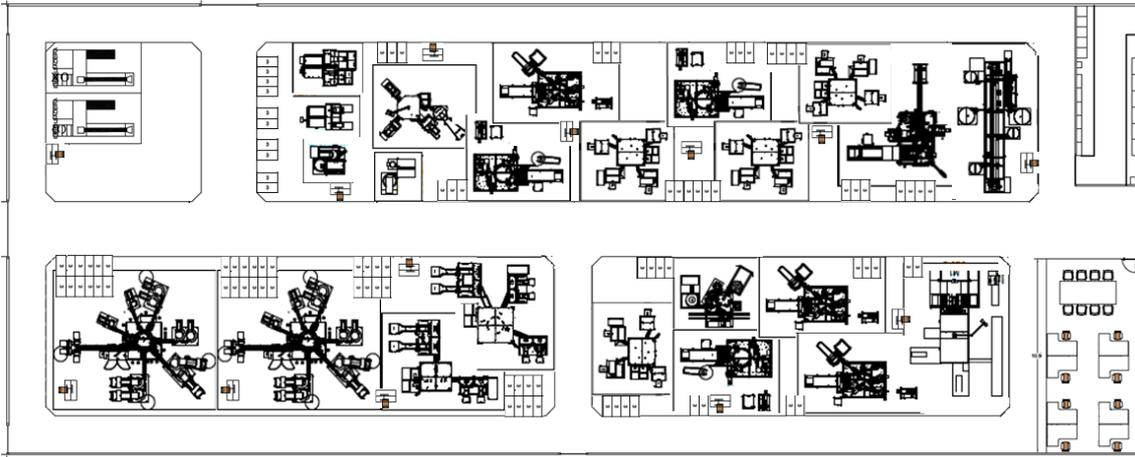


Figura 35: Layout V2.

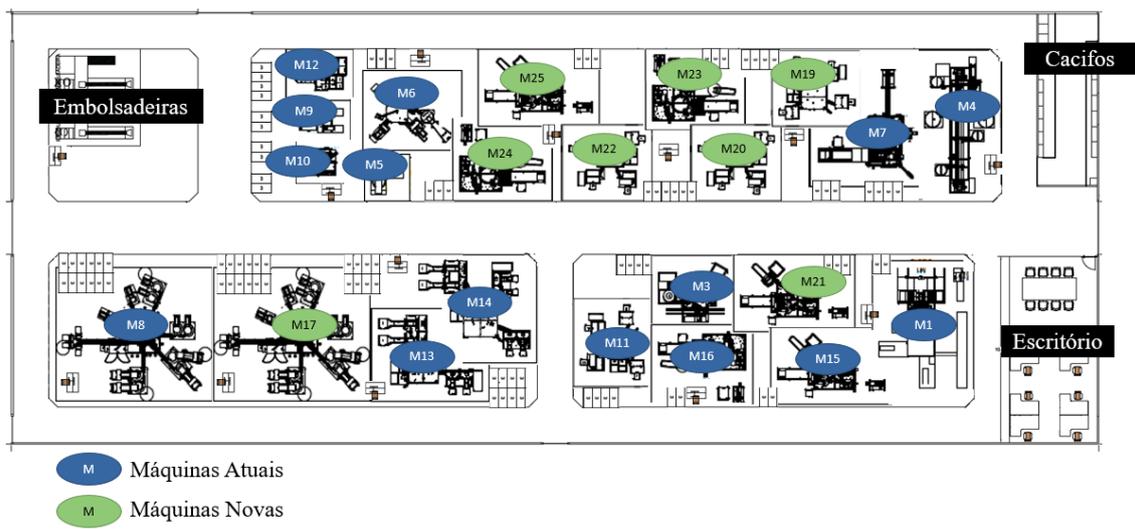


Figura 36: Layout V2 legendado.

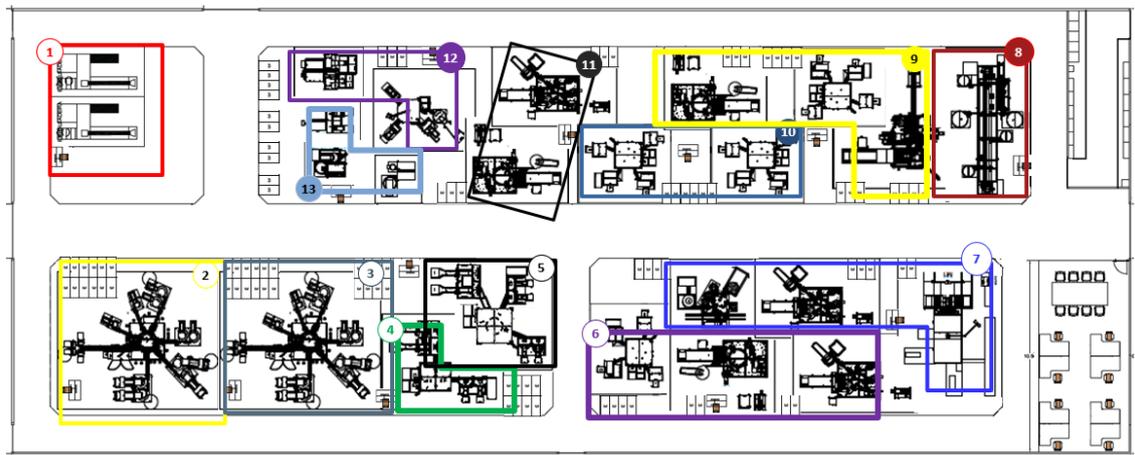


Figura 37: Distribuição das *workstations* pelas máquinas no layout V2.

| Número | Máquinas      | Número | Máquinas      | Número | Máquinas    |
|--------|---------------|--------|---------------|--------|-------------|
| 1      | Embolsadeiras | 6      | M11, M15, M16 | 11     | M24, M25    |
| 2      | M8            | 7      | M1, M3, M21   | 12     | M6, M12     |
| 3      | M17           | 8      | M4            | 13     | M5, M9, M19 |
| 4      | M13           | 9      | M7, M19, M23  |        |             |
| 5      | M14           | 10     | M20, M22      |        |             |

Tabela 24: Numeração das *workstations* e máquinas atribuídas.

Concluindo, é importante mencionar que existe uma limitação relativamente a este layout: quatro das novas máquinas de montagem encomendadas não estão contempladas (M26, M27, M28 e M29). Esta situação não aconteceu no layout V1. Devido à introdução de corredores laterais, *racks* e *workstation*, uma percentagem de espaço considerável foi “perdido”. Assim, não foi possível incorporar quatro das novas máquinas de montagem já encomendadas. Porém, a data prevista de chegada das mesmas diz respeito ao ano de 2025. Assim, após reuniões com o *Plant Manager* da empresa, foi decidido que o layout será considerado válido uma vez que, até ao momento de chegada das máquinas, uma solução poderá ser desenvolvida.

#### 4.1.2. Layout V3

Como foi previamente mencionado, a terceira opção de layout será obtida recorrendo ao método *Systematic Layout Planning* e com recurso ao problema da mochila e ainda a um problema de afetação. Através do problema da mochila, as máquinas serão distribuídas pelas três áreas disponíveis e, posteriormente, recorrendo ao SLP, em cada uma das secções será determinada a ordem e organização das várias máquinas. Por fim, as *workstations* serão atribuídas às máquinas através de um problema de afetação (Figura 38).

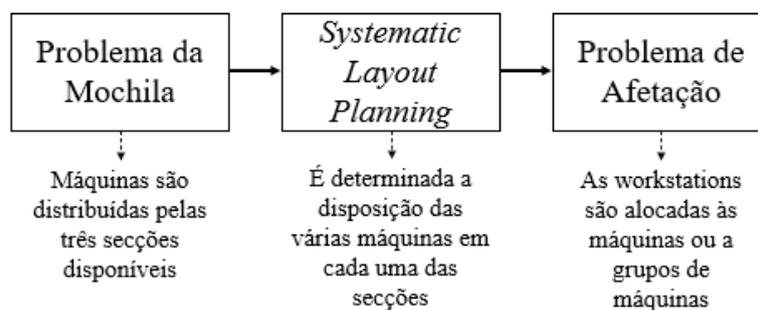


Figura 38: Interligação entre os três métodos usados para construção do Layout.

### i. Problema da Mochila

Inicialmente, recorrendo ao problema da mochila, as máquinas serão atribuídas a uma das três secções disponíveis (secções A, B e C) representadas na Figura 39 cujas áreas estão apresentadas na Tabela 25.

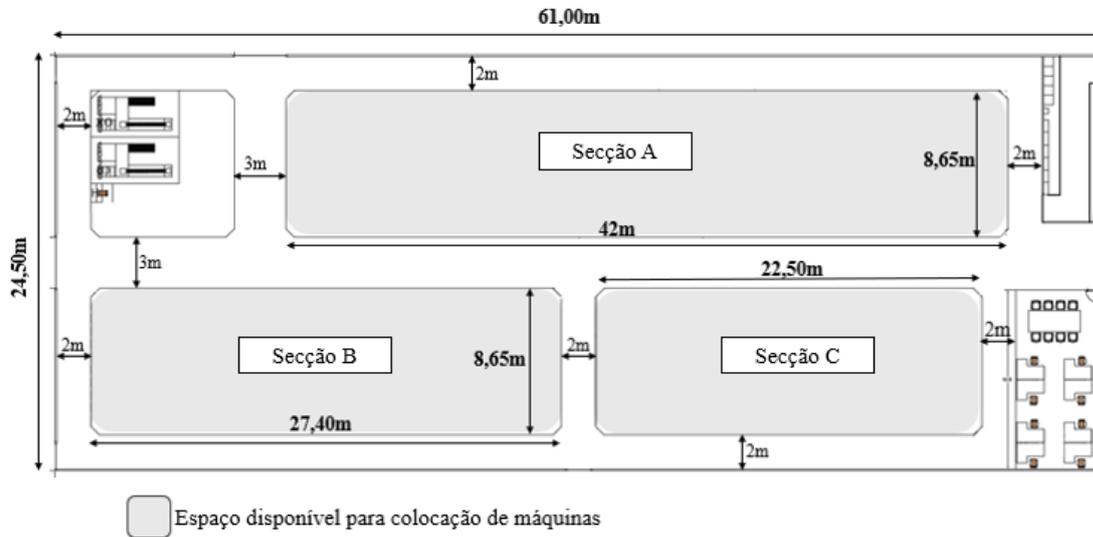


Figura 39: Ponto de partida para aplicação do problema da mochila.

| Secção | Área (m <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------|
| A      | 363,30                 |
| B      | 237,01                 |
| C      | 194,63                 |

Tabela 25: Secções e respetivas áreas.

Para aplicação do problema da mochila, foi definido que o fator “importância”, isto é, o fator determinante que define em que área a máquina deve ficar. Este fator diz respeito ao grau de importância da proximidade ou distanciamento entre as máquinas e o armazém de produto intermédio e, em simultâneo, à embolsadeira. Uma vez que o armazém e as embolsadeiras se encontram na mesma direção relativamente às três secções, um valor alto deste fator representa a necessidade de aproximar determinada máquina a estes dois espaços. Já um valor baixo, representa a necessidade de afastar a máquina aos espaços. Sendo esta a função objetivo do problema da mochila, várias informações foram recolhidas (Tabela 26).

Após identificar os vários projetos existentes (e futuros) na área de montagem, foi atribuída uma importância por projeto que tem em conta as necessidades de abastecimento de caixas para as respetivas máquinas (ver Tabela 17). Máquinas que, por turno, necessitem de receber mais do que 100 caixas, são máquinas com “importância máxima”, ou seja, que devem ser localizadas o mais próximo possível do armazém (Tabela 27). Da mesma forma, máquinas que, no seu processo, necessitem de transportar produto intermédio para a embolsadeira, são também máquinas de “importância máxima”. No extremo oposto, máquinas que, por turno, necessitem de receber menos de 20 caixas, serão consideradas máquinas “sem importância”, bem como máquinas que se encontrem em fim de vida. Nas camadas intermédias, o número de necessidade de caixas foi critério determinante, respeitando o critério apresentado na Tabela 27. Desta forma, foi possível obter os níveis de importância dos vários projetos. Relativamente ao “valor” em relação às secções A, B, e C, foi feita uma conversão aproximada. Por exemplo, a máquina M1 encontra-se em fim de vida, assim, o valor 10000 foi atribuído relativamente à colocação da mesma na secção C, que corresponde ao ponto mais afastado do armazém.

Relativamente à secção A, uma importância de 10 foi atribuída uma vez que poderá ser colocada nesta secção, no extremo mais distante do armazém. Já o valor 0 foi atribuído na secção B uma vez que não existe qualquer vantagem em colocá-la nesta secção. Desta forma foi atribuído o valor [10, 0, 10000] Um segundo exemplo pode ser apresentado relativamente à máquina M5. Esta máquina produz output que necessita de ser transportado para a embolsadeira. Assim, relativamente à secção A, foi atribuído um valor de 10000 (valor máximo) uma vez que, neste ponto, a distância entre a máquina e o equipamento de embalagem é mínima. Relativamente à secção B, também é vantajoso colocar a máquina, no entanto menos do que no caso anterior uma vez que, para transportar o produto em curso, iria ser necessário ultrapassar um corredor principal. Por essa razão o valor 1000 foi atribuído. Já relativamente à secção C, nenhuma vantagem iria ser conseguida uma vez que a máquina estaria muito afastada da embolsadeira. Por esse motivo o valor 0 foi atribuído, obtendo assim o valor final de [10000, 1000, 0] Por fim, considerando a máquina M8, o valor [1000, 10000, 0] foi atribuído uma vez que esta máquina necessita de mais do que 100 caixas por turno. Assim, seria vantajoso a máquina ser colocada na secção B (valor 10000) ou na secção A (valor 1000), embora com menos impacto, uma vez que em A se encontra ligeiramente mais longe do armazém atual quando comparada com a secção B. Seguindo esta ordem de pensamentos, foram obtidos os seguintes valores (Tabela 26).

| Nº Projeto | Nome Projeto (Yazaki) | Máquinas | Área (m <sup>2</sup> ) | Área Rack (m <sup>2</sup> ) | Área Total (m <sup>2</sup> ) | Importância | Valor em relação às secções [A, B, C] |
|------------|-----------------------|----------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 1          | Projeto M1            | M1       | 43,60                  | 0,55                        | 44,15                        | V           | [10, 0, 10000]                        |
| 2          | Projeto M3            | M3       | 18,70                  | 2,20                        | 20,90                        | IV          | [100, 10, 1000]                       |
| 3          | Projeto M4            | M4       | 42,00                  | 2,20                        | 44,20                        | V           | [10, 0, 10000]                        |
| 4          | Projeto M5            | M5       | 7,30                   | 1,10                        | 8,40                         | I           | [10000, 1000, 0]                      |
| 5          | 15-098                | M6       | 20,20                  | 1,65                        | 21,85                        | I           | [10000, 1000, 0]                      |
| 6          | Projeto M7            | M7       | 26,00                  | 1,65                        | 27,65                        | V           | [10,0, 10000]                         |
| 7          | 14-013                | M8       | 56,00                  | 6,60                        | 125,20                       | I           | [1000, 10000,0]                       |
|            |                       | M17      | 56,00                  | 6,60                        |                              |             | [1000, 10000,0]                       |
| 8          | Kaizen                | M9       | 7,30                   | 1,10                        | 26,30                        | I           | [10000, 1000, 0]                      |
|            |                       | M10      | 7,30                   | 1,10                        |                              |             | [10000, 1000, 0]                      |
|            |                       | M12      | 7,30                   | 2,20                        |                              |             | [10000, 1000, 0]                      |
| 9          | 15-115                | M11      | 33,00                  | 2,20                        | 35,20                        | III         | [100, 100, 1000]                      |
| 10         | 15-049                | M13      | 43,00                  | 6,60                        | 99,20                        | II          | [1000, 1000, 10]                      |
|            |                       | M14      | 43,00                  | 6,60                        |                              |             | [1000, 1000, 10]                      |
| 11         | 20-0607               | M19      | 33,00                  | 2,20                        | 35,20                        | III         | [100, 100, 1000]                      |
| 12         | 18-090                | M20      | 33,00                  | 2,20                        | 70,40                        | III         | [100, 100, 10]                        |

|           |        |     |       |      |        |            |                  |
|-----------|--------|-----|-------|------|--------|------------|------------------|
|           |        | M22 | 33,00 | 2,20 |        |            | [100, 100, 10]   |
| <b>13</b> | 19-111 | M21 | 26,00 | 2,20 | 112,80 | <b>IV</b>  | [100, 10, 10000] |
|           |        | M23 | 26,00 | 2,20 |        |            | [100, 10, 10000] |
|           |        | M24 | 26,00 | 2,20 |        |            | [100, 10, 10000] |
|           |        | M25 | 26,00 | 2,20 |        |            | [100, 10, 10000] |
| <b>14</b> | 17-112 | M15 | 26,00 | 1,10 | 162,60 | <b>III</b> | [100, 100, 100]  |
|           |        | M16 | 26,00 | 1,10 |        |            | [100, 100, 100]  |
|           |        | M26 | 26,00 | 1,10 |        |            | [100, 100, 100]  |
|           |        | M27 | 26,00 | 1,10 |        |            | [100, 100, 100]  |
|           |        | M28 | 26,00 | 1,10 |        |            | [100, 100, 100]  |
|           |        | M29 | 26,00 | 1,10 |        |            | [100, 100, 100]  |

Tabela 26: Dados que servem de input à aplicação do problema da mochila.

#### Legenda:

|            |       |   |
|------------|-------|---|
| <b>I</b>   | 10000 | Importância Máxima (>100 caixas/turno + máquinas que necessitam de ir à embolsadeira) |
| <b>II</b>  | 1000  | Importância Alta (> 80 caixas/turno)  |
| <b>III</b> | 100   | Alguma Importância (>40 caixas/turno)   |
| <b>IV</b>  | 10    | Pouca Importância (>20 caixas/turno)  |
| <b>V</b>   | 0     | Sem Importância (< 20 caixas/turno + máquinas em fim de vida)                         |

Tabela 27: Fator Importância e respetivos valores.

Convém referir que a “Importância” é a medida de necessidade de aproximação entre o projeto/ máquina em questão e o armazém/embolsadeira. Os valores utilizados como base para definição de importância encontram-se na Tabela 17, mais concretamente na coluna “total caixas IN”. De notar que, possivelmente, a área disponível não será suficiente para alocar a totalidade das máquinas de montagem. O critério a utilizar para exclusão das máquinas deverá ser a data de chegada das mesmas às instalações.

#### Descrição do Problema:

Tem-se como objetivo preencher as três secções de área existentes no chão de fábrica com as várias máquinas de montagem. Assim, foi aplicado o problema da mochila, com o objetivo de alocar um determinado número de máquinas a cada uma das secções, maximizando o fator “importância” anteriormente apresentado e considerando que cada máquina só pode ser alocada a um espaço, respeitando as limitações de área de cada uma das secções. O modelo retornará uma solução onde máquinas com maior importância serão alocadas a secções mais próximas do armazém/embolsadeira, enquanto máquinas com menor importância serão alocadas a secções mais afastadas, respeitando a capacidade das áreas.

#### Descrição dos Dados:

Tendo em conta o objetivo do estudo, é necessário definir as variáveis e dados que serão incorporados no modelo, nomeadamente as máquinas  $m$  a serem distribuídas pelos espaços  $e$ . Estes espaços possuem ainda uma área em  $m^2$  designada por  $c$  que não pode ser excedida. Para tal, é necessário também considerar a ocupação  $O$  de cada uma das máquinas, também em  $m^2$ .

Por fim, e tendo em conta a função objetivo que pretende maximizar o “valor” da atribuição das máquinas  $m$  aos respetivos espaços  $e$ , é necessária a incorporação da importância  $v$  da atribuição de cada máquina a cada espaço.

**Modelo Matemático:**

Variáveis e dados:

$M = \{1, \dots, m\} \mapsto$  conjunto de máquinas;

$E = \{1, \dots, e\} \mapsto$  conjunto de espaços disponíveis;

$c_j =$  capacidade do espaço  $j$  ( $m^2$ );

$O_i =$  ocupação da máquina  $i$  ( $m^2$ );

$v_{ij} =$  importância da atribuição da máquina  $i$  ao espaço  $j$ .

Variável de decisão:

$$x_{ij} \begin{cases} =1, & \text{se a máquina } i \text{ é alocada ao espaço } j \\ =0, & \text{se não} \end{cases}$$

Formulação:

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^e v_{ij} \times x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.a: } \sum_{j=1}^e x_{ij} = 1, \forall i \in M \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m O_i \times x_{ij} \leq c_j \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (4)$$

A função objetivo do problema (1) maximiza o “valor” da atribuição das máquinas aos respetivos espaços. Quanto às restrições do problema, a restrição (2) pretende garantir que cada máquina só é alocada a um único espaço. Já a restrição (3) garante que a área total das máquinas alocadas a um determinado espaço não excede a área do mesmo. Por fim, a restrição (4) define o domínio da variável.

O modelo foi implementado e testado em CPLEX- IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. Neste modelo foram contemplados os inputs do problema em questão, tendo sido obtida a solução apresentada de seguida.

Solução do modelo:

A Tabela 28 e a Figura 40 apresentam a solução do modelo. Esta solução foi obtida em menos do que 1 segundo e com um GAP igual a zero.

| Secção A       |                     | Secção B       |                     | Secção C       |                     |
|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Solução Modelo | Máquina (Conversão) | Solução Modelo | Máquina (Conversão) | Solução Modelo | Máquina (Conversão) |
| 3              | 4                   | 7              | 8                   | 1              | 1                   |
| 4              | 5                   | 13             | 14                  | 2              | 3                   |
| 5              | 6                   | 15             | 16                  | 6              | 7                   |
| 8              | 9                   | 16             | 17                  | 19             | 21                  |
| 9              | 10                  | 25             | 27                  | 21             | 23                  |
| 10             | 11                  | 26             | 28                  | 22             | 24                  |
| 11             | 12                  |                |                     | 23             | 25                  |
| 12             | 13                  |                |                     |                |                     |
| 14             | 15                  |                |                     |                |                     |
| 17             | 19                  |                |                     |                |                     |
| 18             | 20                  |                |                     |                |                     |
| 20             | 22                  |                |                     |                |                     |
| 24             | 26                  |                |                     |                |                     |
| 27             | 29                  |                |                     |                |                     |

Tabela 28: Solução do modelo.

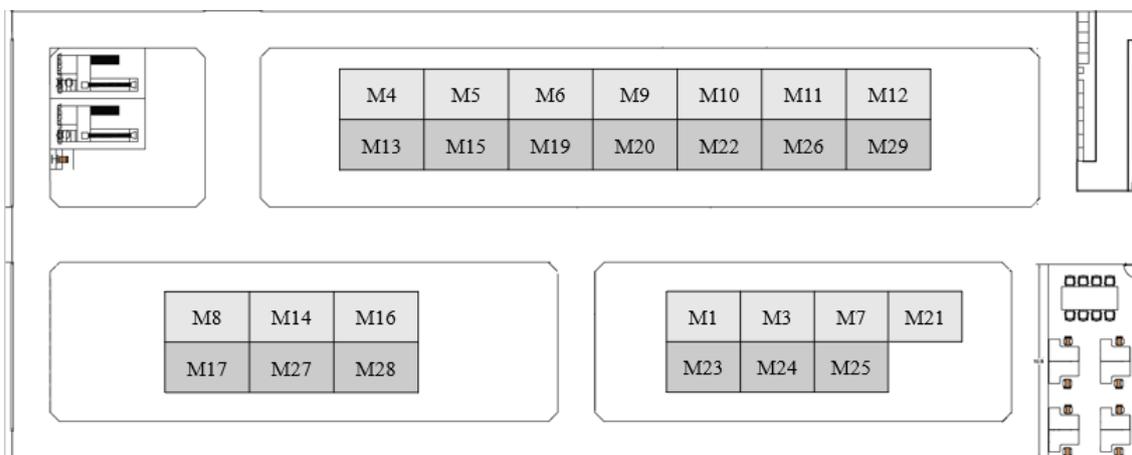


Figura 40: Representação gráfica da solução.

O resultado do problema da mochila apresentado servirá de input para o passo seguinte do estudo: aplicação do método SLP. Método esse que irá distribuir e organizar as máquinas nas respetivas secções.

**ii. Método *Systematic Layout Planning*:**

Este método é dividido em 10 passos: (1) análise PQRST, onde informação sobre a produção é recolhida e analisada, (2) *flow* de materiais, onde é estudado todo o fluxo de materiais que existe no espaço, (3) estudo de relações entre atividades que são realizadas no espaço e, tendo estas informações em conta, (4) é construído o gráfico e o diagrama de relações onde são evidenciadas as necessidades de proximidade entre postos de trabalho. De seguida, é necessário (5) um estudo de requisitos do espaço necessário para as instalações e (6) comparar com o espaço que existe disponível. De seguida, (7) deve ser construído um diagrama de relacionamento

espacial e, posteriormente, (8) avaliar todos os requisitos e limitações que devem ser tidos em conta. Por fim, (9) a construção de possibilidades de layouts é realizada e (10) uma delas é escolhida. Importante mencionar que o ponto de partida para a construção do layout V3 é idêntico ao do layout V2, apresentado na Figura 26.

Dadas as características da área de montagem e tendo em conta as informações previamente apresentadas, o método SLP será aplicado nas três secções existentes- secção A, B e C (ver Figura 39). Porém, antes de iniciar o estudo prático, serão seguidos os 10 passos relativos ao método, anteriormente discutidos, com o objetivo de efetuar um estudo completo.

#### Passo 1) Análise PQRST

Os **produtos** fabricados na área de montagem são conectores elétricos automóveis. Estes são produtos extremamente pequenos, cujas dimensões variam entre 1 cm<sup>3</sup> e 16 cm<sup>3</sup>. Para além disso, estes conectores são produtos com bastantes detalhes estruturais e dimensionais. No espaço de montagem, componentes individuais são montados entre si, formando o produto final- o conector. Uma vez que todo o processo de montagem é automático, as várias máquinas de montagem possuem tempos de ciclo extremamente pequenos- entre 1 e 4 segundos. Assim, as **quantidades** de peças produzidas por dia são elevadíssimas. Diariamente, são produzidos milhares de conectores em cada máquina. Relativamente ao **roteamento**, e reforçando o facto de que os equipamentos presentes no espaço de montagem são de “ponto único”, o processo de montagem é constituído por apenas três passos: alimentação da máquina de montagem (processo manual), montagem (processo automático) e etiquetagem de produto acabado (processo manual). As máquinas de montagem possuem sistemas de contagem de peças que, quando atinge um determinado número pré-estabelecido, aciona um sistema visual que indica ao operador que deve remover a caixa da saída da máquina e substituir por uma vazia. Como já foi mencionado, no caso específico de cinco máquinas, existe um passo adicional, que corresponde ao embalamento realizado na embolsadeira e, só após embalamento, ocorre a etiquetagem. As sequências de operações podem ser visualizadas nas Figuras 23 e 24. Relativamente a equipamentos de **suporte**, são de destacar as *racks* de abastecimento, onde os operadores vão buscar as caixas de produto IN que alimentam as máquinas de montagem e as *workstations*, onde são emitidas as etiquetas de produto acabado. Em algumas situações, existem também carrinhos de transporte que têm como objetivo facilitar a movimentação de caixas. Quanto ao **tempo**, este é bastante variável consoante as várias máquinas de montagem. Algumas máquinas de montagem geram uma caixa de produto acabado a cada 10 min enquanto outras necessitam de 8h para produzir uma caixa. O mesmo acontece com o processo de abastecimento das máquinas (processo manual). A cadência de abastecimento varia entre a escala dos minutos e a escala das horas. Mais informação relativamente à periodicidade do abastecimento e do output gerado pode ser visualizada na Tabela 18.

#### Passo 2) *Flow* de materiais

O fluxo de materiais consiste na descrição do transporte de matérias-primas, pré-fabricados, peças, componentes, objetos que são integrados e produtos finais, enquanto entidades. Com o objetivo de compreender o fluxo de materiais existente entre o armazém e a montagem, foi realizado o seguinte esquema que representa o fluxo de materiais existente entre o armazém e a montagem (Figura 41). Com o intuito de compreender que operador é que movimenta os materiais e a frequência das viagens efetuadas, foi ainda construído o seguinte diagrama de esparguete (Figura 42), que representa visualmente a movimentação dos operadores do espaço de montagem e do *feeder*. A informação foi recolhida ao longo de três dias, e cada operador foi observado durante 2h de trabalho (Tabela 29). De notar que no dia de recolha da informação, duas das quinze máquinas de montagem não estavam a trabalhar (máquinas M1 e M11). No entanto,

por se tratar de máquinas com pouca utilização no período de estágio, os resultados obtidos são considerados válidos.

É importante mencionar que os cinco operadores no espaço de montagem nem sempre são divididos consoante o que ocorreu ao longo dos três dias analisados. Dependendo do número de máquinas a trabalhar, do número de operadores disponíveis e o output esperado, os trabalhadores podem ser distribuídos de forma diferente, aumentando ou diminuindo o número de máquinas onde operam e variando nas mesmas.

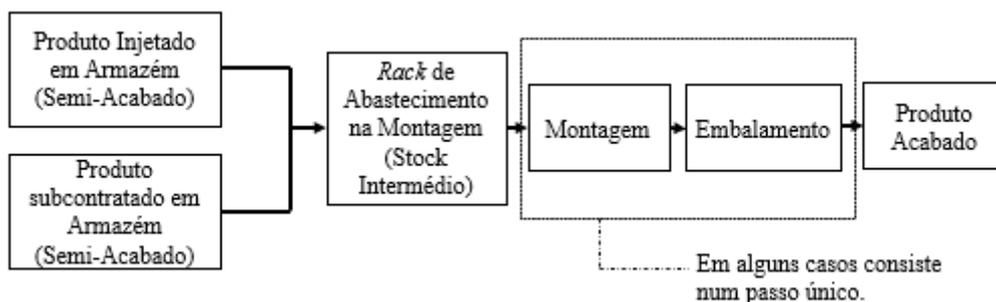


Figura 41: Fluxo de materiais entre o armazém e a montagem.

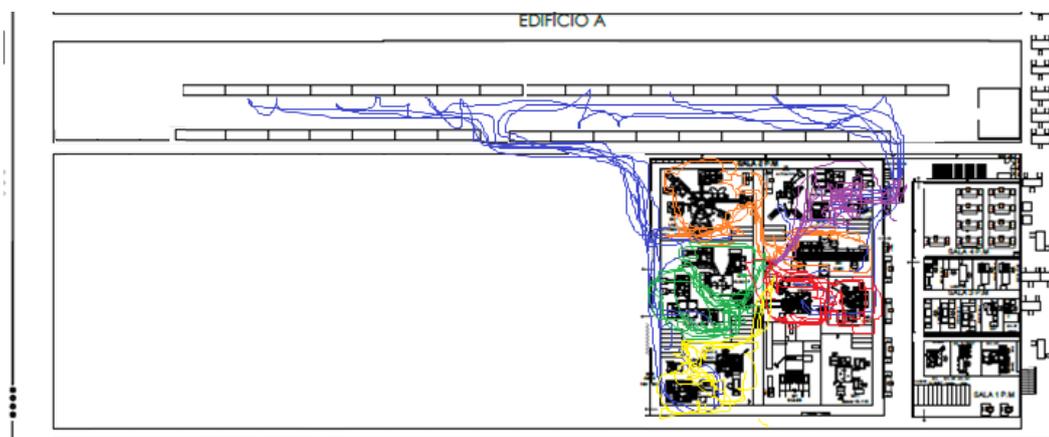


Figura 42: Diagrama de esparguete relativo à área de montagem atual.

| Cor | Operador                           | Data de Recolha de Informação |
|-----|------------------------------------|-------------------------------|
| ■   | Feeder Armazém                     | 22/02/2022 10h-12h            |
| ■   | Operador 1 (M8 e M4)               | 22/02/2022 13h-15h            |
| ■   | Operador 2 (M6, M12, M10, M5 e M9) | 22/02/2022 15h-17h            |
| ■   | Operador 3 (M13 e M14)             | 23/02/2022 8h-10h             |
| ■   | Operador 4 (M15 e M3)              | 24/02/2022 10h-12h            |
| ■   | Operador 5 (M7 e M16)              | 24/02/2022 14h-16h            |

Tabela 29: Legenda da Figura 42.

Através da análise do diagrama de esparguete, é possível verificar que vários dos operadores do espaço de montagem se cruzam num ponto - ponto central do espaço de montagem correspondente a uma *workstation*. Uma vez que o número de *workstations* era limitado e o seu posicionamento não era otimizado, existia uma *workstation* com uma taxa de utilização muito superior às restantes, o que gerava, por vezes, momentos de espera por parte dos operadores perante essa *workstation* e uma taxa de utilização muito baixa das restantes duas. Este evento é visível no diagrama de esparguete apresentado, sendo deste modo reforçada a necessidade de aumentar o número de *workstations* e otimizar a sua distribuição.

### Passo 3) Análise de Relações de Atividade

Tendo em conta a natureza do espaço de montagem e o diagrama de esparquete apresentado (ver Figura 42), é possível concluir que o *feeder* do armazém tem fortes interações com o armazém e com todas as máquinas de montagem presentes no espaço. Já os operadores do espaço de montagem, apenas têm fortes relações com as máquinas onde estão a operar no respetivo dia e com as *workstations* que utilizam para emissão de etiquetas. Observando o comportamento do operador 2 (Tabela 29 e Figura 42) é possível verificar que, para além das interações com a *workstation* e as máquinas de montagem, ainda existem deslocações para a área de embalagem, externa à área de montagem. Tal acontece, uma vez que se trata das cinco máquinas cujo output necessita de seguir para o processo de embalagem, realizado na embolsadeira. Assim, este operador é responsável por recolher o produto montado (output das máquinas), realizar etiquetagem do produto intermédio e transportar o mesmo para o processo de embalagem.

### Passo 4) Diagrama de Relações

Para execução do passo 4, é necessária a realização de duas fases: construção de gráficos de relação, seguido de elaboração de diagramas de relação. Inicialmente, foram construídos três gráficos de relação – Figuras 43, 44 e 45 - relativos às três secções de área, onde existem quatro fatores foram considerados: a (1) necessidade de aproximação das várias máquinas ao armazém, (2) a necessidade de aproximação das várias máquinas à embolsadeira, (3) a aproximação entre máquinas de projetos semelhantes e (4) a aproximação entre máquinas cujo output necessita de ir à embolsadeira, ou seja, aproximação de máquinas com fluxo de materiais semelhante (Tabela 31). Pretende-se que, mais uma vez, máquinas com maior cadência e que necessitem de ir à embolsadeira, se aproximem destas estruturas e, de forma oposta, máquinas com menores cadências se afastem do armazém. Pretende-se ainda aproximar máquinas de projetos semelhantes entre si e máquinas cujo fluxo de materiais é idêntico.

Começando pela construção dos **gráficos de relações** relativos às três secções, seis letras- A, E, I, O, U e X- foram atribuídas para representar as seis condições existentes (Tabela 30). Da mesma forma, quatro números – 1, 2, 3 e 4 - foram atribuídos para explicar quais os motivos para a atribuição de determinada letra (Tabela 31).

|   |                          |
|---|--------------------------|
| A | Absolutamente necessário |
| E | Especialmente importante |
| I | Importante               |
| O | Ordinário                |
| U | Não Importante           |
| X | Indesejável              |

Tabela 30: Legenda do código alfabético.

|   |   |
|---|---|
| 1 | Distância percorrida entre máquina e Armazém                    |
| 2 | Distância percorrida entre máquina e Embolsadeira               |
| 3 | Distância entre equipamentos do mesmo projeto                   |
| 4 | Aproximar máquinas que vão à Embolsadeira (processo semelhante) |

Tabela 31: Legenda do código numérico dos gráficos de relações.

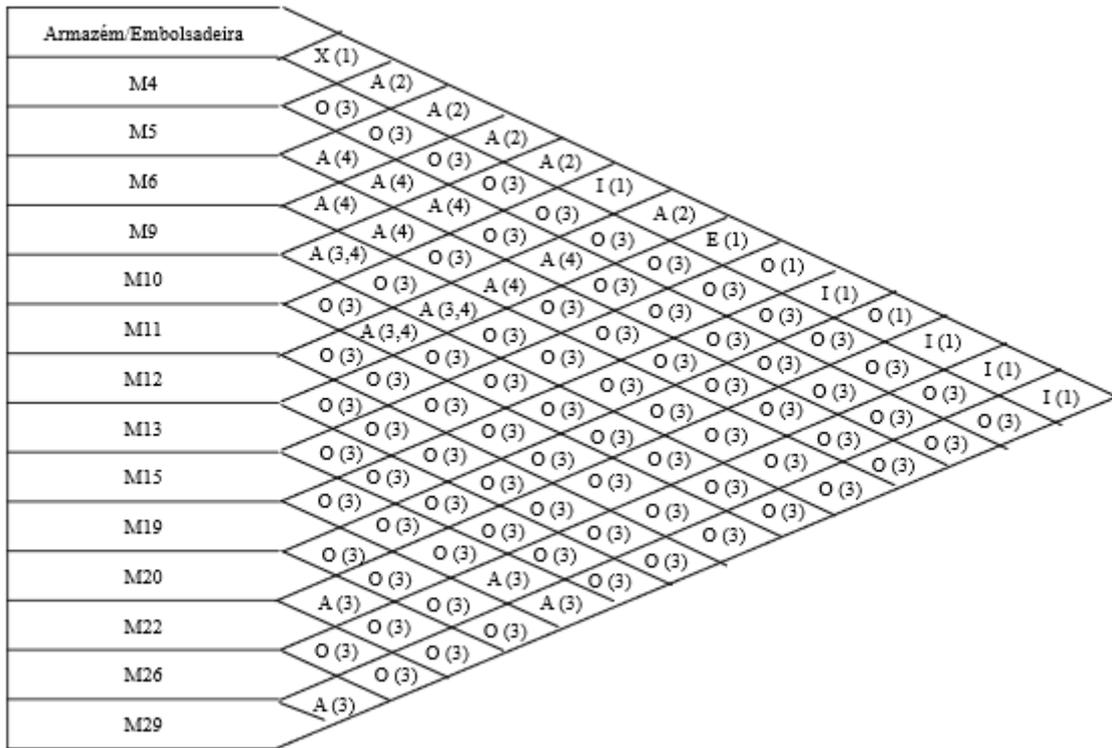


Figura 43: Gráfico de relações da secção A.

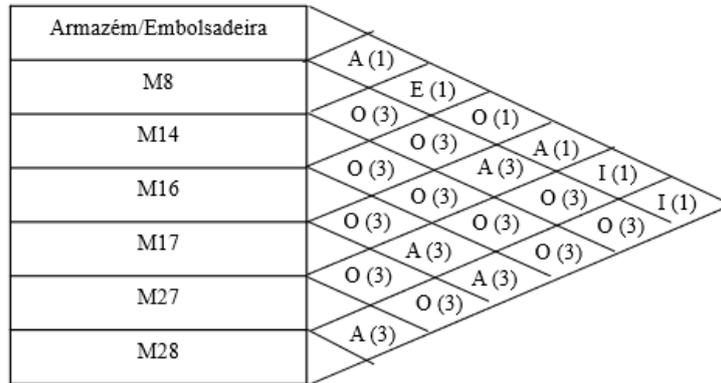


Figura 44: Gráfico de relações da secção B.

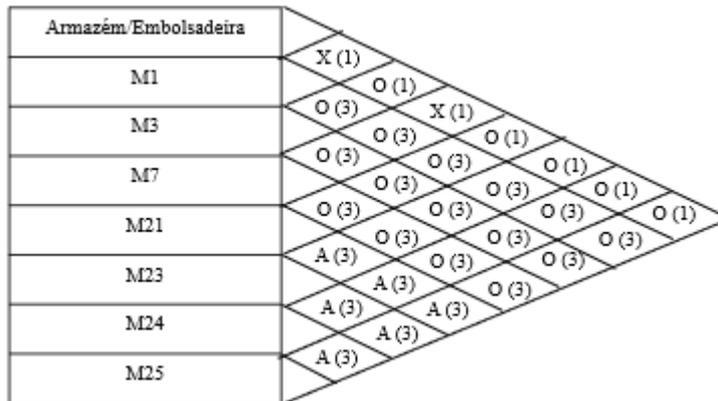


Figura 45: Gráfico de relações da secção C.

Numa segunda fase, é necessária a construção de três **diagramas de relação** – Figuras 46, 47, 48, 49, 50 e 51 -. O diagrama de relações revela uma potencial decisão sobre o posicionamento relativo entre diferentes áreas e equipamentos. Através do diagrama, é obtida uma visão geral e rápida do relacionamento de proximidade potencial e serve de *input* para a concretização do diagrama de relacionamento espacial. Este diagrama é obtido através do mapeamento das informações de intensidade do fluxo entre as áreas funcionais (Yang et al., 2000). Para a construção dos diagramas em causa foi estabelecido que linhas mais finas e claras representam ausência de necessidade de aproximação, enquanto linhas mais densas e com cores fortes representam necessidade de aproximação. A conversão das letras e números para linhas pode ser visualizada na Tabela 32. Com o objetivo de facilitar a leitura dos diagramas, dois serão apresentados para cada secção- no primeiro, todas as relações são apresentadas enquanto no segundo, apenas as relações consideradas importantes são representadas.

| Linha   | Código Alfabético |
|---|-------------------|
|  | A                 |
|  | E                 |
|  | I                 |
|  | O                 |
|  | X                 |

Tabela 32: Código de conversão de gráfico de relações para diagrama de relações.

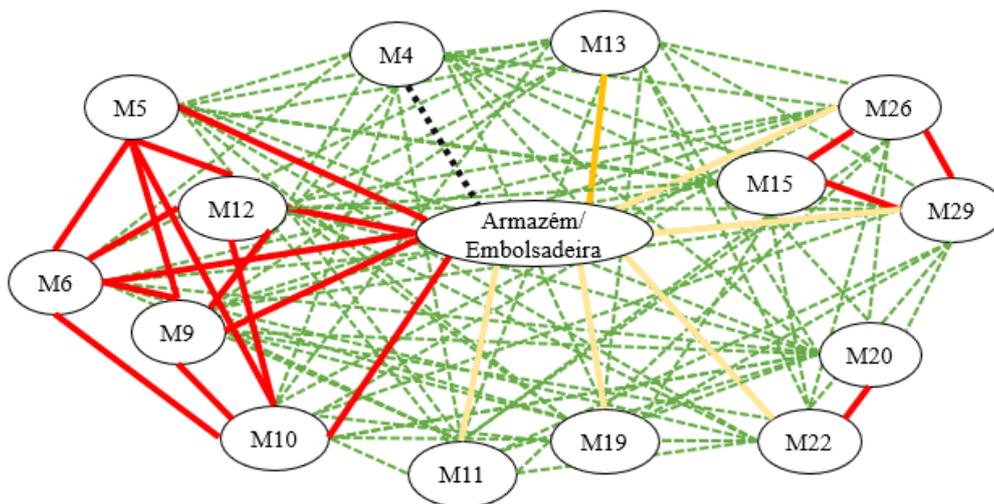


Figura 46: Diagrama de relações da secção A com todas as relações.

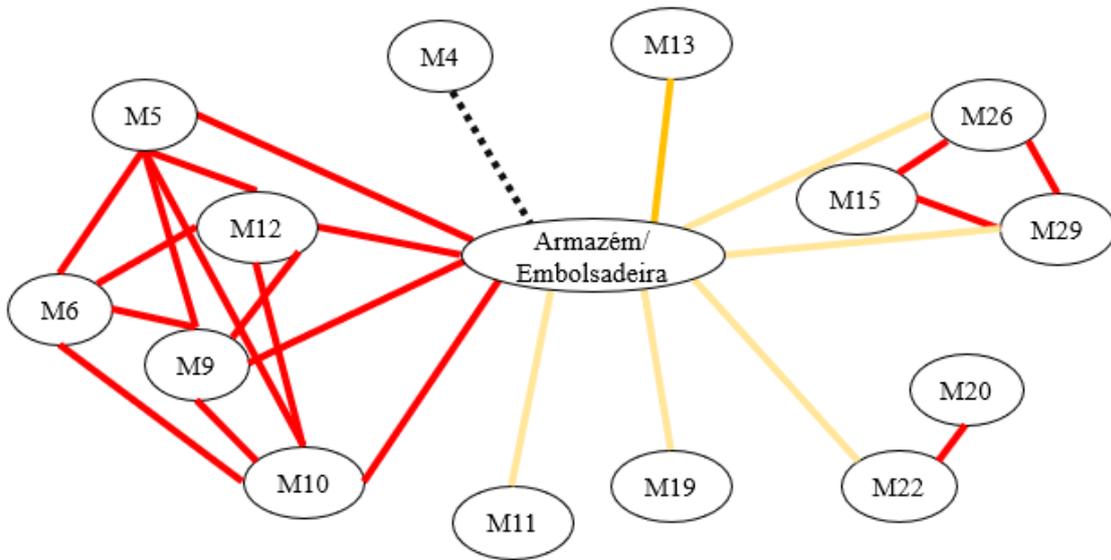


Figura 47: Diagrama de relações da secção A apenas com relações importantes.

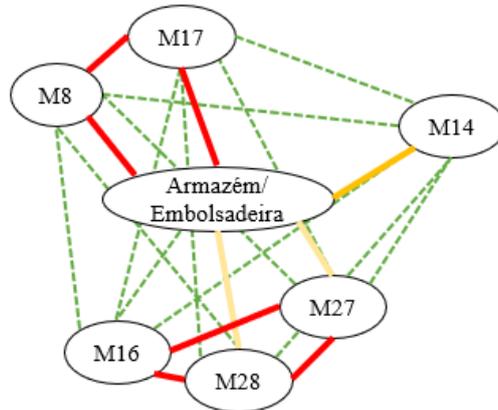


Figura 48: Diagrama de relações da secção B com todas as relações.

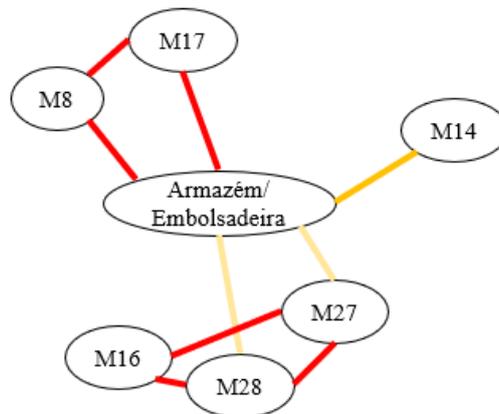


Figura 49: Diagrama de relações da secção B apenas com relações importantes.

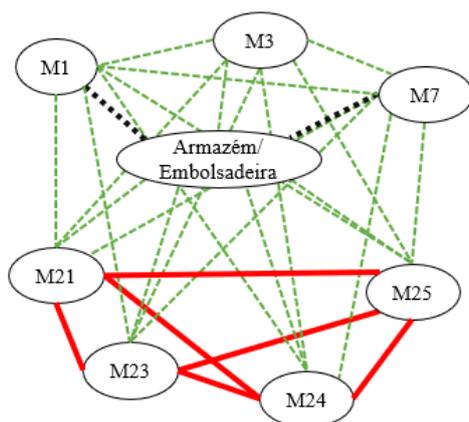


Figura 50: Diagrama de relações da secção C com todas as relações.

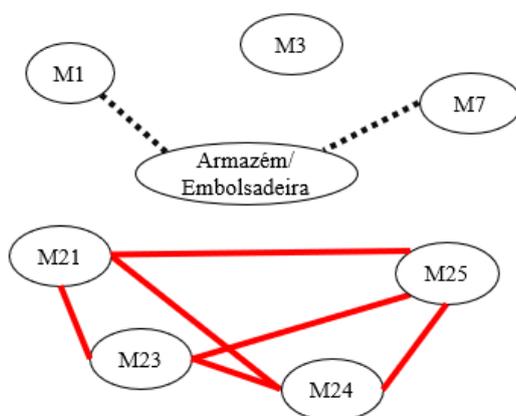


Figura 51: Diagrama de relações apenas com relações importantes.

#### Passos 5 e 6) Requisitos de espaço e Espaço Disponível

Nestes dois passos, é importante considerar quais as áreas disponíveis nas várias secções e quais os requisitos de espaço existentes, considerando as áreas das máquinas a alocar nas secções. Na Tabela 33, é possível visualizar essa informação.

| <b>Secção A</b> |                            | <b>Secção B</b> |                            | <b>Secção C</b> |                            |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Área Secção     | Requisitos (Área Máquinas) | Área Secção     | Requisitos (Área Máquinas) | Área Secção     | Requisitos (Área Máquinas) |
| 363,30          | 344,40                     | 237,01          | 233,00                     | 194,63          | 192,30                     |

Tabela 33: Requisitos de espaço e espaço disponível.

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 33, é possível concluir que, teoricamente, todas as máquinas poderão ser alocadas nas respetivas secções. Assim, os espaços não ocupados servirão para a colocação de *workstations* e *racks* de abastecimento. No entanto, é importante ter em conta que, devido à geometria das máquinas e do espaço disponível nas várias secções, poderá não ser possível a alocação da totalidade das máquinas mesmo que, numericamente exista margem de área. Tal situação poderá ser melhor compreendida mais à frente neste relatório.

## Passo 7) Diagrama de Relacionamento Espacial

Neste passo, é criado um novo diagrama que tem em conta as relações entre máquinas e equipamentos apresentadas nos diagramas de relações, e incorpora fatores espaciais. Dada a natureza do problema de construção de layout em estudo neste relatório, não foi considerado pertinente a realização deste ponto uma vez que não viria a acrescentar informação pertinente para a construção do layout.

## Passos 8 e 9) Requisitos e Limitações

As limitações e requisitos de espaço existentes foram contempladas na fase inicial deste estudo. No entanto, neste ponto, estas serão detalhadamente apresentadas. Tais limitações permitiram a construção do layout utilizado como ponto de partida, apresentado na Figura 26. A necessidade de existirem corredores laterais de dois metros, um corredor central de três metros, a localização das embolsadeiras e equipamentos de embalagem à entrada do espaço de montagem, a existência de um corredor de evacuação e a colocação dos cacifos e do escritório nos locais apresentados, foram os principais requisitos a ter em conta para a construção do layout V3. Os corredores foram assim dimensionados para possibilitar a deslocação de um comboio logístico e, futuramente, AGV's. Já a localização dos equipamentos de embalagem foi assim definida, uma vez que se tratam de equipamentos partilhados por outros departamentos da empresa, nomeadamente, a área de injeção. Desta forma, foi pré-definido que deveriam ser localizados à entrada da nova área de montagem, diminuindo a distância entre os respetivos departamentos e a área de injeção. Já o escritório e os cacifos deveriam ficar o mais próximo possível dos corredores pedestres da fábrica e, ao mesmo tempo, não deverão ser localizados perto de corredores onde exista muita afluência de equipamentos como empilhadoras e porta paletes. Desta forma, as suas localizações foram determinadas conforme o apresentado na Figura 52. Relativamente à existência de portões, para além dos já existentes nas instalações da fábrica, o departamento de higiene e segurança exigiu ainda a incorporação de um corredor de evacuação localizado de acordo com a Figura.

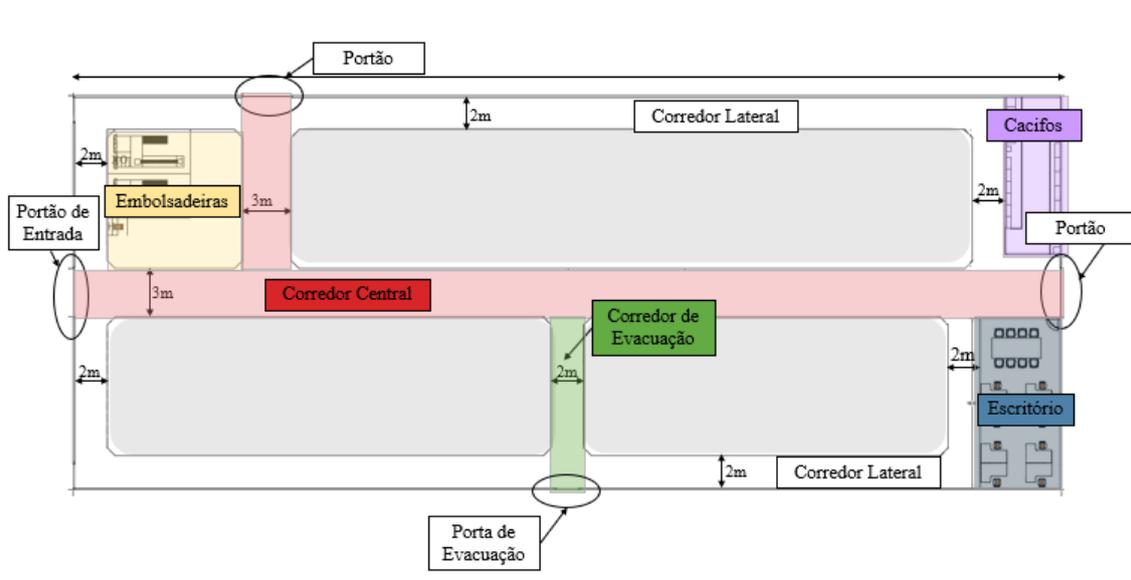


Figura 52: Requisitos e limitações a considerar para construção do layout V3.

## Passo 10) Construção do Layout

O último passo consiste na construção de alternativas de layout tendo em conta as várias restrições e limitações e tendo por base os diagramas de relação construídos. Foram, neste passo, construídas algumas alternativas de layouts para as secções. Posteriormente, as alternativas foram

comparadas entre si com recurso a um método de pesos. De notar que os layouts apresentados nas imagens seguintes apenas têm em conta a incorporação das máquinas, resultado da aplicação do problema da mochila e do método SLP. Após a distribuição das várias máquinas, será necessária a incorporação das *racks* de abastecimento e *workstations*. De lembrar que as *racks* já foram previamente dimensionadas de acordo com as necessidades de abastecimento para um período de uma hora (ver Tabela 22). Relativamente à definição de quantidade e distribuição de *workstations*, este será um estudo apresentado mais à frente neste relatório.

Para a construção de alternativas de layout, foi seguida uma ordem distinta da alfabética. Uma vez que a secção C é aquela cuja área disponível e área de máquinas possuía uma menor diferença, ou seja, onde existia uma menor margem de área livre, seria de esperar que existisse a possibilidade de não haver a área necessária para alocar todas as máquinas atribuídas pelo problema da mochila (devido à geometria complexa das mesmas). Assim, o estudo de construção de layouts foi iniciado na secção C, seguindo para a B (segunda área com menor margem) e finalizando na secção A. De seguida, serão apresentados os layouts construídos, resultantes da aplicação do método SLP.

#### Secção C)

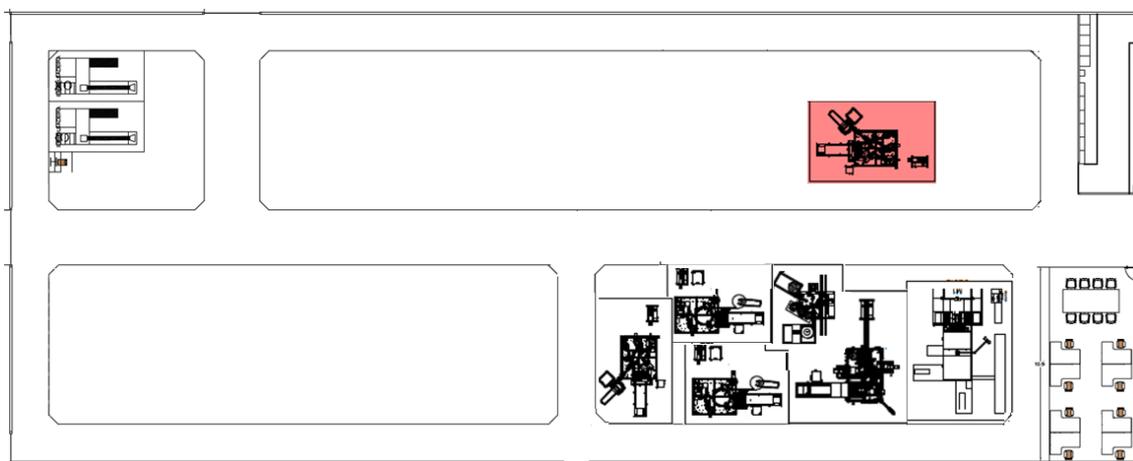


Figura 53: Layout da secção C.

Como é possível verificar na Figura 53, uma das máquinas não foi possível de alocar no espaço disponível devido à geometria da mesma. Foi escolhido remover a máquina M25 por se tratar de uma nova máquina que chegará às instalações da empresa em último lugar, relativamente às restantes máquinas presentes na secção C. Assim, ao distribuir as restantes máquinas pelas secções seguintes- A e B- espera-se que exista a possibilidade de alocar a M25 em alguma folga. Caso não seja possível, esta máquina terá de ser excluída do layout.

Relativamente a esta secção, não foram criadas alternativas de layout uma vez que, devido às pequenas dimensões da área e ao diagrama de relações considerado, não existem alternativas pertinentes. Assim, esta será a versão final de layout da secção C.

#### Secção B)

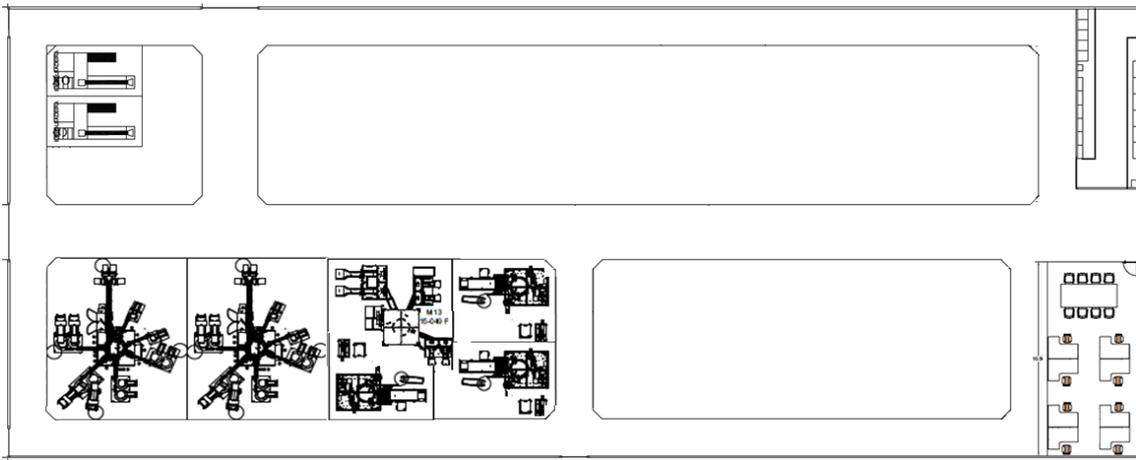


Figura 54: Layout da secção B.

Foi possível alocar todas as máquinas à secção B sem qualquer constrangimento (Figura 54). No entanto, a máquina M25 não pôde ser aqui alocada. Assim como na secção C, não foi considerado pertinente a criação de alternativas de layout nesta secção.

#### Secção A)

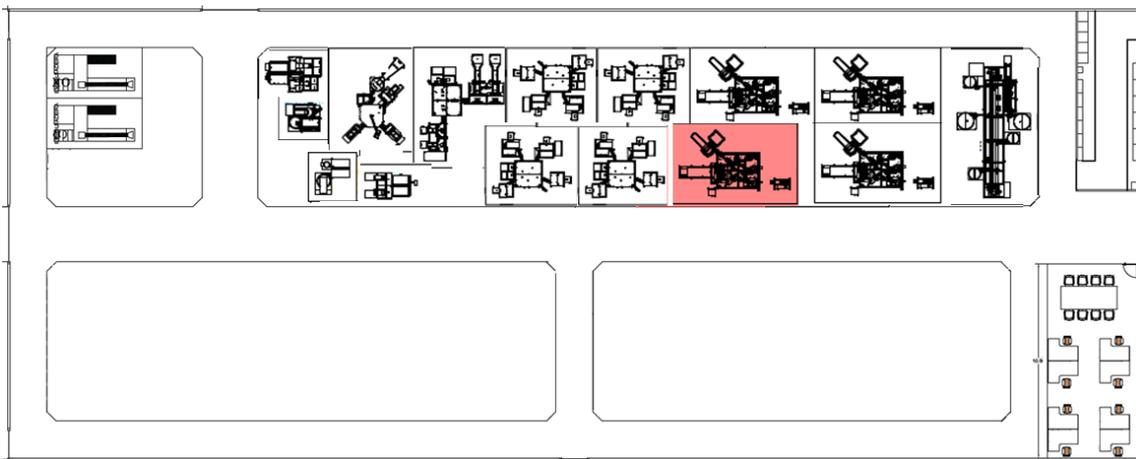


Figura 55: Layout da secção A (Solução 1).

Por fim, através de uma primeira solução de construção de layout, foi possível alocar todas as máquinas à secção A, incluindo a máquina M25, que, por motivos de falta de área, não foi possível alocar na secção C (Figura 55). No entanto, após esta primeira alternativa, foi possível verificar que a distribuição das *racks* de abastecimento iria ser dificultada. Para além disso, uma reorganização das cinco máquinas cujo output necessita de ir à embolsadeira foi considerada. Desta forma foram implementadas algumas melhorias, nomeadamente:

- Relativamente às cinco máquinas cujo output necessita de ir à embolsadeira, aproximaram-se destes equipamentos de embalagem as duas máquinas com maior output (M6 e M12);
- Otimizar a dispersão das máquinas com o objetivo de criar espaços vazios junto das máquinas para a implementação das *racks* de abastecimento;
- Otimizar orientação das máquinas: colocar as zonas IN das máquinas mais próximas dos corredores para existir mais espaço para deslocações e para aproximar as mesmas relativamente às *racks*.

Tendo isto em conta, foi obtida a segunda solução de layout para a secção A (Figura 56).

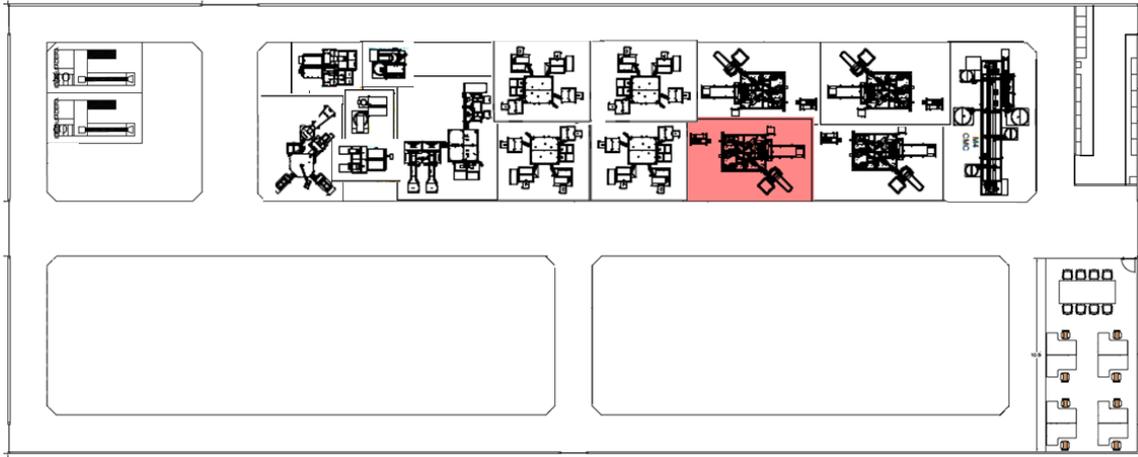


Figura 56: Layout da secção A (Solução 2).

### Comparação entre as duas soluções:

Para decidir entre as duas soluções de layout da secção A, recorreu-se a um sistema de pontos. Foram tidos sem conta cinco aspetos: (A) a uniformização da posição das máquinas (tentar posicionar máquinas idênticas de forma semelhante, sem recorrer a rotações), (B) a consideração relativamente à cadência das máquinas num nível mais detalhado do que o considerado no diagrama de relações, (C) a disponibilidade de área para colocação de *racks* em posições mais vantajosas, (D) a distribuição das máquinas tendo em conta o diagrama de relações e (E) a consideração pelo fluxo de trabalho dos operadores (Tabela 34). De forma a atribuir ponderações a cada um dos aspetos, será utilizada uma escala de valores entre 1 e 3, sendo que o valor 1 indica uma fraca consideração por determinado aspeto, enquanto o valor 3 indica uma forte consideração. Assim, por exemplo, se o valor 3 for atribuído ao aspeto A, significa que o layout em avaliação teve grande consideração relativamente à uniformização das máquinas, isto é, as máquinas encontram-se uniformizadas. Já se o valor 1 for atribuído ao aspeto A, então o layout em avaliação teve baixa consideração sobre a uniformização. Recorrendo a este sistema de pontos, chegou-se ao resultado apresentado na Tabela 35.

|   |   |
|---|---|
| A | Uniformização das máquinas.   |
| B | Consideração relativamente à cadência das máquinas (com maior detalhe).   |
| C | Disponibilidade de área para colocação de <i>racks</i> em locais otimizados (menor distância da respetiva máquina). |
| D | Consideração pela informação do diagrama de relação.  |
| E | Consideração pelo fluxo de trabalho dos operadores.   |

Tabela 34: Aspetos a avaliar na comparação entre alternativas de layout.

| Código | Solução 1 | Solução 2 |
|--------|-----------|-----------|
| A      | 3         | 2         |
| B      | 2         | 3         |
| C      | 1         | 3         |
| D      | 3         | 3         |
| E      | 3         | 2         |
| Total  | 12        | <b>13</b> |

Tabela 35: Resultado do sistema de pontos.

Finalmente, e uma vez que a solução 2 obteve uma valorização superior, será esta a solução final de layout para a secção A. Concluindo e incorporando o resultado das três secções, a distribuição de máquinas para o layout V3 poderá ser visualizado na Figura 57.

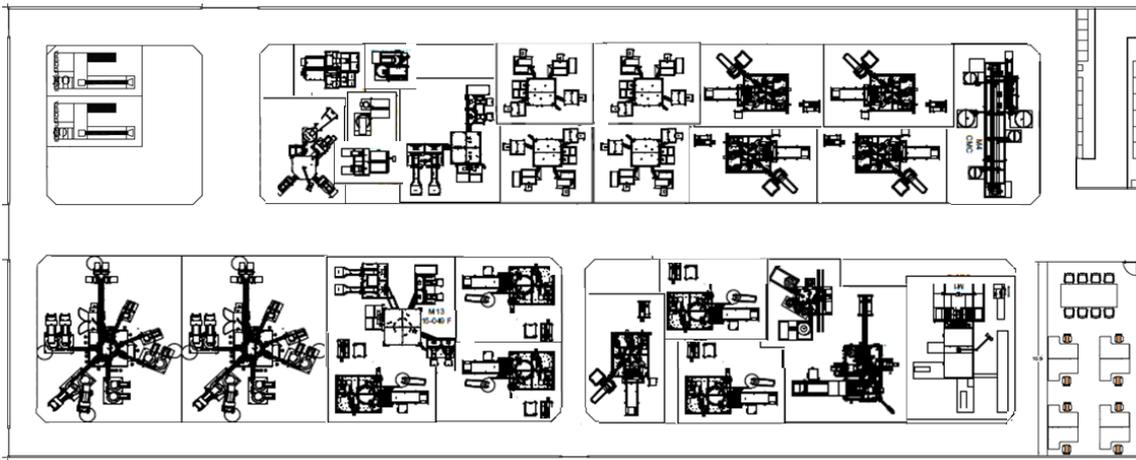


Figura 57: Distribuição das máquinas no layout V3.

### **Incorporação de racks de abastecimento:**

O passo seguinte consiste na incorporação das *racks* de abastecimento no layout apresentado. Após iniciar o estudo, verificou-se que será necessária uma redefinição da disposição das máquinas. Isto porque o espaço livre não seria suficiente para a incorporação das *racks* das máquinas M13 e M14 nas secções A e B (Figura 58). Tendo isto em conta, surge a necessidade de libertar espaço em ambas as áreas.

Seria de esperar que tal situação poderia acontecer pois, qualquer modelo, algoritmo ou abordagem de resolução que nos dê uma solução (seja ela ótima ou não), para um problema real, é sempre uma "sugestão", uma vez que qualquer problema real é bastante mais complexo do que o que se consegue modelar. Isto é, qualquer modelo é uma abstração/simplificação da realidade, logo a solução também será (na mesma proporção) uma solução "simplificada". Quer isto dizer que, após termos uma solução para um problema real, teremos sempre que avaliá-la em termos de solução final para a implementação. Daí, que as soluções dadas pelos modelos serão uma "sugestão", para a solução a implementar, porque nem sempre é, ou pode ser, aplicada na integra, tal como ocorreu nesta situação.

Assim, de forma a avançar no estudo, recorreu-se a um critério de exclusão de máquinas, com o objetivo de libertar espaço nas secções A e B (secções onde existe limitação de espaço). Relativamente à secção A, foi removida a máquina M25 que inicialmente estava alocada à secção C (relembrar que esta máquina foi alocada na secção A por não existir espaço na secção C disponível para a mesma). Relativamente à secção B, o critério de exclusão foi a data de chegada das novas máquinas. Neste espaço, a última máquina a chegar às instalações será a M28. Assim, esta deverá ser excluída do layout.

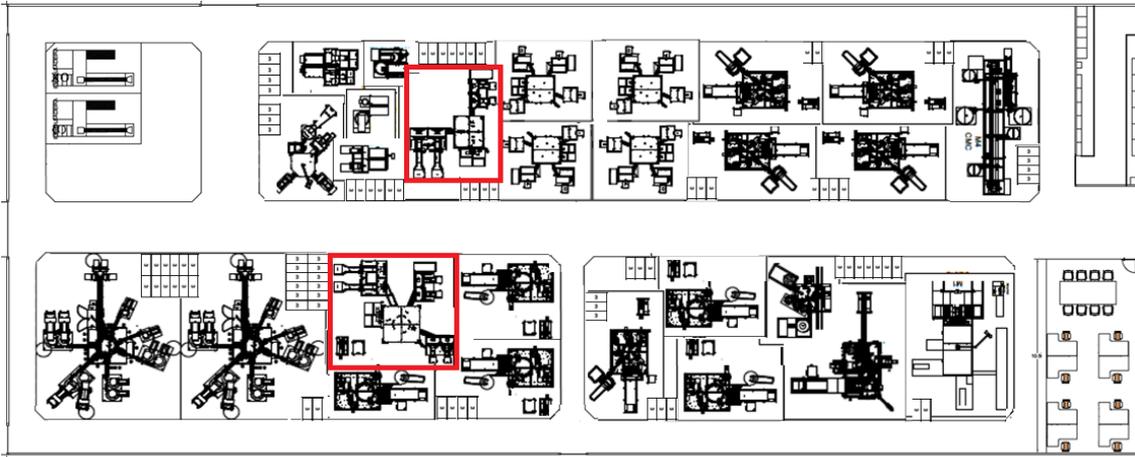


Figura 58: Máquinas cujas racks de abastecimento não foram possíveis alocar nas áreas.

Após a remoção das máquinas M25 e M28, duas abordagens foram seguidas que deram origem a duas alternativas de layout- layout V3 e V4.

Numa primeira abordagem, as máquinas que permanecem, foram reajustadas, respeitando os diagramas de relações já construídos e foi obtido o layout V3. Daqui, foram incorporadas as *racks* de abastecimento (Figuras 59 e 60). De relembrar que o layout apresentado não se encontra completo, faltando apenas a incorporação de *workstations*. Numa segunda abordagem, recorreu-se novamente ao problema da mochila com o objetivo de alocar as várias máquinas às diferentes secções. Posteriormente, com recurso à aplicação do método SLP, dando origem a uma nova alternativa de layout- layout V4- que será apresentado na secção 4.1.3 deste relatório.

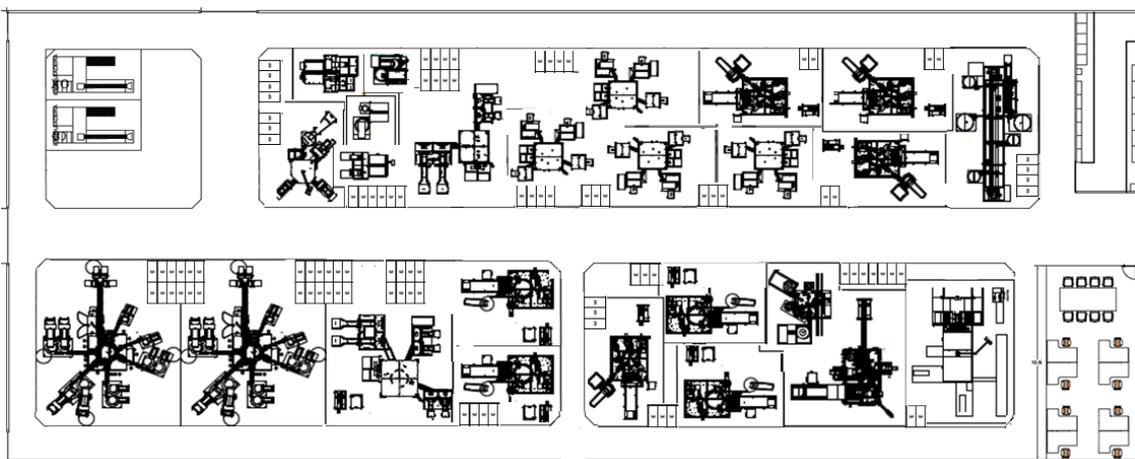


Figura 59: Distribuição de máquinas e racks de abastecimento no layout V3.

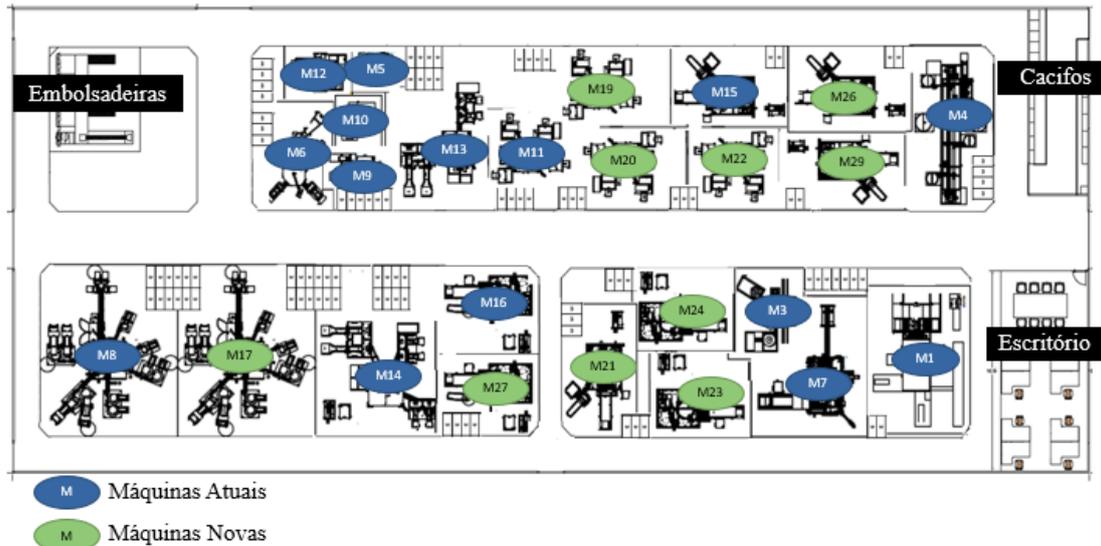


Figura 60: Layout V3 legendado.

### Alocação de workstations:

#### **Descrição do Problema:**

Para atribuir *workstations* às máquinas, foi aplicado o problema de afetação. O objetivo do problema é maximizar a diferença de output de máquinas que partilham a mesma workstation. O output é o fator decisivo neste estudo uma vez que, por cada output gerado, é necessária uma interação com a *workstation* atribuída a essa máquina (de lembrar que a *workstation* é o posto de trabalho onde são emitidas as etiquetas de produto acabado ou intermédio). Isto porque, tendo conhecimento da situação atual da área de montagem, se duas máquinas com cadências de output semelhantes partilham a mesma *workstation*, existe uma grande probabilidade de o operador trocar etiquetas de produto acabado, gerando reclamações de clientes. Assim, se duas máquinas partilharem a mesma *workstation* estas devem ter cadências de output consideravelmente diferentes, de forma a evitar erros. Para além disso, uma *workstation* deveria ser atribuída, exclusivamente, às embolsadeiras e a máquinas com output superar a 39 caixas por turno. Isto porque, sendo equipamentos com cadência de trabalho muito elevada, deve-se evitar ao máximo filas de espera na etiquetagem. As restantes máquinas, deveriam ser contempladas no modelo desenvolvido.

Assim, o objetivo do estudo é a maximização da diferença de output entre máquinas que partilham a mesma workstation, respeitando as seguintes restrições:

- Cada *workstation* pode ser partilhada por, no máximo, três máquinas;
- Pretende-se que, uma *workstation*, caso partilhe duas máquinas, estas produzam um número de output distinto. Assim, deve existir uma restrição que garanta que a amplitude entre o output das duas/três máquinas que partilham a mesma *workstation*, deve ser superior a 2 caixas;
- As máquinas M3 e M4 não podem partilhar a mesma *workstation*;
- A soma de outputs das máquinas selecionadas para partilhar a mesma *workstation* deve ser inferior a 40 caixas;
- Uma *workstation*, caso partilhe duas ou três máquinas, estas devem ser adjacentes entre si, isto é, no limite, A deve ser adjacente a B e B deve ser adjacente a C, sendo A, B e C três máquinas;

Tendo isto em conta, é necessário recolher informação relativa ao número de outputs de cada máquina por turno (Tabela 36), isto é, o número de caixas de produto acabado produzidas por cada máquina, num turno, e é ainda necessário realizar uma conversão numérica, de forma a definir os inputs do modelo.

| Máquina | Número de Output gerado (por turno) |
|---------|-------------------------------------|
| M1      | 4                                   |
| M3      | 14                                  |
| M4      | 26                                  |
| M5      | 12                                  |
| M6      | 19                                  |
| M7      | 3                                   |
| M8      | 41                                  |
| M9      | 10                                  |
| M10     | 13                                  |
| M11     | 19                                  |
| M12     | 30                                  |
| M13     | 64                                  |
| M14     | 54                                  |
| M15     | 3                                   |
| M16     | 3                                   |
| M17     | 41                                  |
| M19     | 19                                  |
| M20     | 26                                  |
| M21     | 3                                   |
| M22     | 36                                  |
| M23     | 3                                   |
| M24     | 3                                   |
| M25     | 3                                   |
| M26     | 6                                   |
| M27     | 6                                   |
| M28     | 6                                   |
| M29     | 6                                   |

Tabela 36: Número de output gerado por máquina num turno.

### Descrição dos Dados:

Como inputs do modelo tem-se o número de máquinas a considerar ( $M$ ) (Tabela 37), o número de *workstations* a distribuir ( $W$ ), o valor limite de output a considerar num conjunto de máquinas que partilham a mesma *workstation* ( $cW$ ), os valores de output das máquinas (*output*), a diferença de output entre as várias máquinas (*difOut*) e, por fim as incompatibilidades de máquinas (*Inc*). As incompatibilidades referem-se às máquinas que não podem partilhar *workstations* devido a limitações reais e ainda a máquinas que não são adjacentes. De relembrar que as máquinas cujo output é superior a 40 caixas não são consideradas.

| Máquinas | Máquinas a contemplar (Codificação) | Máquinas | Máquinas a contemplar (Codificação) |
|----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|
| M12      | 1                                   | M4       | 13                                  |
| M6       | 2                                   | M8       | -                                   |
| M5       | 3                                   | M17      | -                                   |
| M10      | 4                                   | M14      | -                                   |

|            |    |            |    |
|------------|----|------------|----|
| <b>M9</b>  | 5  | <b>M16</b> | 14 |
| <b>M13</b> | -  | <b>M27</b> | 15 |
| <b>M11</b> | 6  | <b>M21</b> | 16 |
| <b>M19</b> | 7  | <b>M24</b> | 17 |
| <b>M20</b> | 8  | <b>M23</b> | 18 |
| <b>M15</b> | 9  | <b>M3</b>  | 19 |
| <b>M22</b> | 10 | <b>M7</b>  | 20 |
| <b>M26</b> | 11 | <b>M1</b>  | 21 |
| <b>M29</b> | 12 |            |    |

Tabela 37: Dados para o problema de afetação (codificação das máquinas).

### Modelo Matemático:

#### Variáveis e Dados:

$M = \{1, \dots, m\} \mapsto$  conjunto de máquinas;

$W = \{1, \dots, w\} \mapsto$  conjunto de workstations;

$output_i =$  output da máquina  $i$ ;

$c_w =$  capacidade das workstations;

$difOut_{ik} =$  diferença entre output da máquina  $i$  e da máquina  $k$ ;

$Inc =$  conjunto de máquinas incompatíveis;

$(Inc1, Inc2) =$  tuplo de relações de incompatibilidade entre máquinas.

#### Variáveis de decisão:

$$x_{ij} = \begin{cases} =1, & \text{se a máquina } i \text{ é atribuída à workstation } j \\ =0, & \text{se não} \end{cases}$$

$$x_{ikj} = \begin{cases} =1, & \text{se as máquinas } i \text{ e } k \text{ estão atribuídas à mesma workstation } j \\ =0, & \text{se não.} \end{cases}$$

#### Formulação do modelo:

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^w difOut_{ik} \times x_{ikj} \quad (1)$$

$$\text{s.a: } \sum_{j=1}^w x_{ij} = 1, \forall i \in M \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 3, \forall j \in W \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} output_i \leq c_w, \forall j \in W \quad (4)$$

$$2 \times x_{ikj} \leq x_{ij} + x_{kj}, \forall i, k \in M, \forall j \in W \quad (5)$$

$$x_{ij} \times Inc1 + x_{ij} \times Inc2 \leq 1, \forall i \in Inc, \forall j \in W \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (7)$$

$$x_{ikj} \in \{0,1\} \quad (8)$$

A função objetivo do modelo (1) pretende maximizar a diferença do output das máquinas atribuídas à mesma workstation. Relativamente às restrições, a restrição (2) garante que cada máquina só está atribuída a uma workstation. Já a restrição (3) pretende garantir que cada workstation pode partilhar até 3 máquinas. Em (4) é assegurado que o output total das máquinas atribuídas a uma workstation não pode exceder a sua capacidade. Em (5) está presente a restrição que relaciona as duas variáveis de decisão. Em (6) é garantido que não são atribuídas à mesma workstation máquinas incompatíveis e, finalmente, em (7) e (8) é definido o domínio das variáveis.

#### Solução do Modelo:

A solução retornada pelo modelo encontra-se apresentada nas Tabelas 38 e 39.

|           | <b>FO</b> | <b>Gap (%)</b> | <b>Tempo computacional (seg)</b> | <b>Nº de workstations</b> |
|-----------|-----------|----------------|----------------------------------|---------------------------|
| Layout v3 | 214       | 0,93           | 7,95                             | 10                        |

Tabela 38: Solução do problema de afetação.

| <b>Máquinas</b> | <b>Workstation</b> | <b>Máquinas</b> | <b>Workstation</b> |
|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| <b>M12</b>      | W9                 | <b>M4</b>       | W7                 |
| <b>M6</b>       | W2                 | <b>M8</b>       | -                  |
| <b>M5</b>       | W2                 | <b>M17</b>      | -                  |
| <b>M10</b>      | W3                 | <b>M14</b>      | -                  |
| <b>M9</b>       | W3                 | <b>M16</b>      | W8                 |
| <b>M13</b>      | -                  | <b>M27</b>      | W8                 |
| <b>M11</b>      | W6                 | <b>M21</b>      | W1                 |
| <b>M19</b>      | W6                 | <b>M24</b>      | W1                 |
| <b>M20</b>      | W4                 | <b>M23</b>      | W1                 |
| <b>M15</b>      | W5                 | <b>M3</b>       | W10                |
| <b>M22</b>      | W5                 | <b>M7</b>       | W10                |
| <b>M26</b>      | W7                 | <b>M1</b>       | W10                |
| <b>M29</b>      | W7                 |                 |                    |

Tabela 39: Solução do problema de afetação.

É possível concluir que serão necessárias alocar 10 *workstations* às máquinas de montagem cujo output é inferior a 40 caixas. Para além destas 10, existirão mais 5 que dizem respeito às embolsadeiras e às quatro máquinas de montagem que possuem um output muito elevado e que, portanto, se definiu inicialmente que teriam uma *workstation* exclusiva. Na Figura 61 é apresentada a alocação das *workstations* às máquinas e equipamentos. Tendo esta atribuição, é então possível concluir a construção do layout V3, que é apresentado na Figura 62.

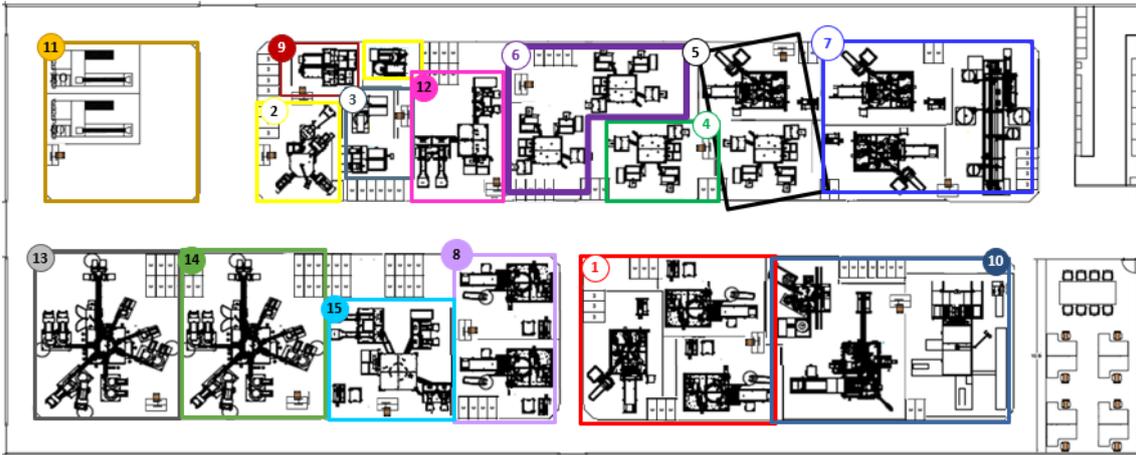


Figura 61: Distribuição de workstations pelas máquinas.

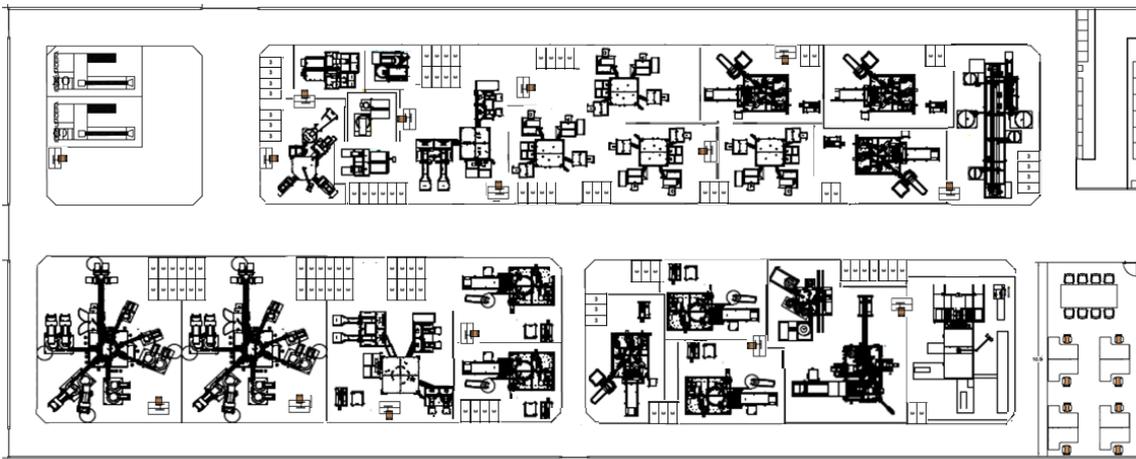


Figura 62: Layout V3.

#### 4.1.3. Layout V4

A quarta possibilidade de layout foi construída de forma idêntica ao layout V3, apenas com um número de máquinas a contemplar diferente. Na secção 4.1.2, após alocação das máquinas às várias secções através do problema da mochila, seguido da distribuição das mesmas dentro das secções através do método SLP, não era possível a alocação das *racks* de abastecimento. Isto porque, nesta fase do estudo, o espaço livre existente não era suficiente para colocação das *racks*, surgindo a necessidade de excluir duas máquinas de montagem- uma na secção A e outra na secção B. Após determinação do critério de exclusão, foi decidido que as máquinas que seriam removidas seriam a M25 e a M28. A partir deste ponto duas abordagens distintas foram seguidas que deram origem a duas possibilidades de layout: layout V3, já apresentado em 4.1.2, e layout V4, que será apresentado nesta secção.

Tal como no ponto anterior, para a construção do layout V4, será aplicado o problema da mochila para alocação das máquinas às secções, seguido do método SLP para distribuição das mesmas dentro das secções e finalizando com um problema de afetação para distribuição de *workstations*.

### i. Problema da Mochila

Na Tabela 40, são apresentados os dados que servem de input para aplicação do problema da mochila. De notar que as máquinas M25 e M28 já não estão contempladas. Assim, considerado os inputs apresentados, o mesmo modelo foi corrido, dando origem a uma nova solução.

| Nº Projeto | Nome Projeto (Yazaki) | Máquinas | Área (m <sup>2</sup> ) | Área Rack (m <sup>2</sup> ) | Área Total (m <sup>2</sup> ) | Importância | Valor em relação às secções [A, B, C] |
|------------|-----------------------|----------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 1          | Projeto M1            | M1       | 43,60                  | 0,55                        | 44,15                        | V           | [10, 0, 10000]                        |
| 2          | Projeto M3            | M3       | 18,70                  | 2,20                        | 20,90                        | IV          | [100, 10, 1000]                       |
| 3          | Projeto M4            | M4       | 42,00                  | 2,20                        | 44,20                        | V           | [10, 0, 10000]                        |
| 4          | Projeto M5            | M5       | 7,30                   | 1,10                        | 8,40                         | I           | [10000, 1000, 0]                      |
| 5          | 15-098                | M6       | 20,20                  | 1,65                        | 21,85                        | I           | [10000, 1000, 0]                      |
| 6          | Projeto M7            | M7       | 26,00                  | 1,65                        | 27,65                        | V           | [10,0, 10000]                         |
| 7          | 14-013                | M8       | 56,00                  | 6,60                        | 125,20                       | I           | [1000, 10000,0]                       |
|            |                       | M17      | 56,00                  | 6,60                        |                              |             | [1000, 10000,0]                       |
| 8          | Kaizen                | M9       | 7,30                   | 1,10                        | 26,30                        | I           | [10000, 1000, 0]                      |
|            |                       | M10      | 7,30                   | 1,10                        |                              |             | [10000, 1000, 0]                      |
|            |                       | M12      | 7,30                   | 2,20                        |                              |             | [10000, 1000, 0]                      |
| 9          | 15-115                | M11      | 33,00                  | 2,20                        | 35,20                        | III         | [100, 100, 1000]                      |
| 10         | 15-049                | M13      | 43,00                  | 6,60                        | 99,20                        | II          | [1000, 1000, 10]                      |
|            |                       | M14      | 43,00                  | 6,60                        |                              |             | [1000, 1000, 10]                      |
| 11         | 20-0607               | M19      | 33,00                  | 2,20                        | 35,20                        | III         | [100, 100, 1000]                      |
| 12         | 18-090                | M20      | 33,00                  | 2,20                        | 70,40                        | III         | [100, 100, 10]                        |
|            |                       | M22      | 33,00                  | 2,20                        |                              |             | [100, 100, 10]                        |
| 13         | 19-111                | M21      | 26,00                  | 2,20                        | 112,80                       | IV          | [100, 10, 10000]                      |
|            |                       | M23      | 26,00                  | 2,20                        |                              |             | [100, 10, 10000]                      |
|            |                       | M24      | 26,00                  | 2,20                        |                              |             | [100, 10, 10000]                      |
| 14         | 17-112                | M15      | 26,00                  | 1,10                        | 162,60                       | III         | [100, 100, 100]                       |
|            |                       | M16      | 26,00                  | 1,10                        |                              |             | [100, 100, 100]                       |
|            |                       | M26      | 26,00                  | 1,10                        |                              |             | [100, 100, 100]                       |

|  |  |     |       |      |  |  |                 |
|--|--|-----|-------|------|--|--|-----------------|
|  |  | M27 | 26,00 | 1,10 |  |  | [100, 100, 100] |
|  |  | M29 | 26,00 | 1,10 |  |  | [100, 100, 100] |

Tabela 40: Dados que servem de input à aplicação do problema da mochila.

**Legenda:**

|            |       |   |
|------------|-------|---|
| <b>I</b>   | 10000 | Importância Máxima (>100 caixas/turno + máquinas que necessitam de ir à embolsadeira) |
| <b>II</b>  | 1000  | Importância Alta (> 80 caixas/turno)  |
| <b>III</b> | 100   | Alguma Importância (>40 caixas/turno)   |
| <b>IV</b>  | 10    | Pouca Importância (>20 caixas/turno)  |
| <b>V</b>   | 0     | Sem Importância (< 20 caixas/turno + máquinas em fim de vida)                         |

Tabela 41: Fator importância e respectivos valores.

Solução do Modelo:

A solução obtida é apresentada na Tabela 42 e esta está representada visualmente na Figura 63.

| Secção A       |                     | Secção B       |                     | Secção C       |                     |
|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Solução Modelo | Máquina (Conversão) | Solução Modelo | Máquina (Conversão) | Solução Modelo | Máquina (Conversão) |
| 2              | 3                   | 7              | 8                   | 1              | 1                   |
| 4              | 5                   | 14             | 15                  | 3              | 4                   |
| 5              | 6                   | 15             | 16                  | 6              | 7                   |
| 8              | 9                   | 16             | 17                  | 19             | 21                  |
| 9              | 10                  | 23             | 26                  | 21             | 23                  |
| 10             | 11                  | 24             | 27                  | 22             | 24                  |
| 11             | 12                  |                |                     |                |                     |
| 12             | 13                  |                |                     |                |                     |
| 13             | 14                  |                |                     |                |                     |
| 17             | 19                  |                |                     |                |                     |
| 18             | 20                  |                |                     |                |                     |
| 20             | 22                  |                |                     |                |                     |
| 25             | 29                  |                |                     |                |                     |

Tabela 42: Solução do modelo.

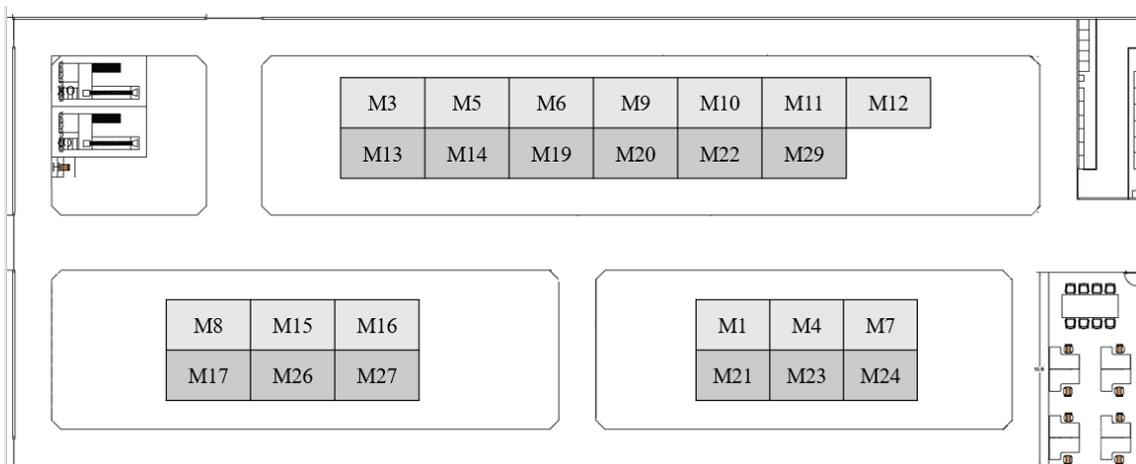


Figura 63: Representação gráfica da solução.

O resultado do problema da mochila apresentado servirá de input para o passo seguinte do estudo: aplicação do método SLP, que irá distribuir e organizar as máquinas nas respectivas secções.

## ii. Método Systematic Layout Planning

Relativamente ao método SLP, a sua aplicação nesta secção não irá seguir todos os 10 passos anteriormente apresentados uma vez que muitos pontos seriam redundantes. Assim, irão ser agora apresentados apenas os passos 4, 5, 6 e 10, visto que os restantes não sofrem qualquer alteração relativamente ao layout V3. O estudo iniciar-se-á com o passo 4- diagrama de relações.

### Passo 4) Diagrama de Relações

Neste passo, serão construídos os gráficos de relações relativos às três secções de áreas (Figuras 64, 67 e 70) que, posteriormente, serão convertidos em diagramas de relações (Figuras 65, 66, 68, 69, 71 e 72). De relembrar que as legendas dos mesmos se encontram nas Tabelas 30 e 31. A segunda fase do passo 4 consiste na conversão dos gráficos de relação para diagramas de relação. A conversão entre as letras e as linhas foi apresentada, anteriormente, na Tabela 32.

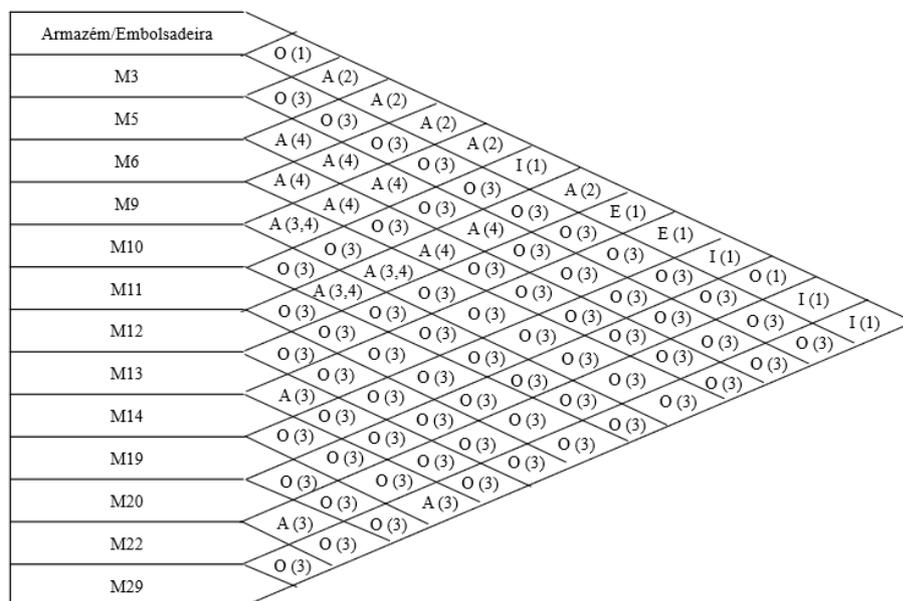


Figura 64: Gráfico de relações da secção A.

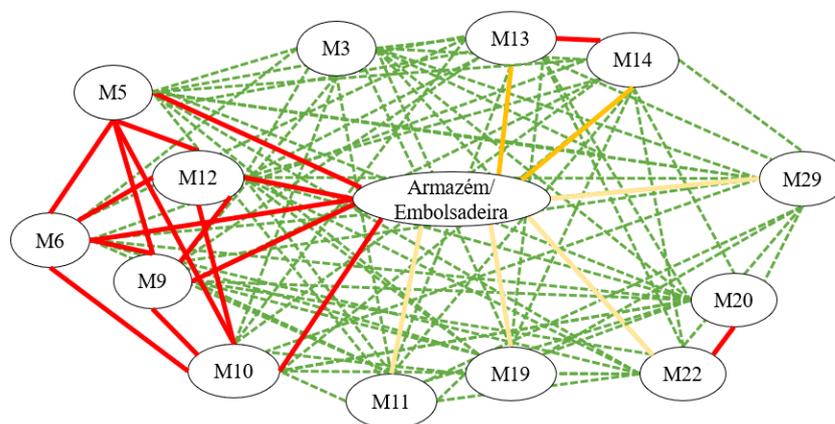


Figura 65: Diagrama de relações da secção A com todas as ligações.

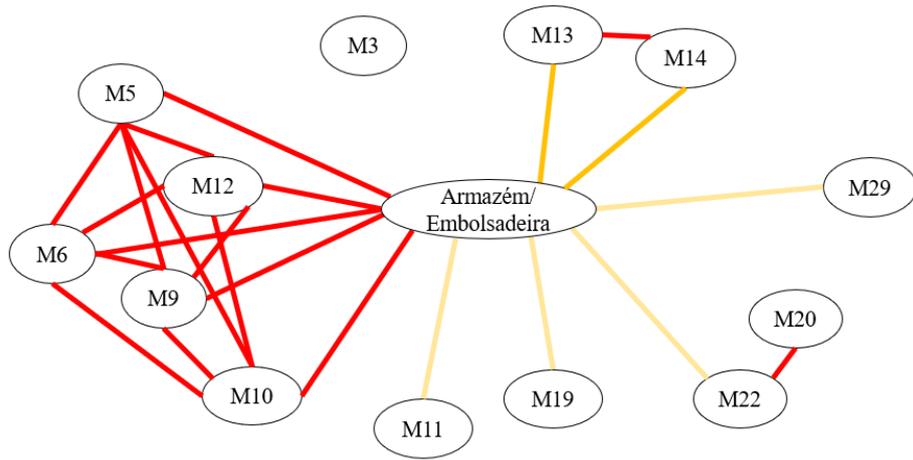


Figura 66: Diagrama de relações da secção A apenas com ligações importantes.

|                      |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Armazém/Embolsadeira | A (1) |       |       |       |       |       |
| M8                   | O (3) | O (1) |       |       |       |       |
| M15                  | O (3) | O (3) | O (1) | A (1) |       |       |
| M16                  | A (3) | O (3) | A (3) | O (3) | I (1) |       |
| M17                  | O (3) | A (3) | A (3) | O (3) | O (3) | I (1) |
| M26                  | O (3) | A (3) | A (3) |       |       |       |
| M27                  | A (3) | O (3) |       |       |       |       |

Figura 67: Gráfico de relações da secção B.

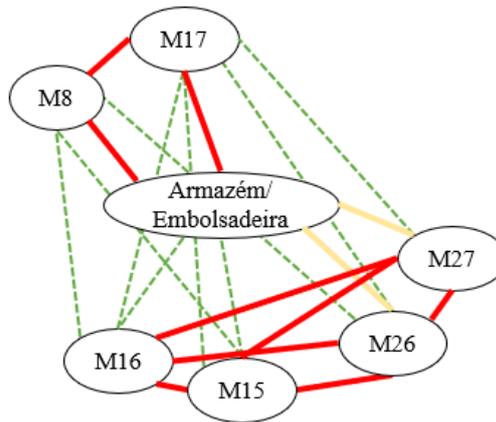


Figura 68: Diagrama de relações da secção B com todas as ligações.

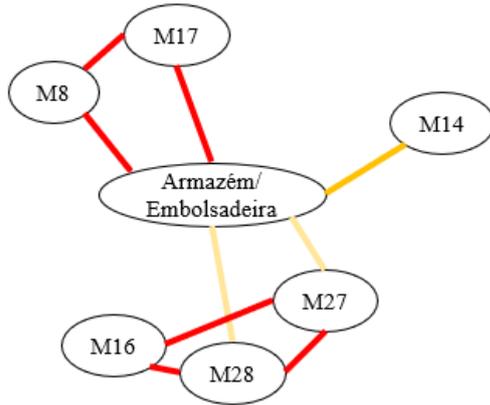


Figura 69: Diagrama de relações da secção B apenas com ligações importantes.

| Armazém/Embolsadeira |       |       |       |       |       |       |       |  |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                      | X (1) |       |       |       |       |       |       |  |
| M1                   |       | X (1) |       |       |       |       |       |  |
| M4                   | O (3) |       | X (1) |       |       |       |       |  |
|                      |       | O (3) |       | O (1) |       |       |       |  |
| M7                   | O (3) |       | O (3) |       | O (1) |       |       |  |
|                      |       | O (3) |       | O (3) |       | O (1) |       |  |
| M21                  | O (3) |       | O (3) |       | O (3) |       | O (3) |  |
|                      |       | O (3) |       | O (3) |       | O (3) |       |  |
| M23                  | A (3) |       | O (3) |       |       |       |       |  |
|                      |       | A (3) |       |       |       |       |       |  |
| M24                  | A (3) |       |       |       |       |       |       |  |

Figura 70: Gráfico de relações da secção C.

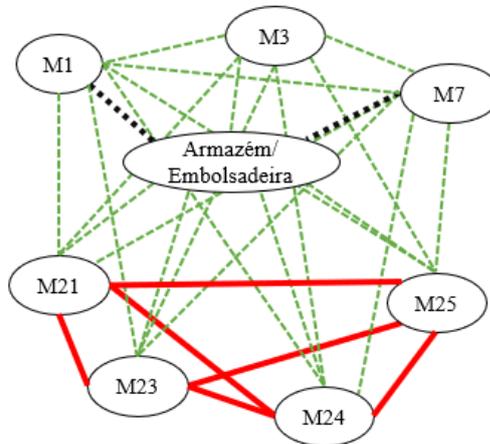


Figura 71: Diagrama de relações da secção C com todas as ligações.

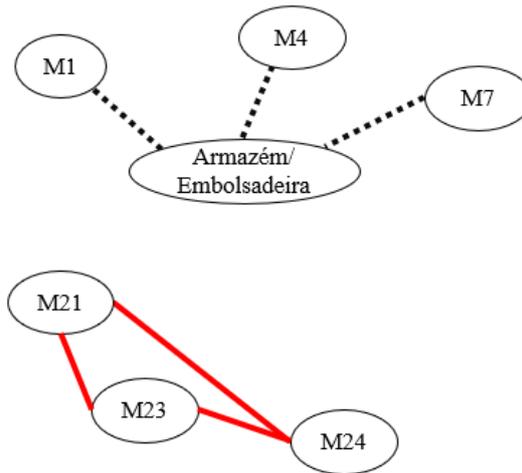


Figura 72: Diagrama de relações da secção C apenas com ligações importantes.

#### Passos 5 e 6) Requisitos de Espaço e Espaço Disponível

Neste passo, a área das secções A, B e C é confrontada com as áreas das máquinas atribuídas às respetivas secções (requisitos) (Tabela 43).

| <b>Secção A</b> |                            | <b>Secção B</b> |                            | <b>Secção C</b> |                            |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| Área Secção     | Requisitos (Área Máquinas) | Área Secção     | Requisitos (Área Máquinas) | Área Secção     | Requisitos (Área Máquinas) |
| 363,30          | 312,10                     | 237,01          | 216,00                     | 194,63          | 189,60                     |

Tabela 43: Requisitos de espaço e espaço disponível.

Tendo em conta os valores apresentados na Tabela 43, é possível concluir que, teoricamente, todas as máquinas poderão ser alocadas nas respetivas secções que foram atribuídas.

#### Passo 10) Construção de Layout

O último passo consiste na construção de alternativas de layout tendo em conta as várias restrições e limitações e tendo por base os diagramas de relação construídos. Neste cenário foi construída apenas uma possibilidade para cada uma das secções uma vez que a diversidade de possibilidades não vinha acrescentar muito ao problema. De notar que os layouts que serão apresentados apenas têm em conta a incorporação das máquinas, resultado da aplicação do problema da mochila e do método SLP. Após a distribuição das várias máquinas será necessária, mais uma vez, a incorporação de *racks* de abastecimento e de *workstations*.

Para a construção de layouts, o estudo iniciou-se com a secção C por ser aquela com menor margem entre a área disponível e a área necessária, tal como ocorreu na secção anterior.

#### Secção C)

Após proceder para a construção de layout, foi verificado que as máquinas atribuídas à secção C através do problema da mochila, não poderiam ser todas alocadas à mesma por falta de espaço disponível. Assim, uma máquina deveria ser excluída desta secção. Nas secções A e B, caso exista alguma margem de área, a máquina excluída desta secção será lá alocada. Desta forma, a máquina

que será excluída será a M24 por se tratar da última máquina a chegar às instalações. Tendo isto em conta, a distribuição de máquinas relativa à secção C poderá ser visualizada na Figura 73.

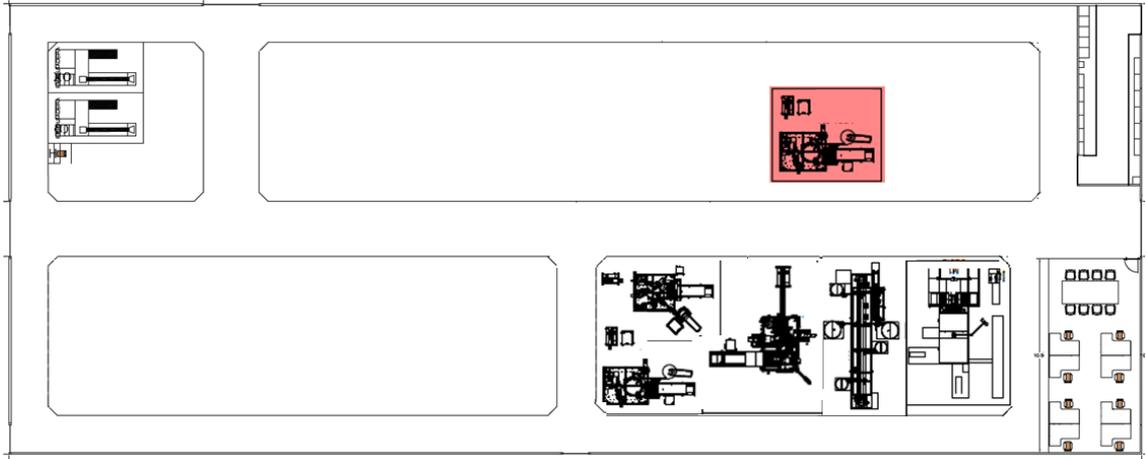


Figura 73: Layout da Secção C.

#### Secção B)

Tal como na secção anterior, a área disponível não se mostrou ser suficiente para a alocação das máquinas que lhe foram atribuídas, assim, foi necessário excluir uma máquina novamente. Para tal, decidiu-se novamente excluir uma máquina de montagem nova que chegasse às instalações mais tarde. Assim, a máquina excluída foi a M27, obtendo o layout apresentado na Figura 74.

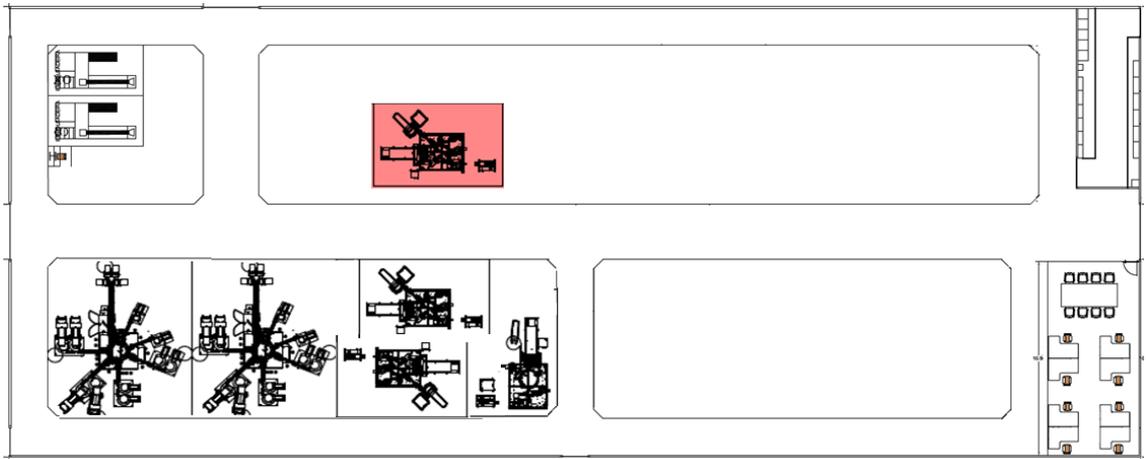


Figura 74: Layout da Secção B.

#### Secção A)

Na construção do layout das máquinas na secção A (Figura 75) foi possível incorporar todas as máquinas que lhe foram atribuídas e ainda restava área para colocação de uma das duas máquinas anteriormente excluídas. Assim, a máquina M24 foi aqui alocada, por se tratar de uma máquina nova com data de chegada às instalações mais breve quando comparada à M27.

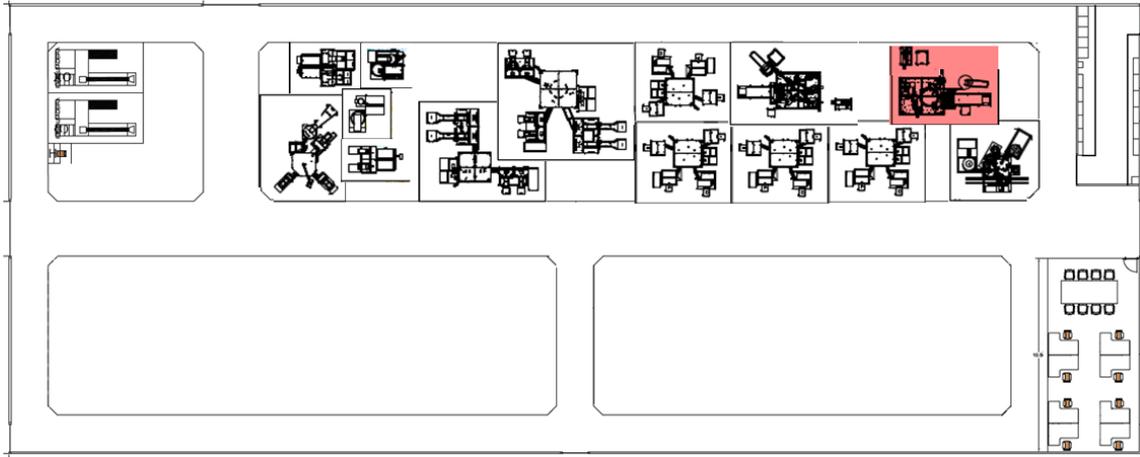


Figura 75: Layout da Secção A.

Construídas as possibilidades de layout de máquinas para as três secções, é possível então a obtenção da distribuição das máquinas no layout V4 que pode ser visualizado na Figura 76. De notar que, nesta alternativa, três máquinas foram excluídas quando na alternativa V3 apenas duas tiveram de ser retiradas. Assim, neste aspeto, a solução V4 deverá ser considerada pior solução quando comparada com a alternativa V3.

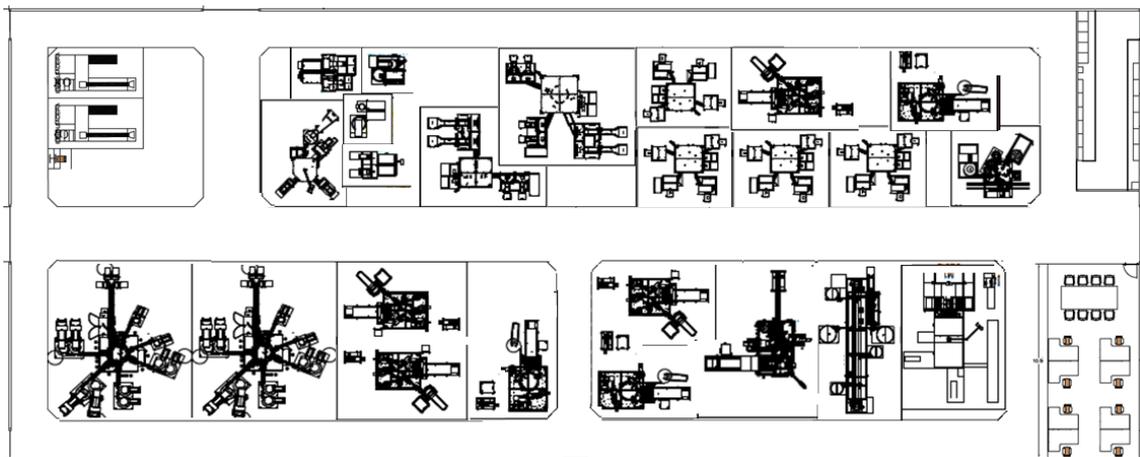


Figura 76: Distribuição das máquinas no Layout V4.

### **Incorporação de racks de abastecimento:**

Tal como na secção anterior, o passo seguinte consiste na incorporação de *racks* de abastecimento junto das máquinas. Após integração das mesmas, é confirmada a validade do layout V4 uma vez que foi possível realizar a incorporação das mesmas (Figura 77). A identificação das máquinas está apresentada na Figura 78. Em seguida, é feita a alocação das *workstations*.

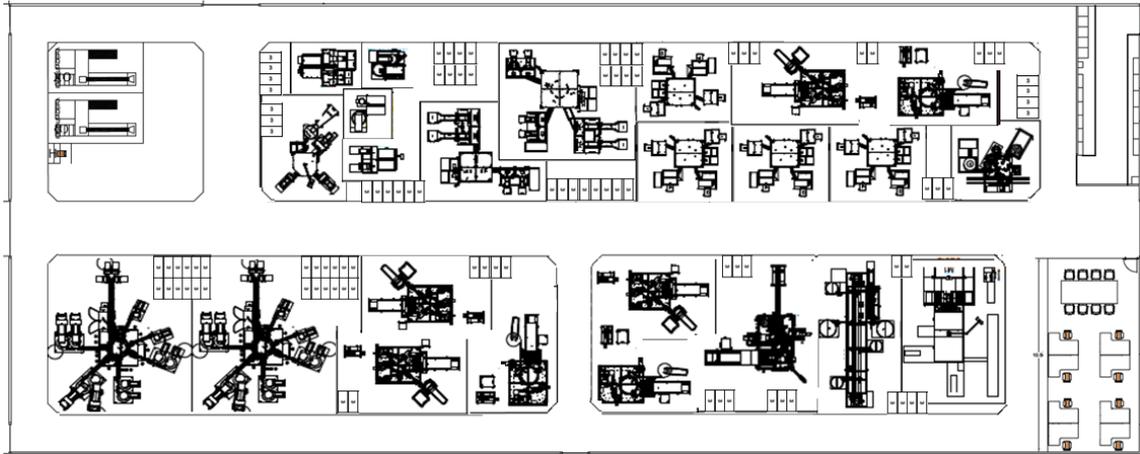


Figura 77: Layout V4 (incompleto).

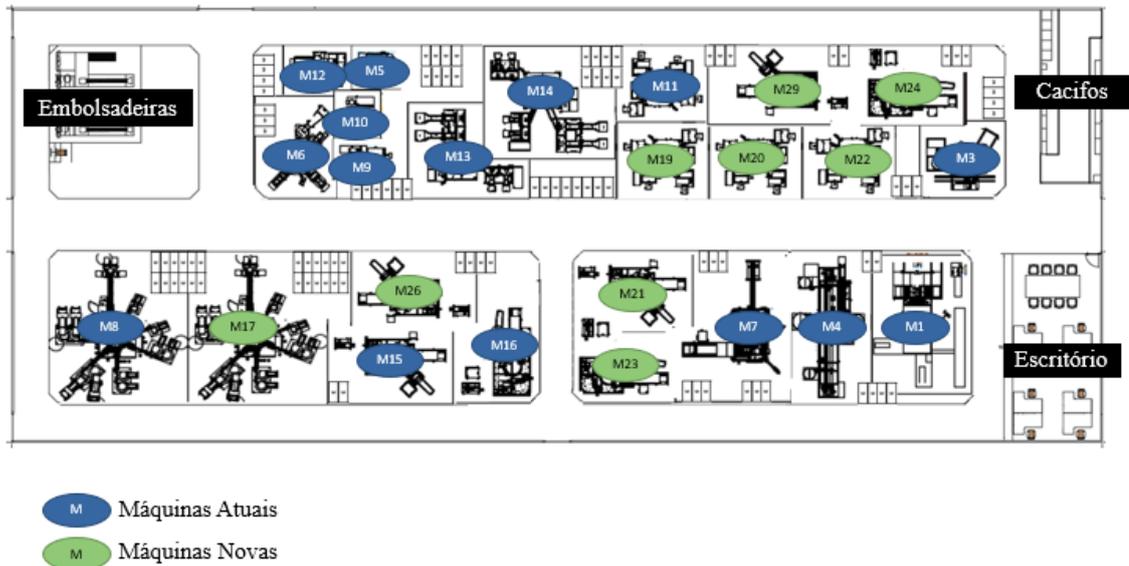


Figura 78: Layout V4 legendado.

**Alocação de workstations:**

Mais uma vez recorreu-se ao problema de afetação para distribuir *workstations* pelas várias máquinas. Embora o modelo seja exatamente o mesmo, os inputs a considerar neste cenário são diferentes.

**Descrição dos Dados:**

Os inputs a determinar são, novamente, o número de máquinas a contemplar (Tabela 44), o número de *workstations* a distribuir, o valor de output limite a considerar para uma *workstation*, o output das várias máquinas, a diferença de output e, por fim, as incompatibilidades. Nas Tabelas 45 e 46 é apresentada a solução obtida.

| Máquinas   | Máquinas a contemplar<br>(Codificação) | Máquinas   | Máquinas a contemplar<br>(Codificação) |
|------------|--|------------|--|
| <b>M12</b> | 1                                      | <b>M3</b>  | 12                                     |
| <b>M6</b>  | 2                                      | <b>M8</b>  | -                                      |
| <b>M5</b>  | 3                                      | <b>M17</b> | -                                      |
| <b>M10</b> | 4                                      | <b>M15</b> | 13                                     |
| <b>M9</b>  | 5                                      | <b>M26</b> | 14                                     |
| <b>M13</b> | -                                      | <b>M16</b> | 15                                     |
| <b>M14</b> | -                                      | <b>M21</b> | 16                                     |
| <b>M11</b> | 6                                      | <b>M23</b> | 17                                     |
| <b>M19</b> | 7                                      | <b>M7</b>  | 18                                     |
| <b>M29</b> | 8                                      | <b>M4</b>  | 19                                     |
| <b>M20</b> | 9                                      | <b>M1</b>  | 20                                     |
| <b>M22</b> | 10                                     |            |  |
| <b>M24</b> | 11                                     |            |  |

Tabela 44: Dados para o problema de afetação (codificação das máquinas).

#### Solução do Modelo:

A solução do modelo é apresentada na Tabela 45 e 46.

|              | <b>FO</b> | <b>Gap<br/>(%)</b> | <b>Tempo computacional<br/>(seg)</b> | <b>Nº de<br/>workstations</b> |
|--------------|-----------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Layout<br>V4 | 182       | 1,19               | 6,88                                 | 10                            |

Tabela 45: Solução do problema de afetação.

| <b>Máquinas</b> | <b>Workstation</b> | <b>Máquinas</b> | <b>Workstation</b> |
|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| <b>M12</b>      | W1                 | <b>M3</b>       | W7                 |
| <b>M6</b>       | W2                 | <b>M8</b>       | -                  |
| <b>M5</b>       | W2                 | <b>M17</b>      | -                  |
| <b>M10</b>      | W3                 | <b>M15</b>      | W8                 |
| <b>M9</b>       | W3                 | <b>M26</b>      | W8                 |
| <b>M13</b>      | -                  | <b>M16</b>      | W8                 |
| <b>M14</b>      | -                  | <b>M21</b>      | W9                 |
| <b>M11</b>      | W4                 | <b>M23</b>      | W9                 |
| <b>M19</b>      | W4                 | <b>M7</b>       | W9                 |
| <b>M29</b>      | W5                 | <b>M4</b>       | W10                |
| <b>M20</b>      | W5                 | <b>M1</b>       | W10                |
| <b>M22</b>      | W6                 |                 |                    |
| <b>M24</b>      | W6                 |                 |                    |

Tabela 46: Solução do problema de afetação.

Considerando a solução retornada pelo modelo, é possível concluir que serão necessárias alocar 10 *workstations* às máquinas de montagem cujo output é inferior a 40 caixas. De relembrar que, para além destas 10, existirão mais 5 que dizem respeito às embolsadeiras e às quatro máquinas de montagem que possuem um output muito elevado e que, portanto, se definiu inicialmente que teriam uma *workstation* exclusiva. Na Figura 79 é apresentada a alocação das *workstations* às máquinas e equipamentos. Estando esta atribuição concluída, é então possível concluir a construção do layout V4, que é apresentado na Figura 80.

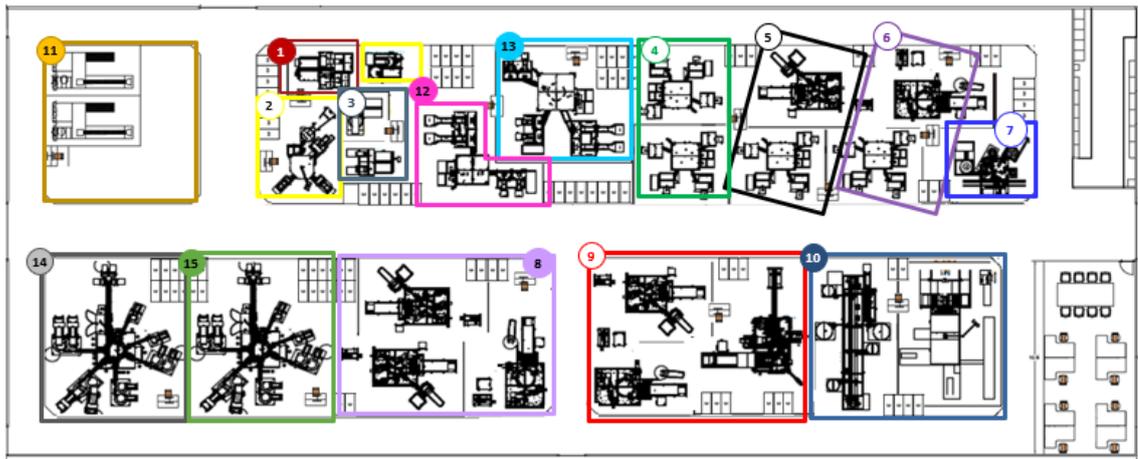


Figura 79: Distribuição das racks de abastecimento no layout V4.

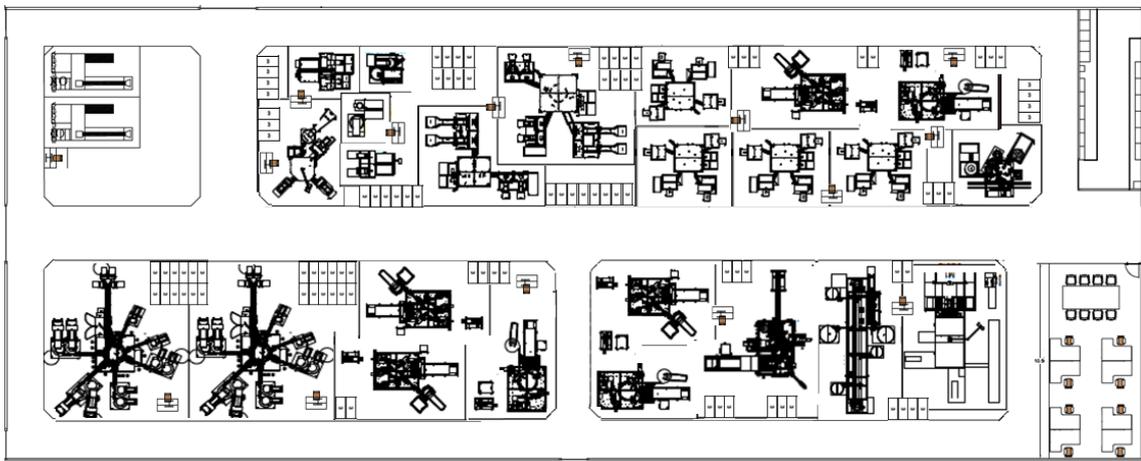


Figura 80: Layout V4.



# Capítulo 5

## 5.1. Análise de Resultados e Escolha do Layout Final

Após a obtenção dos quatro layouts (Layout V1, Layout V2, Layout V3 e Layout V4), é necessário decidir qual será a melhor alternativa para implementação real na empresa. De lembrar que o Layout V1 é visto como um ponto de partida, sendo, portanto, excluído no processo de decisão por não se tratar de uma opção viável a implementar. Para concretização da decisão é necessária a definição de KPI's (*Key Performance Indicators*).

### 5.1.1. Definição e Aplicação de KPI's

Um aspeto importante a considerar, numa fase inicial, é (1) o **número de máquinas contempladas no layout**. Uma vez que, por limitações de espaço, não foi possível integrar todas as máquinas, as atuais e as novas, é importante valorizar um layout que tenha o número máximo de máquinas. Um segundo aspeto que deve ser considerado é (2) a **área ocupada**. Pretende-se maximizar a área ocupada por máquinas uma vez que um valor máximo de área ocupada diz respeito a uma melhor otimização de ocupação de espaço e conseqüente redução de espaço não aproveitado. Seguidamente, é necessário avaliar os layouts relativamente à (3) **necessidade de operadores**. Uma vez que as duas alternativas de layout não possuem o mesmo número de máquinas nem a mesma disposição, será de esperar que um maior número de máquinas dê origem a um maior número de operadores. Assim, o fator taxa de operadores/máquina será comparado recorrendo a uma proporção que permita efetuar a comparação de forma viável. Um quarto aspeto a considerar na decisão é (4) a **carga de trabalho por operador**. Em conjunto com a responsável da área, foi feita uma possível distribuição e alocação de operadores às máquinas nas duas alternativas de layout. Tendo esta distribuição como base, a taxa de ocupação por operador foi calculada em todos os cenários. Pretende-se que a carga de trabalho entre os operadores seja uniforme, não havendo discrepâncias entre as mesmas. O quinto aspeto a considerar é (5) a **proximidade entre máquinas do mesmo projeto**. Em ambas as alternativas de layout, tentou-se que máquinas relativas aos mesmos projetos estivessem na mesma secção e fossem adjacentes. No entanto, existe a possibilidade de uma alternativa de layout beneficiar neste aspeto relativamente à outra. Assim, é necessário comparar ambas as alternativas tendo em conta este aspeto. Um sexto aspeto diz respeito à (6) **distância percorrida pelo operador**. Após a simulação da distribuição de operadores por máquinas nos três cenários, é possível realizar um estudo que estima a distância percorrida pelos vários operadores ao desempenharem as suas tarefas. Assim, pretende-se que a distância percorrida seja a menor possível. Por fim, outro aspeto a considerar é (7) a **otimização da distribuição das workstations**. Tal como foi anteriormente apresentado, pretende-se que máquinas que partilhem a mesma workstation, tenham cadências de trabalho consideravelmente distintas. Assim, um layout cuja diferença de outputs entre máquinas partilhadas pela mesma *workstation* é maior, diz respeito a um layout com melhor otimização desta distribuição.

Seguidamente, serão avaliados estes nove KPI's individualmente.

#### (1) Número de máquinas contempladas no layout:

O número de máquinas contempladas nas três alternativas de layout é diferente uma vez que a aplicação do problema da mochila permitiu obter uma distribuição de máquinas distinta, maximizando a área ocupada. Isto é, através de uma alocação diferente das várias máquinas às diferentes secções, foi possível a incorporação de um maior número de máquinas que resulta num desperdício de espaço inferior. Sendo assim, os valores relativos ao número de máquinas contempladas são apresentados na Tabela 47.

| Alternativa de Layout | Número de Máquinas |
|-----------------------|--------------------|
| Layout V2             | 23                 |
| Layout V3             | 25                 |
| Layout V4             | 24                 |

Tabela 47: Número de máquinas contempladas nas alternativas de layout.

Através da análise destes valores, é possível identificar uma diferença considerável relativamente ao número de máquinas contempladas. O layout V3 integra mais duas máquinas do que o layout V2 e mais uma máquina do que o layout V4, deixando de fora apenas duas máquinas de montagem. Assim, é clara a vantagem da alternativa Layout V3 quando o aspeto considerado diz respeito ao número de máquinas contempladas.

De notar que a validade do layout, isto é, em que momento é que o layout deverá ser novamente reestruturado, está diretamente relacionado com o número de máquinas contempladas. Este ponto é pertinente uma vez que, em ambas as alternativas, foi necessária a exclusão de máquinas de montagem. Assim, é de esperar que, a certo momento, o layout deixe de ser válido. Esse momento diz respeito à data de chegada das máquinas excluídas. No entanto, uma vez que nos três cenários, as máquinas excluídas possuem data de chegada em 2025, todos possuem a mesma validade (2025), não sendo pertinente compará-los neste aspeto. Tendo isto em conta, nos três cenários, será necessária uma reestruturação de layout nesta altura ou a expansão do espaço de montagem.

## (2) Área ocupada:

A área diz respeito ao espaço fabril ocupado por máquinas. Para o cálculo deste valor, será considerada a área da totalidade das máquinas alocadas a determinada secção que será comparada com o valor total da secção. Uma vez que a maximização da área ocupada corresponde a uma otimização da ocupação do espaço, pretende-se escolher um layout que possua um valor de área ocupada superior. Os valores de área das *racks* e das *workstations* não serão aqui considerados pois estes são integrados na área “teórica” determinada para cada uma das máquinas de montagem, uma vez que estes valores de área possuem espaços vazios.

Na Tabela 48 são apresentados os valores relativos a estes parâmetros.

| Alternativa de Layout | Secção | Área Secção | Área Máquinas | Área não Ocupada | Taxa Ocupação Secção (%) | Taxa Ocupação Total (%) |
|-----------------------|--------|-------------|---------------|------------------|--------------------------|-------------------------|
| Layout V2             | A      | 363,30      | 294,40        | 68,90            | 81%                      | <b>84%</b>              |
|                       | B      | 237,01      | 198,00        | 39,01            | 84%                      |                         |
|                       | C      | 194,63      | 173,30        | 21,33            | 89%                      |                         |
| Layout V3             | A      | 363,30      | 344,40        | 18,90            | 95%                      | <b><u>90%</u></b>       |
|                       | B      | 237,01      | 207,00        | 30,01            | 87%                      |                         |
|                       | C      | 194,63      | 166,30        | 28,33            | 85%                      |                         |
| Layout V4             | A      | 363,30      | 338,10        | 25,20            | 93%                      | <b>86%</b>              |
|                       | B      | 237,01      | 190,00        | 47,01            | 80%                      |                         |
|                       | C      | 194,63      | 163,60        | 31,03            | 84%                      |                         |

Tabela 48: Taxa de ocupação nas alternativas de layout.

Analisando os valores apresentados na Tabela 48, é possível verificar que o layout V3 possui uma taxa de ocupação superior às restantes alternativas, minimizando desta forma o desperdício de espaço fabril. Desta forma, quando se considera o fator relativo à área ocupada, o layout V3 revela-se ser uma melhor opção.

### (3) Necessidade de operadores e operadores disponíveis:

Devido à diferente distribuição das máquinas de montagem na nova área e à diferença do número de máquinas contempladas nos layouts, seria de esperar que existisse uma necessidade diferente de operadores em ambos os layouts. Uma vez que um maior número de operadores se reflete num maior custo de mão-de-obra, pretende-se minimizar a necessidade de operadores. Para além disso, após reuniões com a gestão de topo, foi decidido que, na nova área de montagem, não serão disponibilizados mais do que doze operadores por turno, sendo este o limite máximo. Assim, conjuntamente com a responsável da área, foram apresentadas as três possibilidades de layout para que a colaboradora realizasse a distribuição de operadores pelas várias máquinas, tendo por base o seu conhecimento profundo e detalhado dos processos. Os inputs que foram considerados foram:

- Colocar o mesmo operador em máquinas com fluxo de materiais semelhante;
- Colocar o mesmo operador em máquinas que se encontrem próximas entre si;
- Colocar o mesmo operador em máquinas com funcionamento semelhante;
- Evitar entropia entre funcionários (evitar cruzamentos no chão de fábrica);
- Um operador não ficar com mais do que duas máquinas. Nos casos em que tal acontece é porque a cadência das máquinas é baixa ou porque se trata de máquinas com pouca produção.

Tendo por base estes inputs, o resultado retribuído pela responsável da área para ambos os cenários, está apresentado nas Figuras seguintes (Figuras 81, 82 e 83).

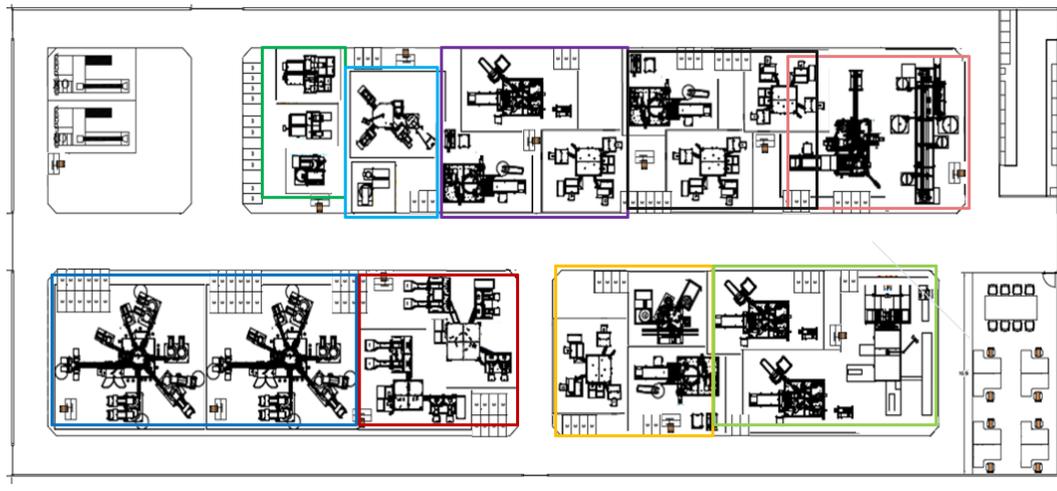


Figura 81: Distribuição de operadores por máquinas no Layout V2.

| Cor          | Operador   | Máquinas      |
|--------------|------------|---------------|
| Azul escuro  | Operador 1 | M8, M17       |
| Vermelho     | Operador 2 | M13, M14      |
| Amarelo      | Operador 3 | M3, M11, M16  |
| Verde claro  | Operador 4 | M1, M15, M21  |
| Verde escuro | Operador 5 | M9, M10, M12  |
| Ciano        | Operador 6 | M5, M6        |
| Púrpura      | Operador 7 | M22, M24, M25 |
| Preto        | Operador 8 | M19, M20, M23 |
| Rosa         | Operador 9 | M4, M7        |

Tabela 49: Distribuição de operadores por máquinas no layout V2.

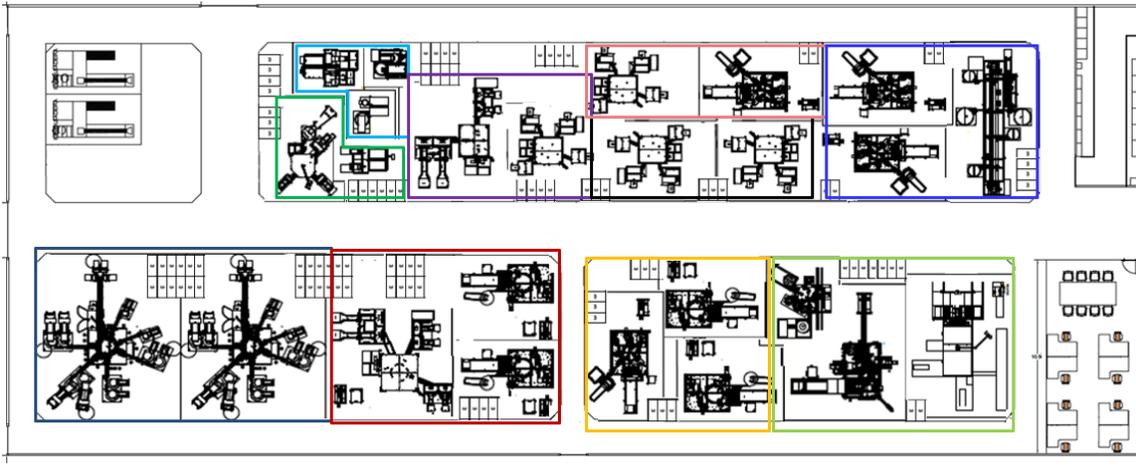


Figura 82: Distribuição de operadores por máquinas no layout V3.

| Cor         | Operador    | Máquinas      |
|-------------|-------------|---------------|
| Dark Blue   | Operador 1  | M8, M17       |
| Red         | Operador 2  | M14, M16, M27 |
| Yellow      | Operador 3  | M21, M23, M24 |
| Light Green | Operador 4  | M1, M3, M7    |
| Green       | Operador 5  | M6, M9        |
| Cyan        | Operador 6  | M5, M10, M12  |
| Purple      | Operador 7  | M13, M11      |
| Black       | Operador 8  | M20, M22      |
| Pink        | Operador 9  | M19, M15      |
| Light Blue  | Operador 10 | M4, M26, M29  |

Tabela 50: Distribuição de operadores por máquinas no layout V3.

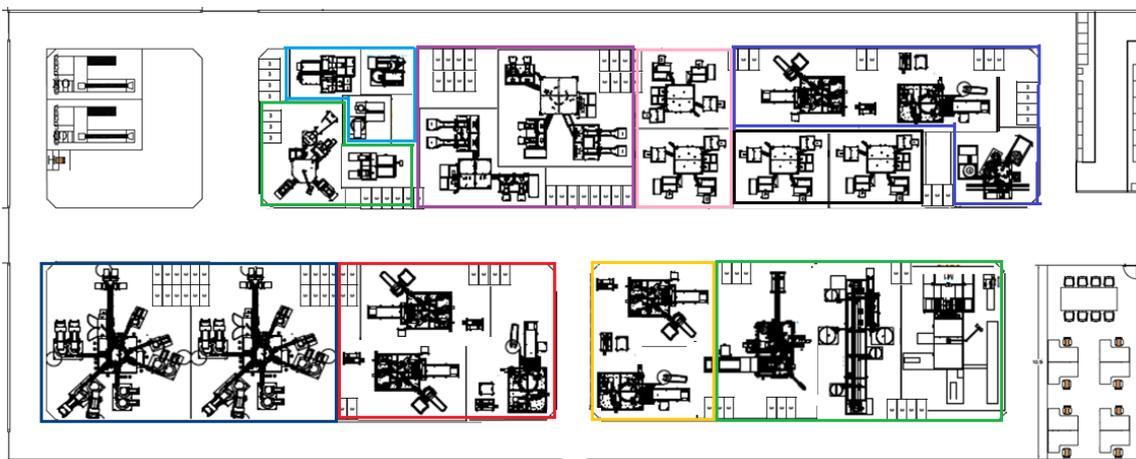


Figura 83: Distribuição de operadores por máquinas no layout V4.

| Cor         | Operador   | Máquinas      |
|-------------|------------|---------------|
| Dark Blue   | Operador 1 | M8, M17       |
| Red         | Operador 2 | M15, M16, M26 |
| Yellow      | Operador 3 | M21, M23      |
| Light Green | Operador 4 | M1, M4, M7    |
| Green       | Operador 5 | M6, M9        |
| Cyan        | Operador 6 | M5, M10, M12  |
| Purple      | Operador 7 | M13, M14      |
| Black       | Operador 8 | M20, M22      |

|  |             |              |
|--|-------------|--------------|
|  | Operador 9  | M11, M19     |
|  | Operador 10 | M3, M24, M29 |

Tabela 51: Distribuição de operadores por máquinas no layout V4.

Analisando os dados anteriormente apresentados, é possível chegar às conclusões expostas na Tabela 52. Como é possível verificar, o layout V2 terá uma necessidade inferior de operadores (menos um operador do que as alternativas concorrentes). Tal seria de esperar, uma vez que esta solução possui um menor número de máquinas do que as soluções alternativas. Adicionalmente, todas as possibilidades de layout respeitam o limite máximo de operadores- 12.

Para realizar uma comparação válida no que toca à necessidade de operadores, é necessário realizar uma proporção que tem em conta a diferença do número de máquinas contempladas.

| Alternativa de Layout | Necessidade de Operadores | Necessidade de Operadores<br>Número de Máquinas |
|-----------------------|---------------------------|---|
| Layout V2             | <u>9</u>                  | <u>0,39</u>                                     |
| Layout V3             | 10                        | 0,40  |
| Layout V4             | 10                        | 0,43  |

Tabela 52: Necessidade de operadores nas alternativas de layout.

Na segunda coluna é apresentada a proporção de taxa de operadores/máquina es necessários para determinado número de máquinas. O valor 0,39, por exemplo, significa que, no layout V2, são precisos 0,39 trabalhadores por cada máquina de montagem. Da mesma forma, no layout V3 são necessários 0,4 trabalhadores por cada máquina, enquanto no layout V4 são necessários 0,43 trabalhadores por cada máquina. Assim, e como se pretende minimizar custos associados à mão-de-obra, a alternativa de layout V2 revela-se ser mais vantajosa quando se considera o fator “necessidade de operadores”.

#### (4) Carga de trabalho por operador:

Após a distribuição de operadores por máquinas, é importante conhecer quais as cargas de trabalho que lhes estão associadas, isto é, quantas máquinas têm ao seu dispor e a quantidade de interações que vão fazer por turno. Procura-se selecionar a solução que aproxime o máximo possível a carga de trabalhos entre operadores para que não exista grandes discrepâncias entre os mesmos. Quer isto dizer que a melhor solução diz respeito àquela cuja amplitude de carga de trabalho é a menor.

Para ser possível avaliar os layouts relativamente à carga de trabalho dos operadores, é importante recolher informação do número de interações que uma máquina necessita ao longo de um turno. Para agrupar estas informações, utilizou-se como base os dados apresentados na Tabela 17. Entende-se como “interação” toda a vez que o operador necessita de intervir na máquina, seja para a abastecer ou para recolher produto acabado da mesma. Os resultados do estudo estão apresentados na Tabela 53. Com esses dados, foi possível calcular a taxa de ocupação dos vários operadores nas duas alternativas de layout (Tabela 54). Considerou-se que cada interação operador-máquina despendia de 1,20 minutos (valor determinado através da observação no terreno), uma vez que todas as interações em todas as máquinas consistem no mesmo tipo de atividade- alimentação da máquina e recolha de produto acabado- e implicam percorrer aproximadamente as mesmas distâncias. Para cálculo da taxa de ocupação, considerou-se um turno de 8 horas.

| Máquina | Número Interações (Turno) | Máquina | Número Interações (Turno) |
|---------|---------------------------|---------|---------------------------|
| M1      | 20                        | M16     | 28                        |
| M3      | 33                        | M17     | 173                       |
| M4      | 55                        | M19     | 67                        |
| M5      | 21                        | M20     | 55                        |
| M6      | 42                        | M21     | 27                        |
| M7      | 13                        | M22     | 72                        |
| M8      | 173                       | M23     | 28                        |
| M9      | 18                        | M24     | 28                        |
| M10     | 32                        | M25     | 27                        |
| M11     | 67                        | M26     | 28                        |
| M12     | 72                        | M27     | 28                        |
| M13     | 150                       | M28     | 28                        |
| M14     | 138                       | M29     | 28                        |
| M15     | 27                        |         |                           |

Tabela 53: Número de interações homem-máquina por turno.

| Alternativa de Layout | Operadores  | Número de Interações por Turno | Tempo despendido em Interação (min) | Taxa ocupação (%) | Taxa de ocupação média (%) | Amplitude Taxa de Ocupação |
|-----------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| Layout V2             | Operador 1  | 346                            | 415                                 | 86%               | 38%                        | <b>70%</b>                 |
|                       | Operador 2  | 288                            | 346                                 | 72%               |                            |                            |
|                       | Operador 3  | 128                            | 154                                 | 32%               |                            |                            |
|                       | Operador 4  | 74                             | 89                                  | 19%               |                            |                            |
|                       | Operador 5  | 122                            | 146                                 | 30%               |                            |                            |
|                       | Operador 6  | 63                             | 76                                  | 16%               |                            |                            |
|                       | Operador 7  | 127                            | 152                                 | 32%               |                            |                            |
|                       | Operador 8  | 150                            | 180                                 | 38%               |                            |                            |
|                       | Operador 9  | 68                             | 82                                  | 17%               |                            |                            |
| Layout V3             | Operador 1  | 346                            | 415                                 | 86%               | 35%                        | <b>71%</b>                 |
|                       | Operador 2  | 194                            | 233                                 | 49%               |                            |                            |
|                       | Operador 3  | 83                             | 100                                 | 21%               |                            |                            |
|                       | Operador 4  | 66                             | 79                                  | 16%               |                            |                            |
|                       | Operador 5  | 60                             | 72                                  | 15%               |                            |                            |
|                       | Operador 6  | 125                            | 150                                 | 31%               |                            |                            |
|                       | Operador 7  | 217                            | 260                                 | 54%               |                            |                            |
|                       | Operador 8  | 127                            | 152                                 | 32%               |                            |                            |
|                       | Operador 9  | 94                             | 113                                 | 24%               |                            |                            |
|                       | Operador 10 | 111                            | 133                                 | 28%               |                            |                            |
| Layout V4             | Operador 1  | 346                            | 415                                 | 86%               | 35%                        | <b>72%</b>                 |
|                       | Operador 2  | 83                             | 100                                 | 21%               |                            |                            |
|                       | Operador 3  | 55                             | 66                                  | 14%               |                            |                            |
|                       | Operador 4  | 88                             | 106                                 | 22%               |                            |                            |
|                       | Operador 5  | 60                             | 72                                  | 15%               |                            |                            |
|                       | Operador 6  | 125                            | 150                                 | 31%               |                            |                            |
|                       | Operador 7  | 288                            | 346                                 | 72%               |                            |                            |
|                       | Operador 8  | 127                            | 152                                 | 32%               |                            |                            |
|                       | Operador 9  | 134                            | 161                                 | 34%               |                            |                            |
|                       | Operador 10 | 89                             | 107                                 | 22%               |                            |                            |

Tabela 54: Taxa de ocupação dos operadores nas alternativas de layout.

Analisando os dados apresentados na Tabela 54, é possível verificar que existe uma grande amplitude de cargas de trabalho entre operadores: 70% no layout V2, 71% no layout V3 e 72% no layout V4. Como foi anteriormente mencionado, um maior valor de amplitude diz respeito a um layout com má distribuição da carga de trabalho. Ou seja, nas três possibilidades de layout irão existir operadores com uma elevada carga de trabalho (por exemplo, operador 1 em todos os cenários), e outros com uma taxa de trabalho relativamente inferior. Esta situação não corresponde à desejável, no entanto, para a contornar, isto é, para equilibrar a carga de trabalhos, seria necessário alocar o mesmo trabalhador a máquinas muito distantes umas das outras, o que iria aumentar o tempo de deslocação dos mesmos, baixando a eficiência do trabalho.

Considerando os valores de amplitude de carga de trabalho apresentados na Tabela, é possível afirmar que, no que toca à carga de trabalho por operador, o Layout V2 revela-se ser mais vantajoso. No entanto, a diferença relativamente aos restantes não é considerável (1% e 2%). Conclusões também podem ser retiradas no que toca à carga de trabalho média. É possível verificar que, na primeira alternativa de layout, os operadores estarão, em média, mais ocupados nas suas tarefas do que nas restantes. Esta situação corresponde à desejável uma vez que se pretendem minimizar tempos mortos. Assim, um maior valor de taxa de trabalho média, corresponde à situação em que os operadores, em média, possuem uma maior percentagem do seu tempo a realizar tarefas.

#### (5) Proximidade entre máquinas do mesmo projeto:

Como foi anteriormente mencionado, um dos fatores a considerar na construção das alternativas de layout, é a proximidade entre máquinas do mesmo projeto. No entanto, e devido a outras restrições, não foi possível garantir que tal ocorresse em todas as máquinas. Na Tabela 55 é possível verificar, nas três alternativas de layout, quais os projetos que respeitaram o critério de proximidade entre máquinas (foram apenas considerados os projetos onde existe mais do que uma máquina). A codificação utilizada foi binária, onde o 1 indica que as várias máquinas do mesmo projeto ficaram próximas entre si e 0 indica que nem todas ficaram próximas (Tabela 56). Relativamente à definição de proximidade, ou seja, para ser possível assumir a proximidade entre as máquinas do mesmo projeto, estas devem pertencer à mesma secção e deve existir adjacência entre si.

Analisando a Tabela 55, é possível verificar que o projeto 14-013, Kaizen e 18-090, nas três alternativas de layout, possuem todas as máquinas próximas entre si. Relativamente ao projeto 15-049, a proximidade é apenas respeitada no layout V2 e V4. Quanto ao projeto 19-111, apenas o layout V3 respeita a proximidade entre máquinas e, por fim, a proximidade de máquinas do projeto 17-112 é respeitada nas alternativas V2 e V3.

| Alternativa de Layout | Projeto | Proximidade | Total |
|-----------------------|---------|-------------|-------|
| Layout V2             | 14-013  | 1           | 5     |
|                       | Kaizen  | 1           |       |
|                       | 15-049  | 1           |       |
|                       | 18-090  | 1           |       |
|                       | 19-111  | 0           |       |
|                       | 17-112  | 1           |       |
| Layout V3             | 14-013  | 1           | 4     |
|                       | Kaizen  | 1           |       |
|                       | 15-049  | 0           |       |
|                       | 18-090  | 1           |       |
|                       | 19-111  | 1           |       |

|                  |        |   |          |
|------------------|--------|---|----------|
| <b>Layout V4</b> | 17-112 | 0 | <b>5</b> |
|                  | 14-013 | 1 |          |
|                  | Kaizen | 1 |          |
|                  | 15-049 | 1 |          |
|                  | 18-090 | 1 |          |
|                  | 19-111 | 0 |          |
|                  | 17-112 | 1 |          |

Tabela 55: Proximidade entre máquinas do mesmo projeto.

| <b>Codificação</b> | <b>Significado</b>  |
|--------------------|---|
| <b>0</b>           | Pelo menos uma das máquinas do projeto não ficou próxima das restantes. |
| <b>1</b>           | Todas as máquinas do projeto ficaram próximas entre si.                 |

Tabela 56: Codificação da Tabela 48.

De notar que as máquinas que foram excluídas dos layouts não foram tidas em conta nesta avaliação. Ou seja, relativamente ao projeto 17-112, por exemplo, o layout V2 excluiu quatro máquinas, ficando apenas com duas. Como estas duas máquinas se encontram próximas, o valor 1 foi atribuído. Um segundo exemplo, relativo ao layout V3, apenas uma máquina deste projeto foi excluída. No entanto, as restantes cinco não se encontram todas próximas umas das outras. Tendo isto em conta, o valor 0 foi atribuído.

Para ser possível a decisão entre os dois layouts tendo em conta o critério de proximidade entre máquinas do mesmo projeto, foi criada a última coluna da Tabela 55 onde se apresenta a soma de todos os valores da classificação. Tendo isto em conta, é possível concluir que, neste critério, os layouts V2 e V4 revelam-se ser mais vantajosos perante a alternativa V3.

#### **(6) Distância percorrida pelo operador:**

Para efetuar o estudo relativamente à distância percorrida pelos vários operadores, e por se estar perante uma realidade em que a geometria das máquinas de montagem implica várias deslocações que não representam trajetos retos, torna-se difícil dimensionar quantitativamente a distância percorrida pelos operadores. Assim, foram construídos diagramas de esparguete que simulam as movimentações dos operadores ao longo de um período de tempo de duas horas, tendo em conta o conhecimento existente relativamente ao fluxo de trabalho, funcionamento das máquinas e periodicidade da necessidade de abastecimento das mesmas. Foi construído um diagrama de esparguete para cada um dos layouts. Desta forma, através da densidade das linhas e da área em que se expandem, pode ser comparado o percurso efetuado por cada trabalhador. Com esse output, será possível quantificar numericamente a distância percorrida através de uma codificação onde áreas mais densas de linhas correspondem a uma distância percorrida com nível 3, da mesma forma que uma grande área ocupada pelas linhas corresponde ao nível 3. De forma oposta, áreas menos densas de linhas que significam poucas viagens efetuadas pelo operador, representam o nível 1, da mesma forma que uma pequena área abrangida pelas linhas corresponde também ao nível 1. No intermédio existe ainda o nível 2 (Tabela 57). Após obtenção dos resultados do estudo, será de esperar que a melhor alternativa de layout relativamente à distância percorrida seja aquela cujo valor médio dos somatórios dos níveis relativos à densidade e à área sejam os mais baixos. Assim, será calculada a média dos níveis e o layout cujo valor médio seja inferior, será selecionado.

| <b>Codificação</b> | <b>Conversão</b>                                    | <b>Significado</b>              |
|--------------------|---|---------------------------------|
| <b>1</b>           | Baixa densidade de linhas e pequena área abrangida. | Pequenas distâncias percorridas |

|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
| 2 | Média densidade de linhas e média área abrangida. | Distância percorrida intermédia |
| 3 | Alta densidade de linhas e grande área abrangida. | Grandes distâncias percorridas  |

Tabela 57: Código para conversão de linhas para valores.

Serão agora apresentados os três diagramas de esparguete (Figuras 84, 85 e 86), onde cada cor representa os trajetos a percorrer por cada operador. Após avaliação do resultado, as Tabelas 58, 59 e 60 apresentam a codificação por cada um dos operadores. Finalmente, a média dos valores é calculada, apresentando o resultado final.

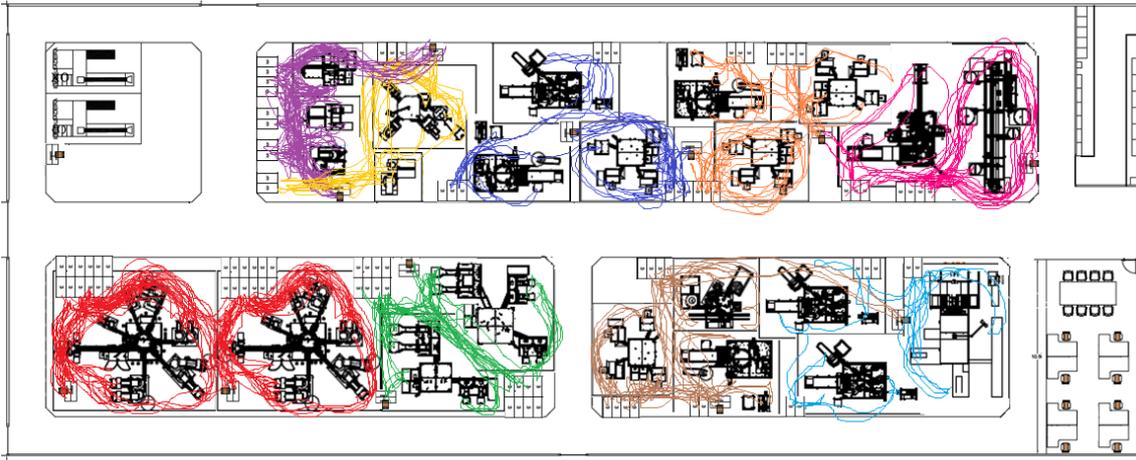


Figura 84: Diagrama de esparguete relativo à simulação das movimentações dos operadores no layout V2.

| Layout V2 |            |           |      |       |             |
|-----------|------------|-----------|------|-------|-------------|
| Cor       | Operador   | Densidade | Área | Total | Média       |
|           | Operador 1 | 3         | 3    | 6     | <b>4,33</b> |
|           | Operador 2 | 3         | 2    | 5     |             |
|           | Operador 3 | 2         | 3    | 5     |             |
|           | Operador 4 | 1         | 2    | 3     |             |
|           | Operador 5 | 3         | 2    | 5     |             |
|           | Operador 6 | 2         | 2    | 4     |             |
|           | Operador 7 | 1         | 3    | 4     |             |
|           | Operador 8 | 1         | 2    | 3     |             |
|           | Operador 9 | 2         | 2    | 4     |             |

Tabela 58: Densidade e área das movimentações dos operadores no layout V2.

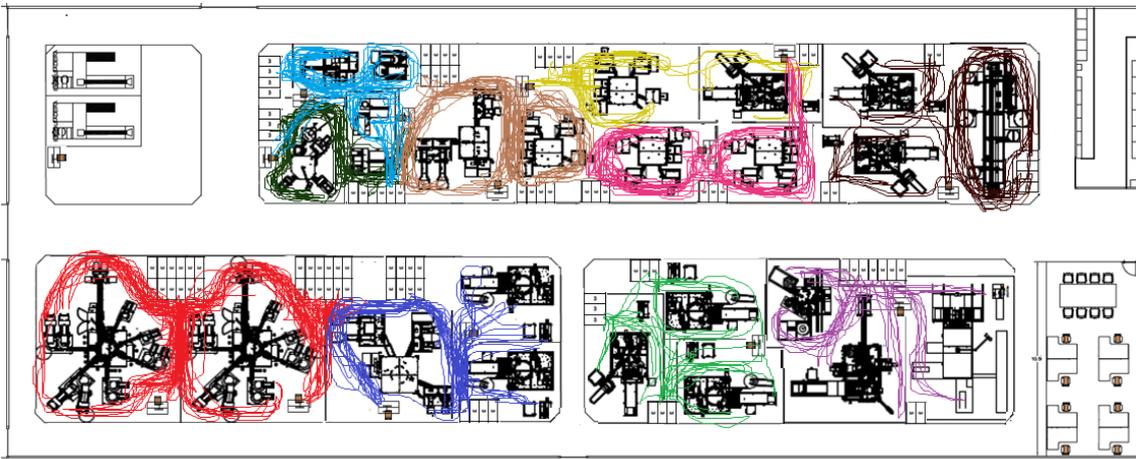


Figura 85: Diagrama de esparguete relativo à simulação das movimentações dos operadores no layout V3.

**Layout V3**

| Cor         | Operador    | Densidade | Área | Total | Média |
|-------------|-------------|-----------|------|-------|-------|
| Red         | Operador 1  | 3         | 3    | 6     | 4,50  |
| Dark Blue   | Operador 2  | 2         | 3    | 5     |       |
| Green       | Operador 3  | 1         | 2    | 3     |       |
| Purple      | Operador 4  | 2         | 3    | 5     |       |
| Cyan        | Operador 5  | 3         | 2    | 4     |       |
| Olive Green | Operador 6  | 2         | 1    | 3     |       |
| Brown       | Operador 7  | 3         | 2    | 5     |       |
| Yellow      | Operador 8  | 2         | 2    | 4     |       |
| Magenta     | Operador 9  | 3         | 2    | 5     |       |
| Brown       | Operador 10 | 2         | 3    | 5     |       |

Tabela 59: Densidade e área das movimentações dos operadores no layout V3.

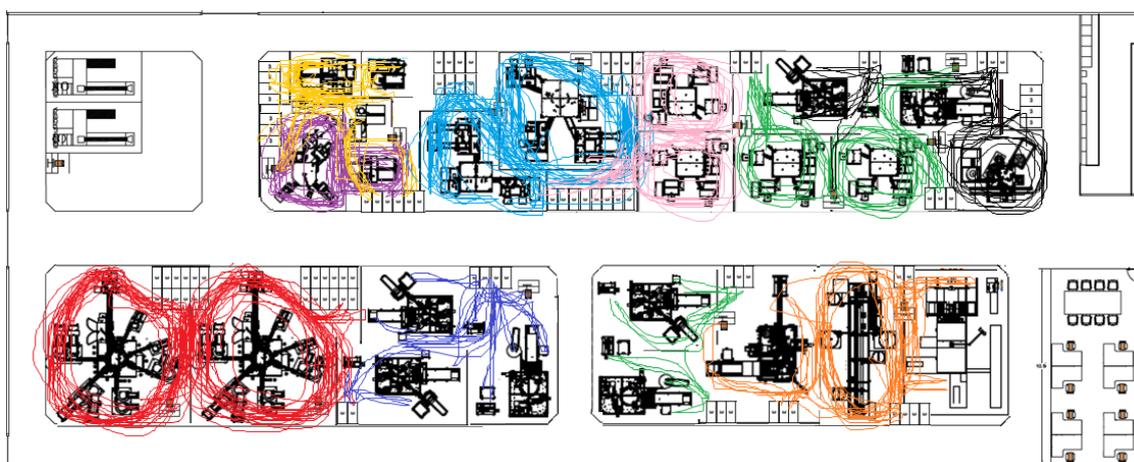


Figura 86: Diagrama de esparguete relativo à simulação das movimentações dos operadores no layout V4.

**Layout V4**

| Cor         | Operador    | Densidade | Área | Total | Média |
|-------------|-------------|-----------|------|-------|-------|
| Red         | Operador 1  | 3         | 3    | 6     | 4,50  |
| Dark Blue   | Operador 2  | 1         | 2    | 3     |       |
| Olive Green | Operador 3  | 1         | 1    | 2     |       |
| Brown       | Operador 4  | 2         | 3    | 5     |       |
| Purple      | Operador 5  | 3         | 2    | 5     |       |
| Yellow      | Operador 6  | 3         | 2    | 5     |       |
| Cyan        | Operador 7  | 3         | 3    | 6     |       |
| Pink        | Operador 8  | 2         | 2    | 4     |       |
| Green       | Operador 9  | 2         | 3    | 5     |       |
| Black       | Operador 10 | 2         | 2    | 4     |       |

Tabela 60: Densidade e área das movimentações dos operadores no layout V4.

Considerando os resultados anteriores, quando é considerada a distância percorrida pelo operador, o layout V2 revela-se ser mais vantajoso.

### (7) Otimização da distribuição de workstations

As *workstations* foram distribuídas nos dois layouts recorrendo a diferentes métodos. No layout V2, o número de *workstations* e a distribuição das mesmas foi decidido em conjunto com a responsável da área, tendo por base o seu conhecimento prático. Já nos layouts V3 e V4 recorreu-se a um modelo de afetação que pretendia maximizar a diferença de outputs de máquinas

que partilhassem a mesma *workstation*. Tal como foi anteriormente apresentado, pretendia-se que, caso existisse necessidade de duas máquinas, ou mais, partilharem a mesma *workstation*, seria desejável que a diferença dos seus outputs fosse máxima. Assim, o layout cujo somatório das diferenças de output for máximo, diz respeito ao melhor layout, sendo que representa aquele que irá, provavelmente, conduzir a menores erros de troca de etiquetas.

Uma vez que os valores desta diferença de outputs já foram calculados para os layouts V3 e V4 por se tratar da função objetivo utilizada na construção do modelo de afetação, resta apenas calcular o valor para o layout V2.

$$\text{DifOutputV2} = 19-3+10-3+3-3+14-3+14-4+4-3+13-10+12-10+13-12+12-30+3-3+36-26+19-3+3-3+19-3=120.$$

Tendo o valor DifOutput calculado para os três cenários, este pode ser comparado (Tabela 61).

| <b>Alternativa de Layout</b> | <b>Somatório da Diferença de Output entre Máquinas que partilham Workstation</b> |
|------------------------------|--|
| <b>Layout V2</b>             | 120  |
| <b>Layout V3</b>             | <u>214</u>   |
| <b>Layout V4</b>             | 182  |

Tabela 61: Valores relativos à otimização da distribuição das workstations.

Assim, o layout V3 é aquele cujas *workstations* se encontram mais bem distribuídas uma vez que são partilhadas por máquinas com cadências mais diferentes entre si, evitando a ocorrência de erros.

### 5.1.2. Decisão Final

Após o estudo individual dos KPI's, é importante efetuar uma comparação final que integra todos os fatores anteriormente mencionados. Os resultados da comparação apresentada na secção anterior do relatório- secção 5.1.1- são apresentados na Tabela 62. O sombreado representa a vantagem de um layout perante o outro e, em conclusão, é feita uma contagem. O layout cujo valor da contagem seja superior, é aquele que deve ser implementado na empresa pois é aquele que pontua melhor em mais KPI's.

| KPI   | Alternativas de Layout |           |           |
|---|------------------------|-----------|-----------|
|   | Layout V2              | Layout V3 | Layout V4 |
| Número de máquinas contempladas no layout   |                        |           |           |
| Área ocupada                                |                        |           |           |
| Necessidade de operadores                   |                        |           |           |
| Carga de trabalho por operador              |                        |           |           |
| Proximidade entre máquinas do mesmo projeto |                        |           |           |
| Distância percorrida por operador           |                        |           |           |
| Otimização da distribuição de workstations  |                        |           |           |
| <b>Total:</b>                               | <b>4</b>               | <b>3</b>  | <b>1</b>  |

Tabela 62: Comparação entre layouts.

Observando a Tabela 62 é possível concluir que o layout V2 tem uma maior vantagem perante as alternativas embora tenha desvantagem no que toca ao número de máquinas contempladas, área ocupada e otimização de distribuição de *workstations*. No entanto, em termos gerais, revela-se ser melhor quando são avaliados os KPI's apresentados. Assim sendo, o **layout V2 foi o escolhido para ser implementado na nova área de montagem da empresa.**

De notar que o Layout V2 foi construído de forma empírica, enquanto os restantes dois foram construídos com recurso a metodologias de otimização. Assim, seria de esperar que os Layouts com fundamento teórico e matemático, pudessem conduzir a uma melhor solução. No entanto, não foi o que ocorreu neste caso. Isto pode ser explicado da seguinte forma: nem sempre os métodos teóricos produzem resultados para problemas práticos que sejam os mais eficientes. Como são abordagens teóricas, e como o problema é muito complexo, com muitas variáveis e restrições, um modelo empírico pode chegar a uma melhor solução. Dentro do estudo teórico foi necessário realizar algumas aproximações, pois não se conseguia caracterizar o problema de forma efetiva. Abordagens teóricas acabam por ser redutoras pois o problema real tem de ser simplificado. Um exemplo de simplificações que foram necessárias realizar, diz respeito às áreas das máquinas de montagem consideradas. No problema teórico, considera-se a máquina como um todo, mas as máquinas são irregulares. Assim, quando se determina uma área para uma máquina, esta nunca será a área real, pois existirão sempre espaços não ocupados pela mesma. Assim, é de realçar a dificuldade em caracterizar o problema real e definir inputs. Por fim, é possível concluir que os modelos teóricos ajudam a validar algumas soluções e, principalmente, ajudam a tomar decisões.

Finalmente, é possível concluir que a construção de alternativas se revelou uma mais-valia pois permite aumentar o campo de decisão e permitiu chegar a soluções que se revelam vantajosas no que toca a certos KPI's. No entanto, no global, o modelo V2, construído com base apenas em inputs reais da empresa e definido de forma “empírica” apresentou ser, para este caso prático específico, uma melhor solução.



# Capítulo 6

## 6.1. Proposta de Trabalhos Futuros

Esta secção é dedicada à apresentação de trabalhos futuros e estudos que foram conduzidos em simultâneo com o estudo de definição de layout, relacionados com o tema do projeto. Alguns pontos de melhoria serão apresentados, visto que após toda a investigação, foi possível identificar certas oportunidades que poderão maximizar a produtividade e eficiência do layout construído e implementado. O estudo diz respeito à alteração do fluxo de abastecimento da nova área de montagem e encontra-se no anexo A.

## 6.2. Conclusões

Devido ao aumento da exigência do cliente e à evolução tecnológica, as organizações encontram-se numa situação em que a inovação é imprescindível. A Yazaki Saltano de Ovar, por esse motivo, tem vindo a desenvolver inúmeros projetos de expansão de negócio de forma a ajustar-se a esta nova realidade.

A eficiência dos processos é influenciada por uma elevada variedade de parâmetros, sendo o layout fabril um dos mais importantes, devido ao enorme impacto que este tem nas tarefas fabris. Para além da eficiência, a expansão do negócio foi também uma forte motivação para a definição de um novo layout para processos de montagem. Assim, o estudo descrito nesta dissertação veio responder a várias das necessidades da empresa. Devido à natureza dos processos produtivos existentes na área de montagem, o estudo de layout revelou-se um desafio, devido à enorme quantidade de fatores a considerar. Visto ser uma área de processos de “ponto único”, foram utilizados problemas de otimização existentes que, normalmente, não são aplicados no estudo de layouts. Tendo isto em conta, todo o estudo conduzido pode ser considerado inovador.

Com o objetivo de obter uma boa solução, diferentes layouts foram construídos. Um primeiro layout, recorrendo a um método empírico, foi elaborado considerando variados inputs técnicos. Para tal, uma longa fase de investigação foi conduzida. A grande vantagem deste layout é que, uma vez que não foi modelado matematicamente, permitiu incorporar todos os fatores importantes. A solução foi desenhada considerando o problema real fabril. Já as duas alternativas a esta primeira versão, foram elaboradas através de métodos técnicos. Aqui, uma vez que é necessário modelar o problema, este consistiu numa aproximação da realidade, onde diversos fatores não foram considerados, uma vez que não foi possível modelar totalmente o problema real devido à enorme quantidade de fatores. No entanto, ambas as soluções se revelaram boas e, nos aspetos modelados, até mostraram vantagem perante o primeiro layout. As três possibilidades solucionam os problemas existentes no layout inicial da empresa, sendo os principais problemas a desorganização do espaço e a falta de área para novos equipamentos.

Uma vez que três possibilidades de layout foram construídas, seria necessária uma escolha sobre o layout a implementar. Para esta ser possível, foram definidos KPI's que fizessem sentido para a empresa e, em especial, para a área produtiva em específico. Após a definição e a quantificação dos mesmos, foi escolhida a solução final do layout: o método empírico revelou ser uma melhor solução, embora todas fossem boas possibilidades de implementação.

De salientar que, futuramente, será necessária uma reestruturação do layout ou uma expansão da área de montagem atual. Isto porque, devido a limitações de espaço, não foram consideradas todas as máquinas de montagem. Assim, no momento de chegada das máquinas não contempladas, será necessário um novo estudo de layout. No entanto, tal aspeto não é considerado crítico devido às mudanças rápidas e constantes que surgem no contexto em que se vive

atualmente. Certos produtos podem a vir ser descontinuados, equipamentos podem ser transferidos para outras empresas da organização e certos processos podem vir a ser subcontratados, o que se reflete no fim de vida de alguns equipamentos, libertando espaço para as novas máquinas de montagem. Para além disso, o estudo de layouts deve ser constantemente revisto e adaptado às alterações organizacionais. Desta forma, o facto de o layout selecionado e implementado ter necessidade de ser revisto no ano de 2025 não é visto como um problema, pois a necessidade de revisão seria obrigatória por forma a garantir que a empresa se mantém adaptada à realidade que se viverá nesse momento.



## Bibliografia

- Abdullah, F. (1996). *Lean Manufacturing Tools and Techniques in the Process Industry with a Focus on Steel*. Dissertação de Doutorado, Universidade de Pittsburgh.
- Alexandra, M., & Rodrigues, O. (2016). *Informatização de Esquemas de Submontagem na Área de Montagem*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- 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.
- Andersen, E. D., & Andersen, K. D. (1995). Presolving in linear programming. *Mathematical Programming*, 71(2), 221-245.
- Barnwal, S., & Dharmadhikari, P. (2016). Optimization of plant layout using SLP method. *International Journal of Innovative Research in Science, engineering and technology*, 5(3).
- Brás, M. (2021). *Industrial Layouts Design for a SME in the Electronics Industry* Conceção de layouts industriais para uma PME na indústria eletrónica. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Bretthauer, K. M., & Shetty, B. (2002). The nonlinear knapsack problem—algorithms and applications. *European Journal of Operational Research*, 138(3), 459-472.
- Clemente, Q. K. (2010). *Resolução de Problemas da Mochila Multicritério através de técnicas Metaheurísticas Modelos, Implementações e Resultados*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- De Carlo, F., Arleo, M. A., Borgia, O., & Tucci, M. (2013). Layout design for a low capacity manufacturing line: a case study. *International Journal of Engineering Business Management*, 5(Godište 2013), 5-35.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2006). Facility layout problems: A literature analysis. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(3), 389-400.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual reviews in control*, 31(2), 255-267.
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241-249.
- Haryanto, A. T., Hisjam, M., & Yew, W. K. (2021, March). Redesign of Facilities Layout Using Systematic Layout Planning (SLP) on Manufacturing Company: A Case Study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1096, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.
- Hristoski, I., Kostoska, O., Kotevski, Z., & Dimovski, T. (2017). Causality of factors reducing competitiveness of e-commerce firms. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 3(02), 109-127.
- Kaveh, A., & Vazirinia, Y. (2019). Construction site layout planning problem using metaheuristic algorithms: a comparative study. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43(2), 105-115.

- Krishnasamy, S., Akhil, P. T., Arapostathis, A., Sundaresan, R., & Shakkottai, S. (2018). Augmenting max-weight with explicit learning for wireless scheduling with switching costs. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 26(6), 2501-2514.
- Kumar, R., Singh, S. P., & Lamba, K. (2018). Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of cleaner production*, 204, 643-659.
- Leite, H. D. R., & Vieira, G. E. (2015). Lean philosophy and its applications in the service industry: a review of the current knowledge. *Production*, 25, 529-541.
- Luila, E. P. (2008). Problema da Mochila Multicritério Aspectos algorítmicos e Implementação Informática. *Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa*.
- Matusek, M. (2012). Layout planning: a case study on engineering-to-order company. In *Jeseník, Czech Republic: Carpathian Logistics Congress*.
- Morais Da Silva, A. C. O. (2003). *Investigação Operacional Programação Dinâmica*.
- Morais Da Silva, A. C. O. (2017). *Investigação Operacional Afetação de Recursos*.
- Nabli, H. (2009). An overview on the simplex algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 210(2), 479-489.
- Naik, S. B., & Kallurkar, S. (2016). A literature review on efficient plant layout design. *International Journal of Industrial Engineering*, 7(2), 43-51.
- Rahim, M. A., Rahman, M. A., Rahman, M. M., Asyhari, A. T., Bhuiyan, M. Z. A., & Ramasamy, D. (2021). Evolution of IoT-enabled connectivity and applications in automotive industry: A review. *Vehicular Communications*, 27, 100285.
- Sallan, J. M., Lordan, O., & Fernandez, V. (2015). Modeling and solving linear programming with R. *OmniaScience*.
- Sazzad Molla, R. (2018). *A study on Manufacturing of Deformed Bar (G 60-400W) at Elite Iron and Steel Industries*.
- Schrijver, A. (2005). On the history of combinatorial optimization (till 1960). *Handbooks in operations research and management science*, 12, 1-68.
- Sembiring, A. C., Tampubolon, J., Sitepu, G. A., Budiman, I., Tarigan, U. P. P., & Tarigan, S. W. (2019, July). Redesigning the layout with algorithm craft on boiler manufacturing. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1230, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Sharma, S. K., Gupta, R. D., Kumar, A., & Singh, B. (2011). Supplier issues for lean implementation. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(5), 3900-3905.
- Silva, C., & Malcata, E. (2018). *Investigação Operacional Documento de apoio das aulas Teórico-Práticas*.
- Singh, S. P., & Sharma, R. R. (2006). A review of different approaches to the facility layout problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(5), 425-433.
- Singh, S., & Kumar, K. (2020). Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008–2018). *Ain Shams Engineering Journal*, 11(2), 465-471.

- Suhardini, D., Septiani, W., & Fauziah, S. (2017, December). Design and simulation plant layout using systematic layout planning. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 277, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
- Wiyaratn, W., Watanapa, A., & Kajondecha, P. (2013). Improvement plant layout based on systematic layout planning. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 5(1), 76-79.
- Yang, T., Su, C. T., & Hsu, Y. R. (2000). Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. International Journal of Operations & Production Management.



## Anexos

### Anexo A) Alteração de Fluxo Logístico

Um dos trabalhos conduzidos em simultâneo com a alteração de layout, foi o estudo da alteração de todo o fluxo logístico da área da montagem. Devido ao futuro afastamento entre o armazém de produto intermédio e a área de montagem que, atualmente, se encontram adjacentes, todo o fluxo de abastecimento deveria ser revisto. Atualmente, a área de montagem e o armazém da moldagem encontram-se muito próximos, criando a possibilidade de existir contacto direto entre os operadores da montagem e o *feeder* do armazém. Assim, a criação de necessidade de produto intermédio era gerada verbalmente. O operador da montagem, assim que sentia falta de alguma referência, comunicava diretamente com o *feeder*, que se encontrava sempre por perto, e este, que possui um conhecimento vasto sobre todas as referências existentes no espaço de montagem, deslocava-se ao armazém, recolhia a referência em questão e transportava para a área de montagem. Este processo de criação de necessidades pode ser visualizado na Figura 87.

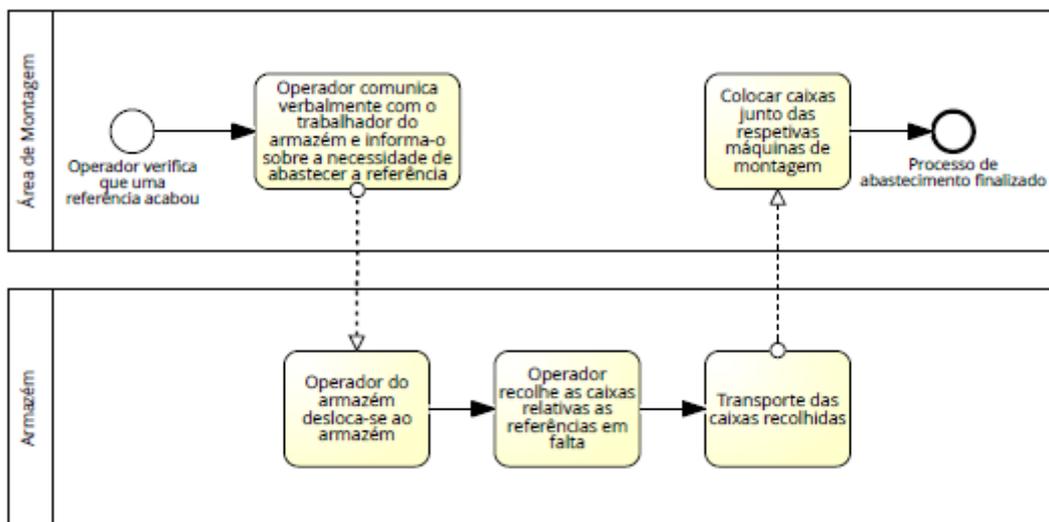


Figura 87: Processo de criação de necessidade e abastecimento da Área de Montagem atual.

No futuro, quando a nova área de montagem se encontrar operacional, o armazém encontrar-se-á muito afastado da mesma, pelo menos numa fase inicial. Assim, a comunicação verbal tornar-se-á impossível. Para além disso, no futuro, todo o abastecimento da fábrica será realizado pelo departamento da logística. Quer isto dizer que os operadores responsáveis por efetuar o abastecimento da área de montagem, não irão ter qualquer conhecimento sobre as operações de montagem nem sobre as referências de produto a abastecer e a recolher. Por tudo isto, seria necessária a criação de um sistema de criação de necessidades e de abastecimento completamente distinto, com recurso a tecnologia, e que possibilite o abastecimento rápido da área de montagem.

Como foi anteriormente mencionado, a nova área de montagem será abastecida por um comboio logístico, pertencente ao departamento logístico, que passará no espaço para abastecimento das máquinas em intervalos de tempo de uma hora. Este comboio é responsável por receber as necessidades de abastecimento da montagem, alimentar o comboio logístico com as caixas de referências em falta, deslocar-se à área de montagem e alimentar as respetivas *racks* de produto IN que se encontram junto de cada uma das máquinas. Tendo então o objetivo bem delineado, o próximo passo seria criar um sistema que torne todo este processo possível e

eficiente. O diagrama BPMN que representa a solução construída encontra-se na Figura 88 e esquematiza todo o fluxo de tarefas e informação.

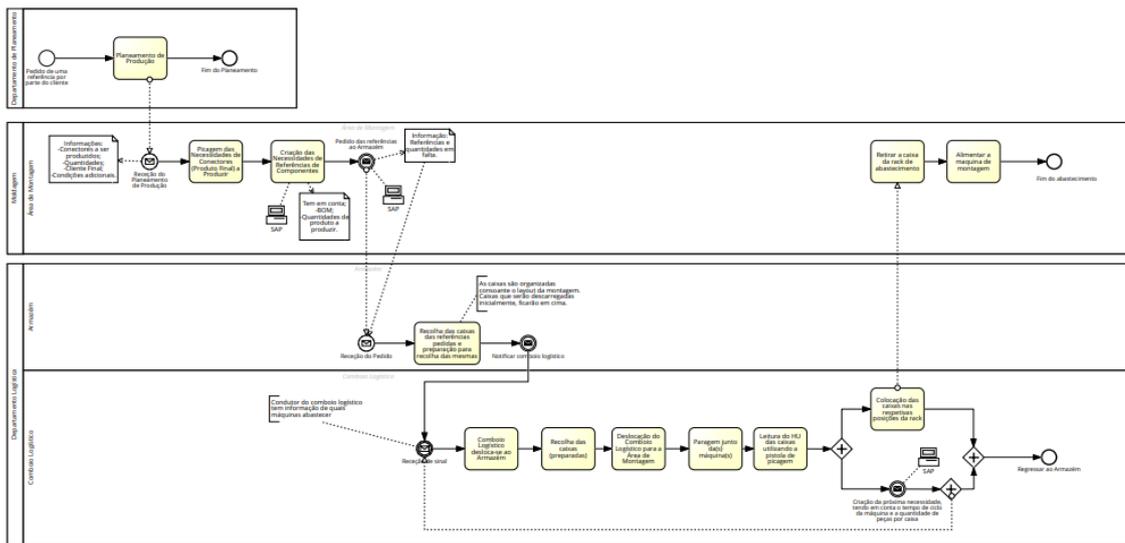


Figura 88: Fluxo proposto de abastecimento da nova área de montagem.

Inicialmente, é importante evidenciar que, neste novo cenário, estão mais departamentos envolvidos no processo de abastecimento. Na situação atual, existe apenas participação do armazém da montagem e da área de montagem. No novo cenário existe troca de informação entre o departamento do planeamento, a montagem e o departamento da logística, que é o novo interveniente do processo. Todo o processo é iniciado com a receção de uma encomenda do cliente. Esta receção faz com que o departamento de planeamento de produção efetue um planeamento diário, relativo ao dia seguinte. Após a construção do mesmo, o planeamento de produção é enviado para o departamento da moldagem, onde a secção da montagem obtém informações relativamente aos conectores a produzir no dia seguinte, às quantidades dos mesmos, aos clientes que efetuaram a encomenda e a informações adicionais que possam existir. Após a receção desta informação, na área da montagem é feita uma picagem dos produtos finais a produzir que gera a criação das necessidades de produto intermédio para o dia seguinte, automaticamente. Esta conversão é feita através da ligação ao sistema SAP que tem em conta a BOM dos produtos finais a produzir e as quantidades de componentes necessários ao produto final. De seguida, através desta picagem, é emitida automaticamente uma mensagem ao armazém que contém a informação relativa às referências e quantidades em falta na área de montagem. Mais uma vez, isto é possível devido à ligação ao sistema SAP que contém informações relativas aos tempos de ciclo das máquinas. Assim, ao dizer ao sistema que são precisas 100 unidades de um conector “A”, o sistema automaticamente, tendo informação da BOM desse conector, fornece informação relativa aos produtos intermédios necessários e suas quantidades. O pedido das necessidades é então enviado ao armazém que, tendo acesso a essa informação, tem a tarefa de recolher todas as caixas das referências em falta e organizá-las tendo em conta o layout da nova área de montagem, ou seja, caixas que serão retiradas do comboio logístico em primeiro lugar, devem ficar em posições superiores, enquanto caixas que serão retiradas no final, devem ficar por baixo. Assim que a preparação das caixas é concluída, o comboio logístico é notificado e desloca-se ao armazém. Aí, recolhe todas as caixas e desloca-se à nova área de montagem onde vai efetuar o abastecimento. É importante referir que o operador do comboio logístico, em cada viagem, tem informação das máquinas que necessita parar e tem informação da sua posição no layout. No momento em que o operador do comboio logístico para junto de uma máquina, deve ler o código HU da caixa (que indica ao sistema que a caixa foi entregue à produção e que, alterando o seu

estado em SAP, ao mesmo tempo, funciona como sistema *poka yoke*<sup>10</sup> ao garantir que a caixa é deixada no local certo) e colocá-la na *rack*. Ao efetuar essa leitura, é criada automaticamente a próxima necessidade de produção, com recurso ao SAP (tendo em conta o tempo de ciclo da máquina e a quantidade de peças por caixa). Esta informação é imediatamente recebida pelo armazém. Após todas as máquinas serem abastecidas, o operador do comboio logístico deve recolher todas as caixas de produto acabado e regressar ao armazém. Assim, o operador da área de montagem poderá continuar a suas funções de alimentação das máquinas. O processo de abastecimento é assim conduzido até ao fim do plano de produção e até à receção de um novo planeamento.

Como é claramente visível, esta nova solução exige um desenvolvimento considerável do sistema SAP que, atualmente, não é bem aproveitado pela empresa. Assim, para implementar este sistema de criação de necessidades, é necessário, anteriormente, realizar um investimento em formação relativamente ao sistema. Para além disso, será necessário adquirir dispositivos eletrónicos como pistolas de picagem e *tablets* para os operadores da logística, da montagem e do armazém. Apesar destes investimentos, esta proposta permite responder às necessidades da nova área de montagem, solucionar os problemas e dificuldades atuais, ao mesmo tempo que é vista como uma forma de trabalho inovadora, pois vem acrescentar sistemas anti erro e uma filosofia de trabalho *pull*, que irá trazer vantagens como a redução de stocks, redução de desperdício, diminuição de WIP, eliminação da acumulação de componentes não necessários na área de montagem e melhor organização de todo o espaço.

## Anexo B) Chegada de Novas Máquinas de Montagem e Transição de Máquinas Atuais

Na tabela 63 está presente um cronograma que esquematiza a data de chegada das novas máquinas de montagem automática às instalações da empresa.

| Máquina | Semana |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
|---------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|
|         | 14     | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | ... | T82 | T83 | 84 |
| M17     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M18     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M19     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M20     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M21     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M22     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M23     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M24     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M25     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M26     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M27     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M28     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |
| M29     |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |    |

Tabela 63: Cronograma da data de chegada das novas máquinas.

<sup>10</sup> “À prova de erros” O Poka-Yoke garante as condições corretas antes que um processo seja realizado, evitando e prevenindo a ocorrência de defeitos.

É ainda importante considerar a ordem e data de transição das máquinas de montagem atual. Esta informação está presente no cronograma apresentado na Tabela 64.

| Máquina      | Semana |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|              | 14     | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| M5           | ■      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M10          |        | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M9           |        |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M12          |        |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Embolsadeira |        |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M11          |        |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M3           |        |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M4           |        |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M6           |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| M15          |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |    |
| M16          |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |    |    |
| M7           |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |    |
| M14          |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |    |
| M13          |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |    |
| M8           |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |    |
| M1           |        |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |

Tabela 64: Cronograma da data de transição das máquinas atuais para o novo espaço.

## Anexo C) Dimensionamento das Necessidades de Máquina de Montagem

Um estudo relativo às necessidades de abastecimento das máquinas de montagem foi realizado com recurso ao SAP e à ferramenta Excel. Aqui, será apresentado um exemplo relativo à máquina M4.

Numa primeira fase, são recolhidas informações relativamente a um *part-number*, como os componentes que este necessita, a quantidade de cada um dos componentes para formar um conector e o tempo de ciclo da máquina. Tendo essas informações, é possível calcular a produção esperada num turno de 8 horas. Considerando a eficiência da máquina, é determinada a produção efetiva. Tendo como base a produção efetiva e a quantidade que cada caixa de componentes leva (diferente para os vários componentes), é possível calcular a necessidade de caixas para cada um dos componentes. Finalmente, através da necessidade de caixas, é determinada a periodicidade da necessidade de abastecimento, quer em minutos quer em horas (Tabela 65). Para determinar essa periodicidade relativamente a materiais de embalagem como caixas, *layers* e *covers*, é necessário identificar o tamanho dos lotes destes produtos, bem como a quantidade de *layers* e de *covers* por cada caixa de produto acabado (Tabela 66). Obtém-se assim o total das necessidades de caixas IN, isto é, necessidade de abastecimento de caixas para a máquina M4 e ainda o número de caixas OUT, isto é, o número de caixas de produto acabado (Tabela 67). Tendo estas informações calculadas, é possível esquematizar a periodicidade das necessidades de abastecimento para cada um dos componentes (Tabela 68).

| Máquina | Produto Acabado | Componentes       | Quantidade/ Conector | Tempo de Ciclo (s) | Produção Esperada | Eficiência da Máquina | Produção Efetiva | Quantidade/Caixa | Necessidade de Caixas | Frequência (min) | Frequência (Horas) |
|---------|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
|         |                 |                   |                      |                    |                   |                       |                  |                  |                       |                  |                    |
| M4      | 7287375430      | Conector          | 1                    | 3,5                | 8229              | 0,85                  | 6994             | 1248             | 6                     | 80               | 1,33               |
|         |                 | TPA               | 1                    | 3,5                | 8229              | 0,85                  | 6994             | 2496             | 3                     | 160              | 2,67               |
|         |                 | Lever             | 1                    | 3,5                | 8229              | 0,85                  | 6994             | 1248             | 6                     | 80               | 1,33               |
|         |                 | Rear Gread Pote 5 | 1                    | 3,5                | 8229              | 0,85                  | 6994             | 2496             | 3                     | 160              | 2,67               |
|         |                 | Rear Gread Pote 3 | 1                    | 3,5                | 8229              | 0,85                  | 6994             | 10000            | 1                     | 480              | 8,00               |
|         |                 | Rubber Seal       | 1                    | 3,5                | 8229              | 0,85                  | 6994             | 4000             | 2                     | 240              | 4,00               |
|         |                 | Layer             | 10 tab/caixa         | 221                | -                 | -                     | -                | -                | 4                     | 120              | 2,00               |
|         |                 | Cover             | 10 tampas/caixa      | 177                | -                 | -                     | -                | -                | 1                     | 480              | 8,00               |
|         |                 | Box               | 1                    | 773,5              | -                 | -                     | -                | -                | 3                     | 160              | 2,67               |
|         |                 | Produto Acabado   | -                    | -                  | 8229              | 0,85                  | 6994             | 260              | 26                    | 18               | 0,31               |

Tabela 65: Estudo de tempos de ciclo, produção esperada, produção efetiva e de necessidade de caixas para a máquina M4.

|                       |     |        |
|-----------------------|-----|--------|
| <b>1 layer=</b>       | 26  | parts  |
| <b>1 lote caixas=</b> | 10  | caixas |
| <b>1 lote layers=</b> | 70  | layers |
| <b>1 caixa=</b>       | 10  | layers |
| <b>1 caixa=</b>       | 8   | covers |
| <b>1 lote covers=</b> | 250 | covers |

Tabela 66: Informações relativas a produtos de embalagem.

|                      |    |
|----------------------|----|
| <b>Caixas IN=</b>    | 29 |
| <b>Caixas OUT=</b>   | 26 |
| <b>Total Caixas=</b> | 55 |

Tabela 67: Quantidades de caixas relativas à máquina M4.

|                   | Tempo (h) |      |      |   |      |      |      |   |      |  |
|-------------------|-----------|------|------|---|------|------|------|---|------|--|
|                   | 0         | 1    | 2    | 3 | 4    | 5    | 6    | 7 | 8    |  |
| Conector          | 0         | 1,33 | 2,67 |   | 4,00 | 5,33 | 6,67 |   | 8,00 |  |
| TPA               | 0         |      | 2,67 |   |      | 5,33 |      |   | 8,00 |  |
| Lever             | 0         | 1,33 | 2,67 |   | 4,00 | 5,33 | 6,67 |   | 8,00 |  |
| Rear Gread Pote 5 | 0         |      | 2,67 |   |      | 5,33 |      |   | 8,00 |  |
| Rear Gread Pote 3 | 0         |      |      |   |      |      |      |   | 8,00 |  |

|                     |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Rubber Seal         | 0        |          |          |          | 4,00     |          |          |          | 8,00      |
| Layer               | 0        |          | 2,00     |          | 4,00     |          | 6,00     |          | 8,00      |
| Cover               | 0        |          |          |          |          |          |          |          | 8,00      |
| Box                 | 0        |          | 2,67     |          |          | 5,33     |          |          | 8,00      |
| Produto Acabado     |          | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00      |
|                     |          | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00      |
|                     |          | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00     | 1,00      |
|                     |          |          |          | 1,00     |          |          | 1,00     |          |           |
| <b>Total Caixas</b> | <b>9</b> | <b>5</b> | <b>9</b> | <b>4</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>7</b> | <b>3</b> | <b>12</b> |

Tabela 68: Periodicidade de abastecimento da máquina M4.

#### Anexo D) Exemplo de Dimensionamento de um Rack de Abastecimento

Será apresentado um exemplo de dimensionamento de *rack* de abastecimento relativo à máquina M4. Para realização deste dimensionamento, é necessário ter em conta as informações presentes na Tabela 68 (Anexo C).

Como é possível verificar, e tendo em conta que o comboio logístico passará na nova área de montagem a cada uma hora, será necessário um espaço para colocação de uma caixa de cada um dos componentes. Isto porque, uma caixa servirá a produção por uma hora ou mais, existindo apenas a necessidade para uma caixa na rack de cada um dos componentes. Já relativamente ao produto acabado, a cada hora, existe a necessidade para alocar 3 ou 4 caixas. Assim, será necessário espaço para, no mínimo, quatro caixas de produto OUT. Tendo isto em conta, a *rack* necessária para abastecimento da máquina M4 é uma *rack* 4x3x1, conforme apresentado na Figura 89.

#### **Rack 4x3x1**

|                  |                |          |                  |
|------------------|----------------|----------|------------------|
| IN Conector      | IN TPA         | IN Lever | IN Rear Gread P5 |
| IN Rear Gread P3 | IN Rubber Seal | IN Layer | IN Cover         |
| OUT              | OUT            | OUT      | OUT              |

Figura 89: Exemplo de dimensionamento de rack de abastecimento.