

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Rita Carvalho da Cunha

Reorganização de *layouts* nas áreas de produção e  
armazém de uma empresa de componentes Tier 2

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Sistemas

Outubro de 2018

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor José António Oliveira

e supervisão de  
Engenheiro Edgar Wchua Pires Guilherme  
Engenheiro Hugo Araújo

## DECLARAÇÃO

Nome: Ana Rita Carvalho da Cunha

Endereço eletrónico: anaritadacunha@outlook.pt

Telefone: +351 912437413

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14372360

Título da dissertação: Reorganização de *layouts* nas áreas de produção e armazém de uma empresa de componentes Tier 2

Orientador: Professor Doutor José António Oliveira

Ano de conclusão: 2018

Mestrado em Engenharia de Sistemas

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:



## AGRADECIMENTOS

Nem tudo na vida se faz sozinho e eu sou muito grata pela colaboração das pessoas que tornaram a realização deste projeto possível.

Presto o meu agradecimento ao orientador Professor Doutor José António, por ter aceite o convite para me orientar, pela sua total disponibilidade e por todos os bons conselhos e conhecimento científico prestados.

Também quero agradecer ao Engenheiro Edgar Guilherme pela supervisão, por toda ajuda prestada e disponibilidade dispensada.

Quero agradecer ao Engenheiro João Torrinha e ao Doutor Óscar Rocha pela oportunidade de realização deste projeto de dissertação na Copefi Components for Automotive S.A., onde foi possível crescer a nível pessoal e profissional. Quero também agradecer a todos os colaboradores da empresa, em especial ao meu supervisor, Engenheiro Hugo Araújo, por todos os conhecimentos e conselhos, e por todo o apoio e disponibilidade demonstrada. Também quero agradecer ao Carlos Pereira pela sua disponibilidade e por todos os conhecimentos transmitidos.

Agradeço também aos meus colegas Andreia Bastos e José Vaz pela amizade e apoio.

Agradeço também as minhas grandes amigas Margarida e Miriam Oliveira, pela amizade, apoio e por acreditarem em mim.

Agradeço aos meus dois tios emigrantes, à Beatriz Cunha e Júlio Carvalho, que mesmo longe estão sempre a apoiar-me em todas as fases da minha vida.

Agradeço em especial, aqueles que estão comigo todos os dias e que me acompanham em todos os momentos maus e bons da minha vida, aos meus pais, irmão, Maria João, Jéssica e Petra.

Por fim, agradecer a Deus por estar sempre presente na minha vida.



## RESUMO

O projeto de dissertação foi desenvolvido em contexto de empresa, na Copefi Components For Automotive S.A., que produz componentes plásticos para a indústria automóvel. Esta empresa encontra-se em franca expansão e decidiu aumentar as suas instalações a fim de abraçar novos desafios e projetos que o setor automóvel extremamente competitivo proporciona. Nesse seguimento, é importante estruturar novos *layouts* ou reorganizar os existentes de forma a dar respostas às necessidades atuais. O projeto de dissertação enquadra-se na zona do armazém, mais precisamente, na otimização do espaço de armazenamento nas *racks*, contribuindo assim, para a melhoria do desempenho do *layout* do processo produtivo.

A falta de aproveitamento de espaço nas *racks* de armazenamento de produto acabado, resulta da divisão desadequada dos níveis das *racks*. Após o armazenamento de uma palete num nível, é visível espaço vazio, que poderia ser aproveitado se as divisões nas *racks* estivessem bem estruturadas. Com a falta de locais de armazenamento o produto acabado é alocado pelo corredor que dá acesso ao armazém, no corredor do próprio armazém e por vezes é deixado na produção, afetando assim o funcionamento desta última zona. Uma das consequências do armazenamento desadequado do produto é a dificuldade de acesso às *racks*. Um colaborador responsável por uma célula produtiva é responsável pelo seu abastecimento tendo de se deslocar ao armazém. Este processo compromete os níveis de produtividade e origina desperdícios que não acrescentam valor ao produto. Acrescentando o facto de, por vezes, não existir facilidade em alcançar um artigo numa *rack*, os desperdícios acentuam-se. Resumidamente, a desorganização existente origina uma ineficácia nos processos do produto acabado nas fases antecedentes à chegada ao armazém, dificultando também, a fluidez do seu fluxo.

Assim, pretende-se otimizar o espaço de armazenamento utilizando técnicas de programação linear, através de um modelo em linguagem AMPL e métodos heurísticos. Espera-se com esta dissertação alcançar uma melhor eficiência nos processos e fluidez no fluxo, pelos quais o produto acabado está sujeito desde a produção até ao armazém, transmitindo assim um melhor funcionamento e o acréscimo de valor ao produto.

Palavras-Chave: *Warehouse Planning, Layout, MILP, Lean*



## ABSTRACT

This dissertation project was developed in a company context, the Copefi Components For Automotive S.A., which produces plastic components for the automotive industry. This company is in full expansion and decided to increase its facilities in order to be able to give respond to new challenges and projects that the extremely competitive automotive sector provides. It is important to structure new layouts and reorganize existing ones to meet current needs. The dissertation project fits in the warehouse zone, more precisely, in the optimization of the storage space in the racks, thus contributing to the improvement of the performance of the layout of the production process.

The lack of use of space in the storage racks of finished product, as result from the inadequate division of the levels of the racks. After storing a pallet on a level, empty space is visible, this could be availed if the divisions in the racks were well structured. With the lack of storage places the finished product is allocated in the corridor that gives access to the warehouse, in the corridor of the warehouse itself and is sometimes left in production, thus affecting the operation of the latter zone. One of the consequences of improper storage of the product is the difficulty of accessing the racks. An employee responsible for the production cell is responsible for its supply having to go to the warehouse. This process compromises productivity levels and creates waste products that do not add value to the product. Adding to the fact that there is sometimes no easy way to reach an article in a rack, the waste is accentuated. Briefly, the existing disorganization causes inefficiency in the processes of the finished product in the phase antecedent to the arrival at the warehouse, also hindering, and the fluidity of its flow.

Thus, it is intended to optimize the storage space using linear programming techniques, through an AMPL language model, and heuristic methods. This dissertation is expected to achieve a better process efficiency and flow, through which the finished product is subject from production to warehouse, thus transmitting a better operation and adding value to the product.

Keywords: Warehouse Planning, Layout, MILP, Lean



# Índice

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologias de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação.....	3
2. Revisão de Literatura.....	5
2.1 Logística e a Gestão da Cadeia de Abastecimento.....	5
2.2 Gestão da Cadeia de Abastecimento no Setor Automóvel.....	7
2.3 Gestão da Armazenagem.....	8
2.3.1 Operações de Armazenagem.....	9
2.3.2 <i>Layout</i> de Armazenagem.....	11
2.3.3 Tipos de Armazenamento.....	13
2.4 Sistema de Produção.....	13
2.4.1 <i>Layout</i> das Instalações.....	14
2.4.2 Lean Manufacturing.....	15
2.5 Metodologias.....	17
2.5.1 Análise ABC.....	17
2.5.2 Programação Matemática.....	17
2.5.3 Programação Linear e Programação Linear Inteira.....	18
2.5.4 Métodos Heurísticos.....	18
3. A Empresa.....	21
3.1 Copefi.....	21

3.2	Produtos .....	22
3.3	Clientes.....	22
3.4	Sistema de Informação .....	23
3.5	Armazém .....	23
3.6	Produção .....	25
4.	Descrição do Problema.....	27
4.1	Armazém e Produção.....	27
4.2	Levantamento e Tratamento de Dados .....	30
4.2.1	<i>Racks</i> de Armazenamento de Produto Acabado .....	30
4.2.2	Dimensões das Paletes e Medida de Manuseio .....	31
4.2.3	Dados Referentes ao Produto Acabado .....	32
4.2.4	Análise ABC .....	34
5.	Resolução do Problema .....	37
5.1	Heurísticas construtivas .....	37
5.1.1	Heurística Construtiva 1 .....	38
5.1.2	Heurística Construtiva 2.....	44
5.1.3	Conclusão.....	51
5.2	Modelo de Programação Linear.....	53
5.2.1	Parâmetros.....	53
5.2.2	Variáveis de Decisão .....	53
5.2.3	Variáveis .....	54
5.2.4	Função Objetivo.....	54
5.2.5	Restrições.....	54
5.3	Testes Computacionais .....	55
5.3.1	Implementação do Modelo: Estratégia 1.....	57
5.3.2	Implementação do Modelo: Estratégia 2.....	58
5.3.3	Implementação do Modelo: Estratégia 3.....	60
5.3.4	Implementação do Modelo: Estratégia 4.....	61
5.3.5	Implementação do Modelo: Estratégia 5.....	62
5.3.6	Heurística Construtiva 3.....	63

6. Conclusões e trabalho Futuro .....	71
Bibliografia.....	75
Anexo I – Análise ABC Relativamente as Paletes Industriais .....	79
Anexo II – Análise ABC Relativamente as Europaletes.....	89
Anexo III – Análise ABC de Todos os Produtos .....	91
Anexo IV – Modelo de Programação Linear.....	101
Anexo V – Tabela de Dados 1 .....	103
Anexo VI – Tabela de Dados 2 .....	109



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Processos da Gestão Logística (Christopher, 2011)</i> .....	6
<i>Figura 2: Tricórnio das Dimensões da Logística (Carvalho, 2012)</i> .....	6
<i>Figura 3: Processos da Cadeia de Abastecimento [Adaptado de (Carvalho, 2012)]</i> .....	7
<i>Figura 4: Sequência da Cadeia de Abastecimento do Setor Automóvel (Ro et al., 2007)</i> .....	8
<i>Figura 5: Problemas de Decisão de Projeto de Armazém (Gu et al., 2007)</i> .....	12
<i>Figura 6: Fluxos de Armazém (Carvalho, 2012)</i> .....	12
<i>Figura 7: Logótipo da Empresa</i> .....	21
<i>Figura 8: Planta da Copefi de Braga</i> .....	21
<i>Figura 9: Alguns dos Produtos Fabricados na Copefi</i> .....	22
<i>Figura 10: Alguns dos Clientes da Copefi</i> .....	23
<i>Figura 11: Layout do Armazém</i> .....	24
<i>Figura 12: Layout da Produção</i> .....	25
<i>Figura 13: Rack Y do Armazém</i> .....	29
<i>Figura 14: Dimensão das Racks de Armazenamento</i> .....	30
<i>Figura 15: Barra Metálica</i> .....	31
<i>Figura 16: Posicionamento das Barras Metálicas</i> .....	31
<i>Figura 17: Ilustração da Medida de Manuseio e das Posições do Nível</i> .....	32
<i>Figura 18: Gráfico Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Relativamente aos Produtos Armazenados em Paletes Industriais</i> .....	35
<i>Figura 19: Gráfico Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Relativamente aos Produtos Armazenados em Europaletes</i> .....	36
<i>Figura 20: Conjunto de Figuras do Resultado da Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Paletes Industriais</i> .....	38
<i>Figura 21: Rack 3 da Solução da Heurística Construtiva 1</i> .....	39
<i>Figura 22: Rack 18 da Solução da Heurística Construtiva 1</i> .....	39
<i>Figura 23: Conjunto de Figuras Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Paletes Industriais</i> .....	40
<i>Figura 24: Ilustração do Desperdício Linear</i> .....	42
<i>Figura 25: Resultado da Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes</i> .....	42

<i>Figura 26: Rack 21 da Solução da Construtiva Heurística 1 .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 27: Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 28: Conjunto de Figuras da Alocação das Paletes Industriais com Referências Iguais Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29: Conjunto de Figuras do Resultado da Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30: Rack 17 da Solução da Heurística Construtiva 2 .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 31: Conjunto de Figuras Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 32: Alocação das Europaletes com Referências Iguais Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 33: Reformulação da Fase 1 da Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes .</i>	<i>50</i>
<i>Figura 34: Resultado da Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 35: Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 36: Rack 20 e Rack 23 da Solução da Heurística Construtiva 1 .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 37: Rack 20 da Solução da Heurística Construtiva 1 .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 38: Gráfico Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Retrativamente aos Produtos Armazenados em Ambos os Tipos de Paletes .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 39: Conjunto de Figuras do Resultado da Solução da Heurística Construtiva 3 .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 40: Rack 16 da Solução Heurística Construtiva 3.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 41: Rack 19 da Solução da Heurística Construtiva 3.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 42: Conjunto de Figuras Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 3.....</i>	<i>67</i>

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Dimensões das Paletes e Medida de Manuseio</i> .....	32
<i>Tabela 2: Alturas das Paletes Industriais</i> .....	33
<i>Tabela 3: Alturas das Europaletes</i> .....	34
<i>Tabela 4: Resultados Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Relativamente aos Produtos Armazenados em Paletes Industriais</i> .....	34
<i>Tabela 5: Resultados Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Relativamente aos Produtos Armazenados em Europaletes</i> .....	35
<i>Tabela 6: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Paletes Industriais</i> .....	40
<i>Tabela 7: Resultados Estatísticas da Solução da Heurística Construtiva1 no Caso de Paletes Industriais</i> .....	41
<i>Tabela 8: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes</i> .....	44
<i>Tabela 9: Resultados Estatísticos Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes</i> .....	44
<i>Tabela 10: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais</i> .....	47
<i>Tabela 11: Resultados Estatísticos Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais</i> .....	48
<i>Tabela 12: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes</i> .....	50
<i>Tabela 13: Resultado Estatístico Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes</i> .....	51
<i>Tabela 14: Resultados Finais das Duas Soluções Heurísticas</i> .....	52
<i>Tabela 15: Resultados Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Relativamente aos Produtos Armazenados em Ambos os Tipos de Paletes</i> .....	56
<i>Tabela 16: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 1</i> .....	58
<i>Tabela 17: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 2</i> .....	59
<i>Tabela 18: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 3</i> .....	61
<i>Tabela 19: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 4</i> .....	62

<i>Tabela 20: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 5 .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 21: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 3.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 22: Resultados Estatísticos Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 3 .....</i>	<i>68</i>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AMPL – *A Mathematical Programming Language*

ASN – *Advance Shipping Notice*

CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals*

EDI – *Electronic Data Interchange*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FIFO – *First In, First Out*

JIT – *Just In Time*

LIFO – *Last In, First Out*

LP – *Linear Programming*

MILP – *Mixed Integer Linear Programming*

NAFTA – *North American Free Trade Agreement*

OEM - *Original Equipment Manufacturer*

PA – *Produto Acabado*

PPAP – *Production Part Approval Process*

SKU – *Stock Keeping Unit*

TPS – *Toyota Production System*



# 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será efetuado um enquadramento e apresentação dos objetivos da presente dissertação. Também será abordada a metodologia de investigação utilizada no desenvolvimento deste projeto. Por fim, é descrita a estrutura da dissertação.

## 1.1 Enquadramento

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida no âmbito do Mestrado de Engenharia de Sistemas, no ramo da Logística, em forma de estágio curricular numa empresa integrada no setor da indústria automóvel.

A indústria automóvel iniciou a sua atividade em Portugal nos anos 60, com a montagem de automóveis. Desde então, este setor foi crescendo contando atualmente com 220 empresas de componentes para automóveis sedeadas em Portugal Continental, com grande intensidade no litoral. Estas empresas promovem um número médio anual de 50000 postos de trabalho e contribuíram, no último ano, com 10 mil milhões de euros no volume de negócio, dos quais, 8,5 mil milhões de euros são exportações, com maior destino a Europa representando cerca de 92% (AFIA, 2018), dados referentes ao último ano. Com todos estes valores, as empresas veem a necessidade de evoluir rapidamente para estarem a par da extrema competitividade que a indústria automóvel exige. Gerir a cadeia de abastecimento de uma forma eficiente aumenta o valor e satisfação do cliente, que por sua vez, leva a uma maior vantagem competitiva para a cadeia, assim como para a empresa (Mentzer et al., 2001). Apesar da referência de Mentzer possuir alguns anos, ainda se encontra válida nos dias de hoje.

Assim é importante que as empresas tenham um bom funcionamento dos fluxos internos, a fim de obter excelentes apreciações por parte do cliente. A produção de produtos de alta qualidade, com reduzido custo e num curto espaço de tempo utilizando o menor número de recursos é o modo de gerir uma instalação industrial. Uma maneira de reduzir custos, tempo e recursos e ajudar os produtos a fluírem durante o processo produtivo, consiste em adquirir um *layout* da instalação que se adegue às necessidades atuais de uma empresa. A escolha de um bom *layout* ajuda na organização dos recursos necessários para a produção de bens ou prestação de serviços (Drira, Pierreval, & Hajri-Gabouj, 2007), contribuindo para a eficiência geral das operações.

É importante a transmissão de valor nos processos de fabricação do produto e é também importante que esse valor não se perca através da falta de fluidez dos restantes processos como, no transporte do produto da produção ao armazém e no armazenamento do produto.

Uma forma de organizar os produtos mantidos em armazém a fim de se alcançar uma elevada utilização do espaço e facilitar o manuseamento de material é otimizar o *layout* de armazém. Segundo Hassan (2002) projetar o *layout* de um armazém é uma tarefa complexa, visto que, o número de decisões é grande e muitas delas são problemas combinatórios difíceis de resolver de forma ideal. Aspetos como onde armazenar, as dimensões do produto, as diferentes taxas de procura dos produtos, entre outros, condicionam a escolha de um *layout* eficiente.

Quando uma empresa se expande pode constatar que o seu *layout* pode não estar adequado com a atualidade e procura obter melhorias. Uma dessas empresas é a Copefi onde decorreu este projeto que se encontra em franca expansão e neste momento está com um projeto de alargamento da área de armazenamento. Neste sentido é importante estruturar novos *layouts* ou reorganizar os existentes de forma a dar respostas às necessidades atuais.

## 1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação é o estudo de um novo *layout* no armazém, mais precisamente estipular novas divisões nas *racks* de armazenamento com a finalidade de obter um armazém mais organizado e com mais espaço para armazenamento. Este objetivo também terá impacto no *layout* atual da produção, visto que será obtido mais e melhor espaço para armazenamento. Contudo espera-se obter melhorias no fluxo dos produtos e nos seus processos, como também nos níveis de produtividade e desempenho.

## 1.3 Metodologias de Investigação

O método de investigação utilizado neste projeto de dissertação é o estudo de caso em contexto de empresa. Inicialmente foi elaborada uma revisão de literatura onde são abordadas várias vertentes sobre o tema e sobre as metodologias utilizadas. Foram efetuadas pesquisas e analisadas fontes bibliográficas como, projetos de dissertação, artigos científicos, livros e resumos. Em simultâneo, foi realizada uma análise ao estado atual da empresa que ajudou a identificar problemas existenciais relacionados com as áreas do armazém e da produção. Esta análise foi efetuada através de documentos e de informações obtidas por reuniões. De todos os problemas analisados foi escolhido apenas aquele que dá mais margem para ser trabalhado. Foram levantados dados importantes para a resolução do problema

escolhido, que foram utilizados para construir duas soluções no *Microsoft Office Excel*. As análises efetuadas às duas soluções encontradas ajudaram numa melhor perceção do problema real e em tomadas de decisão para a construção do modelo de programação linear inteira mista (MILP – *Mixed Integer Linear Programming*). Todos os dados necessários para a construção do modelo MILP foram trabalhados de forma a poderem integrar na linguagem AMPL. Posteriormente foram comparadas as soluções iniciais antes da construção do modelo MILP e as soluções dos testes computacionais, fazendo assim uma avaliação aos resultados obtidos pelos dois métodos. Tendo em conta os resultados obtidos pelos métodos utilizados, foi elaborada uma heurística construtiva que teve como resultado uma solução válida para o problema. No final são expostas conclusões e propostas considerações sobre trabalho futuro.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação está dividida da seguinte forma:

- Neste capítulo, foi elaborado um enquadramento da dissertação, a apresentação dos objetivos pretendidos com este projeto e ainda a metodologia de investigação utilizada.
- No segundo capítulo é apresentada uma revisão de literatura que aborda as principais temáticas presentes nesta dissertação. Os principais temas são: gestão da armazenagem, sistema de produção e metodologias de investigação utilizadas.
- O terceiro capítulo integra uma descrição da empresa onde foi efetuado o projeto de dissertação.
- O quarto capítulo apresenta a descrição do problema nas áreas do armazém e da produção, assim como, o levantamento e tratamento dos dados que são utilizados como base de resolução.
- No quinto capítulo são efetuadas várias abordagens a resolução do problema proposto através de um modelo de programação linear inteira mista e heurísticas construtivas.
- No sexto capítulo são apresentadas as conclusões finais onde será proposta uma solução para o problema e é abordada a complexidade do problema de programação linear. Também aqui são apontadas algumas propostas de trabalho futuro.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os diferentes conteúdos programáticos abrangidos no estudo da presente dissertação. Os conteúdos abordados dizem respeito à logística e à gestão da cadeia de abastecimento, à gestão da armazenagem e sistema de produção e também à metodologia de investigação utilizada. A revisão de literatura teve impacto na avaliação do estado atual da empresa onde se realizou este projeto de dissertação, assim como na escolha das melhores metodologias a serem implementadas.

### 2.1 Logística e a Gestão da Cadeia de Abastecimento

O termo, logística, já é abordado desde a antiguidade. Os egípcios, na construção de pirâmides depararam-se com questões logísticas como o planeamento de todos os recursos necessários para a execução de trabalhos e com questões relativas à afetação das tarefas (Courtois, Pileet, & Martin- Bonnefous, 2006). No entanto, foi em contexto militar que a logística ficou mais marcada em termos de desenvolvimento (Carvalho, 2012). Hoje em dia, a logística surge em contexto empresarial. As empresas passaram a reconhecer o impacto que a gestão logística pode ter na conquista de vantagens competitivas (Christopher, 2011).

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2013) a logística ou gestão logística é “a parte da gestão da cadeia de abastecimento que planeia, implementa e controla o fluxo e o armazenamento de bens, serviços e informações relacionados entre o ponto de origem e o ponto de destino para atender às necessidades dos clientes. As atividades de gestão logística geralmente incluem a gestão de transportes de entrada e saída de materiais, gestão de frotas, armazenamento e manuseamento de materiais, gestão de encomendas, desenho da rede logística, gestão de *stocks*, planeamento do abastecimento, previsão da procura e gestão dos prestadores de serviços logísticos.” Christopher (2011) define a logística como “o processo de gerir estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, ferramentas e produto acabado (e os fluxos de informação relacionados) através da organização e dos canais de comercialização”. A partir da integração total dos processos, a gestão logística cobre as necessidades dos clientes através da coordenação dos fluxos físicos e de informação (Christopher, 2011). A Figura 1 representa o fluxo dos materiais, o fluxo de informação e os processos da gestão logística.

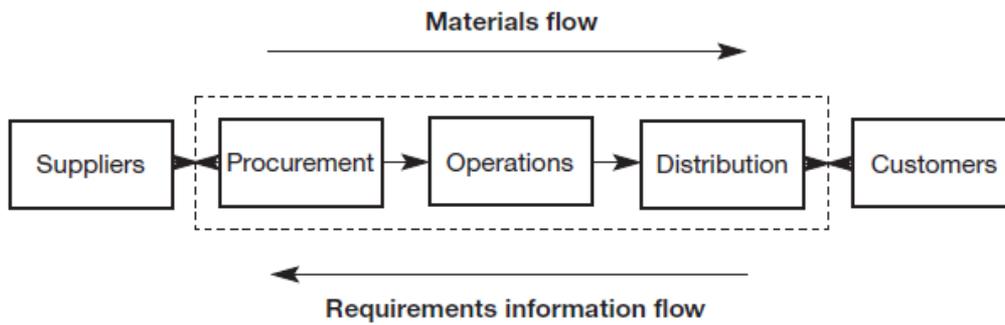


Figura 1: Processos da Gestão Logística (Christopher, 2011)

Segundo Carvalho (2012) apesar da percepção sobre logística ou gestão logística resultar em algo complexo, a complexidade é atenuada quando deparada com o entendimento dos objetivos e medidas de atuação. De maneira a reduzir a complexidade da logística é apresentada na Figura 2, uma ferramenta de decisão, chamada de tricórnio das dimensões da logística.

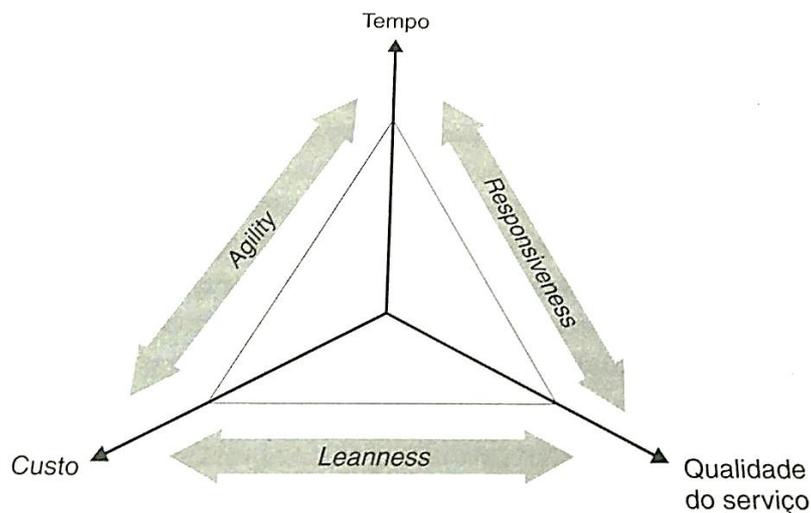


Figura 2: Tricórnio das Dimensões da Logística (Carvalho, 2012)

O instrumento de decisão logístico é constituído pelas seguintes dimensões: o tempo, o custo e a qualidade do serviço. Esta ferramenta de decisão promove raciocínios e decisões, essencialmente entre equilíbrios e trocas, entre as suas dimensões (Carvalho, 2012).

A logística e a cadeia de abastecimento possuem definições diferentes. Segundo o CSCMP (2013) “a gestão da cadeia de abastecimento engloba o planeamento e a gestão de todas as atividades envolvidas na terceirização, aquisição, conversão de todas as atividades de gestão logística. É importante referir que também inclui a coordenação e a procura entre parceiros da cadeia, que podem ser fornecedores,

intermediários, prestadores de serviços logísticos ou clientes. Essencialmente, a gestão da cadeia de abastecimento integra as componentes de abastecimento e procura dentro e fora das empresas.”

Mentzer et al., (2001) define a cadeia de abastecimento como um conjunto de três ou mais entidades diretamente envolvidas nos fluxos a jusante e a montante de produtos, serviços, finanças e/ou informações de uma fonte para um cliente. A Figura 3 representa os processos de conciliação entre fornecedores e clientes, e integração e planeamento na cadeia de abastecimento.

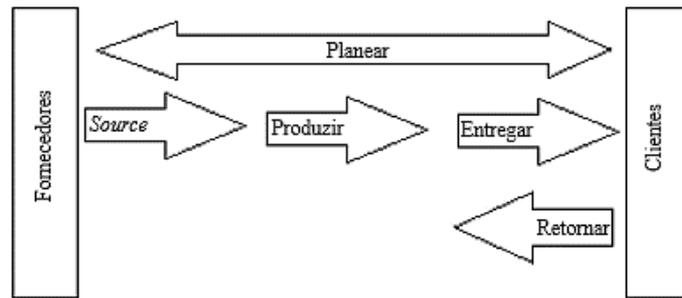


Figura 3: Processos da Cadeia de Abastecimento [Adaptado de (Carvalho, 2012)]

Os processos da cadeia de abastecimento funcionam como um ciclo. As matérias-primas são encomendadas ao fornecedor sendo depois produzidas, armazenadas e entregues como produto acabado de forma a satisfazer a procura do cliente.

Desde algum tempo que vem sendo evidente para as empresas que, para continuarem a obter ganhos em termos de qualidade, tempo, custo e utilização de recursos, é necessário olhar para a cadeia de abastecimento como um todo, isto é, não ter um foco apenas interno, mas também externo (Carvalho, 2012).

## 2.2 Gestão da Cadeia de Abastecimento no Setor Automóvel

O projeto e produção de um automóvel exige várias interações e coordenação entre muitas funções e participantes do setor. Um automóvel compreende um grande número de componentes, peças e acessórios, provenientes de várias empresas. A cadeia de abastecimento no setor automóvel compreende uma rede longa, dinâmica e complexa que envolve várias cadeias de abastecimento que trabalham de forma interdependente (Brunnermeier & Martin, 1999; Ro, Liker, & Fixson, 2007). Cada cadeia de abastecimento trabalha independentemente das outras cadeias, mas todas dependem de uma empresa fabricante do equipamento original (OEM), que comunica de forma direta ou indireta com todas as cadeias para satisfazer as suas necessidades (Ro et al., 2007). De modo a diferenciar as cadeias,

foram estabelecidos níveis para os principais fornecedores de uma OEM. Quanto mais próximo estiver o fornecedor da OEM, menor será o seu nível como se pode observar na Figura 4.

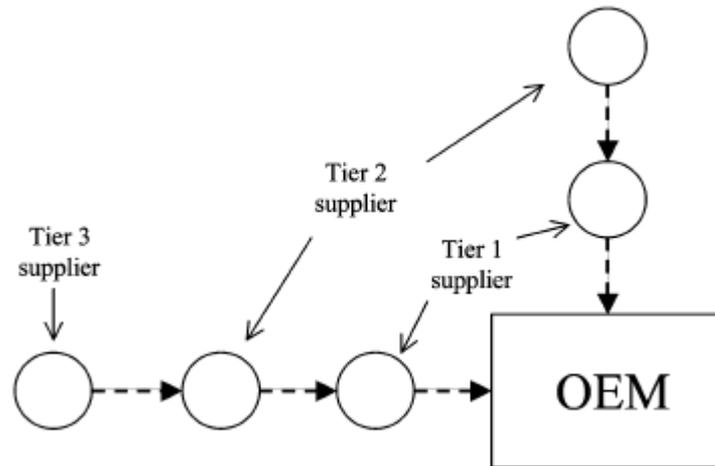


Figura 4: Sequência da Cadeia de Abastecimento do Setor Automóvel (Ro et al., 2007)

A cadeia de abastecimento no setor automóvel funciona de forma integrada, envolvendo todos os fornecedores em todas as atividades. Uma OEM pode pedir a um fornecedor Tier 1 para realizar as suas atividades, e um fornecedor Tier 1 pode transferir algumas dessas atividades a montante de um fornecedor Tier 2 e assim por diante (Doran, Hill, Hwang, & Jacob, 2007). As empresas Tier 1 podem ser várias e produzir peças, componentes e acessórios dependendo do seu tamanho e diversidade. As empresas Tier 2 podem ter as mesmas características das empresas Tier 1, no entanto, fornece de forma indireta à empresa OEM (Brunnermeier & Martin, 1999).

Com a criação da cadeia de abastecimento no setor automóvel uma empresa OEM pretende usufruir do controlo total da cadeia. Assim, uma empresa OEM pode apenas concentrar-se na montagem final do automóvel passando outras atividades intermédias de montagem para os seus fornecedores. Deste modo, as empresas OEM reduzem custos e tempo e ganham qualidade e eficiência no desenvolvimento dos seus produtos (Ro et al., 2007).

### 2.3 Gestão da Armazenagem

A armazenagem é uma das atividades logísticas mais importantes da cadeia de abastecimento (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2007). A armazenagem não acrescenta valor ao produto, mas contribui para que todo o processo logístico possa cumprir com a proposta de valor (Carvalho, 2012). De acordo com Lambert (1998), a armazenagem tem o seguinte papel na cadeia de abastecimento:

- tirar proveito de economias de escala;

- fornecer processamento de valor agregado;
- reduzir tempo de resposta;
- fornecer proteção de contingência;
- atender às mudanças nas condições do mercado e incertezas;
- suavização das operações de produção e obtenção de economias;
- aproveitar descontos de compra;
- superar as diferenças de tempo e espaço que existem entre fornecedores e clientes;
- proporcionar o armazenamento temporário de material a ser descartado ou reciclado;
- fornecer um local de reserva para transbordos.

Há muitas questões envolvidas na concepção e operação de um armazém. Os recursos como espaço, mão de obra e equipamentos necessitam de ser alocados entre as diferentes funções do armazém e cada função precisa de ser cuidadosamente implementada, operada e coordenada para alcançar um bom desempenho com um custo mínimo de recursos (Gu et al., 2007).

### 2.3.1 Operações de Armazenagem

De uma forma geral as operações de armazenagem consistem em receber e armazenar as unidades de manutenção de *stock* (SKUs), designação dada aos diferentes produtos em *stock*, receber encomendas dos clientes, recuperar do seu local de armazenamento e embalar os SKUs e enviar os SKUs para o cliente (Gu et al., 2007).

Segundo Carvalho (2012) quando os produtos chegam ao armazém originam três atividades:

- recepção: esta atividade consiste em receber materiais provenientes de fornecedores. A recepção inclui a programação da chegada de produtos, chegada de veículos e alocação do veículo a um cais de descarga e descarregamento de produtos. A utilização de marcação da data e hora de entrega de produtos através do *Advanced Shipping Notice* (ASN) torna-se bastante útil, pelo facto de facilitar as descargas (Carvalho, 2012).
- conferência: esta atividade consiste na conferência da mercadoria recebida e eventual reembalamento dos produtos de forma a facilitar posteriores operações no armazém (Rouwenhorst et al., 2000). As verificações de controlo de qualidade também podem estar incluídas nesta atividade.
- arrumação: consiste em armazenar a mercadoria em locais estratégicos do armazém, a fim de facilitar a sua localização quando solicitada. Segundo Carvalho (2012) existem três métodos de localização dos produtos:

- localização fixa: consiste na alocação dos produtos num espaço estipulado do armazém. Este método pode ser aplicado num armazém quando não existe muitas referências de produtos para serem alocadas. O espaço necessário para armazenamento dos produtos deve ser dimensionado consoante o *stock* máximo. Quando o *stock* máximo de uma referência não é atingido vão surgir espaços vazios, o que torna o método menos vantajoso, uma vez que, o espaço vazio poderia ser ocupado com uma referência diferente.
- localização aleatória: consiste na alocação dos produtos num local vazio e aleatório do armazém. Este método é vantajoso por permitir uma elevada utilização do espaço. Porém, se a mesma referência de um produto for alocada em duas zonas distintas do armazém pode trazer desvantagens em termos de movimentações no processo de *picking*.
- localização mista: este método é uma combinação da localização fixa com a localização aleatória. A localização mista consiste em subdividir a área de armazenagem em zonas. As referências são armazenadas numa zona estipulada (localização fixa) e dentro dessa zona, as referências são alocadas em qualquer local (localização aleatória).

Quando o produto sai para um cliente origina outras três atividades (Carvalho, 2012):

- *picking*: esta atividade consiste em obter os produtos do seu local de armazenamento e pode ser efetuada de forma manual ou automatizada (Rouwenhorst et al., 2000). É considerada a atividade chave da maioria dos armazéns. Segundo Carvalho (2012) existem quatro métodos distintos de *picking*:
  - *picking by order*: o *picker* ou operador de *picking* é responsável por recolher todos os produtos de uma encomenda. Quando termina a elaboração de uma encomenda passa para outra. Este método é muito pouco produtivo porque envolve muitas deslocações por parte dos recursos humanos. O *picker* pode passar pelo mesmo local várias vezes para recolher o mesmo produto para encomendas diferentes. Apesar de ser pouco produtivo está menos suscetível a erros.
  - *picking by line*: consiste na recolha do mesmo material para satisfazer várias encomendas. Este método tem bastante nível de produtividade, mas está mais propenso a erros.

- *zone picking*: consiste numa área ou várias áreas que contém um operador responsável. O operador recolhe os produtos necessários para satisfazer uma encomenda na área onde se encontra. Todos os produtos recolhidos nas diferentes áreas são colocados no mesmo local para ser processada a encomenda final.
- *batch picking*: o *picker* trabalha sobre um grupo de encomendas. Todos os produtos localizados na mesma zona de armazenamento são recolhidos para satisfazer várias encomendas. Quanto maior a quantidade de encomendas, maior será a produtividade e maior também a tendência para erros.
- preparação e expedição: estas duas últimas atividades consistem na preparação da encomenda para a fase de expedição. Os produtos de uma encomenda são colocados numa palete e de seguida procede-se a sua filmagem ou cintagem, se for o caso. Depois de concluída a preparação da encomenda as paletes são organizadas de maneira a ficarem prontas para serem expedidas e eventual carregamento numa transportadora (Carvalho, 2012; Rouwenhorst et al., 2000).

### 2.3.2 *Layout* de Armazenagem

Uma forma de organizar os produtos armazenados num armazém a fim de alcançar uma elevada utilização do espaço e facilitar o manuseamento de material é otimizar o *layout* de armazém. Segundo Hassan (2002) projetar o *layout* de um armazém é uma tarefa complexa, visto que o número de decisões é grande e muitas delas são problemas combinatórios difíceis de resolver de forma ideal. Operações como o *picking*, dimensão dos produtos, a procura, entre outros condicionam a escolha de um *layout* ótimo. Na Figura 5, são apresentada as cinco decisões importantes envolvidas num projeto de armazém: determinação da estrutura geral do armazém, dimensão do armazém e dos seus departamentos, seleção dos equipamentos do armazém, determinação do *layout* de forma detalhada do armazém e seleção das políticas operacionais do armazém (Gu et al., 2007).

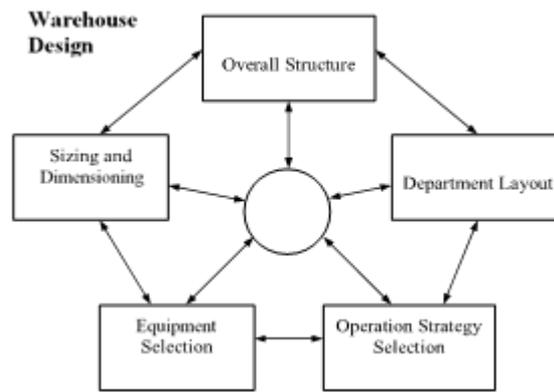


Figura 5: Problemas de Decisão de Projeto de Armazém (Gu et al., 2007)

Segundo Carvalho (2012) existem dois tipos de fluxos de armazém que estão dependentes do seu *layout*. Se no *layout* do armazém a zona de expedição se situar no extremo oposto à zona de receção e a zona de armazenagem se localizar entre a receção e expedição, os produtos seguem um fluxo direcionado. Se a zona de receção se localizar na mesma zona de expedição, os produtos seguem um fluxo quebrado ou em U. A Figura 6 faz-se representar dos dois tipos de fluxo de um armazém.

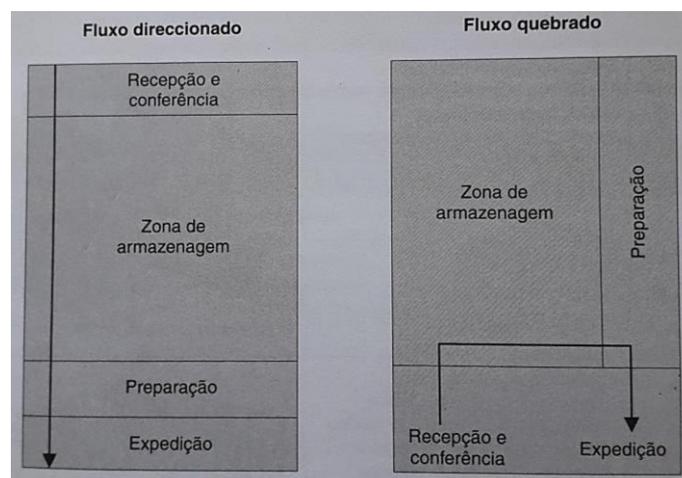


Figura 6: Fluxos de Armazém (Carvalho, 2012)

Uma vantagem dos armazéns de fluxo direcionado é a minimização de congestionamentos dentro e fora do armazém nas operações de receção e expedição. Os armazéns de fluxo quebrado têm a vantagem de minimizar as distâncias percorridas nas atividades de arrumação e de *picking* (Carvalho, 2012).

### 2.3.3 Tipos de Armazenamento

Outro aspeto fulcral para um bom desempenho do armazém é estabelecer o local onde os produtos vão ser armazenados. Existem métodos de atribuição de armazenamento que constituem um conjunto de regras que podem ser usadas para atribuir produtos a locais (Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007).

Estes métodos são conhecidos por:

- armazenamento aleatório: este tipo de armazenamento consiste em atribuir um local aleatório e vazio do armazém a uma palete ou quantidade de produto (Bahrami, Aghezzaf, & Limère, 2011; Koster et al., 2007).
- armazenamento de local aberto mais próximo: consiste na escolha do primeiro local vazio para armazenamento de produtos (Koster et al., 2007).
- armazenamento dedicado: consiste no armazenamento de cada produto num local fixo. Uma desvantagem de armazenamento dedicado é que um local é reservado mesmo para produtos que não estão em *stock* (Koster et al., 2007).
- armazenamento por volume total de negócio: os produtos são distribuídos sobre uma área de armazenamento de acordo com seu volume de negócio. Os produtos com maior volume de negócio ficam localizados nos locais com fácil acesso, geralmente perto do local de expedição. De seguida são armazenados os produtos com valor médio de volume de negócio e por último são armazenados os produtos com menor volume de negócio (Koster et al., 2007).
- Armazenamento baseado em classes: consiste em agrupar produtos em classes consoante a sua taxa de rotatividade (Bahrami et al., 2011). A cada classe de produtos é atribuída uma zona de armazenamento no armazém. O método mais utilizado de atribuição de classes aos produtos é a análise ABC, que se baseia na regra de Pareto (Koster et al., 2007).

Todos estes tipos de armazenamento não envolvem possíveis relações entre produtos. Se habitualmente os clientes compram o mesmo conjunto de produtos pode ser interessante localizá-los na mesma zona de armazenamento. O agrupamento em famílias é um tipo de armazenamento que consiste em agrupar produtos similares na mesma zona de armazenamento do armazém (Koster et al., 2007).

## 2.4 Sistema de Produção

Segundo Courtois et al. (2006) um sistema de produção pode ser visto como um conjunto de elementos cuja função é converter matérias-primas em produtos pretendidos através de um processo de transformação.

As forças do mercado são cada vez mais dinâmicas e por isso requerem atividades de produção e operações eficazes de maneira a responderem rapidamente às mudanças de procura e diferenciação entre produtos (Hasan, Sarkis, & Shankar, 2012).

A produção de produtos de elevada qualidade, baixo custo e que possam chegar ao cliente no menor tempo possível (Russell & Taylor, 2011) é uma das maneiras de gerir uma instalação industrial. Uma maneira de aumentar a qualidade de produtos, reduzir custos e tempo de produção e ajudar os produtos a fluírem durante o processo de produtivo é assegurar uma boa escolha de um *layout* da instalação.

#### 2.4.1 *Layout* das Instalações

O *layout* das instalações industriais é uma maneira de organizar tudo o necessário para a produção de bens ou prestação de serviços (Drira et al., 2007). O *layout* das instalações contribui para a eficiência geral das operações e por isso requer grande importância numa organização. Existem cinco tipos de *layouts*:

- *layout* por produto ou *layout* em linha: este tipo de *layout* é instalado de acordo com as fases de fabricação do produto (Chase & Aquilano, 1995). As máquinas permanecem fixas e o produto passa por cada uma até completar o seu processamento. Geralmente este tipo de *layout* é instalado numa organização quando é produzida uma elevada quantidade de produtos de pouca variedade (Hasan et al., 2012).
- *layout* por processo: neste tipo de *layout* as máquinas são instaladas em qualquer zona da organização industrial e o produto é deslocado até às máquinas consoante as suas fases de fabricação (Chase & Aquilano, 1995). O *layout* por processo é integrado numa instalação quando o produto é fisicamente menor e contém várias variedades (Muther & Hales, 2015).
- *layout* de posição fixa: este tipo de *layout* é implementado numa organização industrial quando o produto é fisicamente grande, a quantidade de produtos a produzir é pequena ou quando o processo de produção do produto envolve apenas ferramentas manuais (Muther & Hales, 2015). Neste tipo particular de *layout*, o produto fica fixo num local e os recursos ou máquinas são movidos para executar as operações ao produto (Hasan et al., 2012).
- *layout* de tecnologia de grupo: consiste em agrupar as máquinas em células para a produção de produtos com dimensões e processos similares (Chase & Aquilano, 1995; Drira et al., 2007).
- *layout* híbrido: consiste na implementação de mais do que um tipo de *layout* numa organização industrial.

#### 2.4.2 Lean Manufacturing

O Sistema Toyota de Produção (TPS) foi desenvolvido na empresa Toyota, no Japão, por Taiichi Ohno (1988). O TPS surgiu pelo facto da diminuição da procura e da produção em massa já não se mostrar vantajosa para a empresa depois da Segunda Guerra Mundial. Para além disso, os japoneses tinham poucos recursos financeiros e pouco espaço para armazenagem. Para dar a volta as dificuldades, as indústrias japonesas juntaram-se para produzir produtos de melhor qualidade, com maior valor acrescentado e a um custo de produção ainda mais baixo do que as empresas dos restantes países. Os japoneses começaram a produzir apenas o que é preciso, quando se precisa (Sugimori, Kusunoki, Cho, & Uchikawa, 1977).

O termo *Lean Manufacturing* criado por Womack, Jones, & Roos (1990), aparece mais tarde para descrever o TPS. O *Lean Manufacturing* é traduzido como produção “magra”. Mais tarde, em 1996, Womack & Jones introduziram o conceito *Lean Thinking*, traduzido à letra como pensamento “magro”.

O conceito *Lean Thinking* foca-se essencialmente nos cinco princípios *lean*:

- especificar valor;
- identificar fluxo de valor;
- criar fluxo de valor;
- realizar fluxo puxado;
- procura contínua da perfeição.

Os cinco princípios apresentados anteriormente são fundamentais para a eliminação do desperdício no fluxo de valor (Liker & Morgan, 2006). Identificar e eliminar o desperdício consiste na eliminação de atividades nos processos de negócio ou de fabricação, que não agregam valor ao cliente (Liker, 2004). Inicialmente o desperdício pode ser facilmente detetado e as mudanças podem trazer bons valores capitais para as empresas. No entanto, é importante que a mudança seja trabalhada de forma consistente e contínua para que seja eliminada a raiz do desperdício e não só o seu sintoma (Melton, 2005). Existem sete tipos principais de desperdício.

- sobre produção: este tipo de desperdício está relacionado com a produção de uma quantidade exagerada de produtos e/ou com a produção sem pedido prévio do cliente. A sobre produção pode levar ao desperdício em mão de obra, custos de armazenamento e transporte desnecessário de produtos e ao excessivo *stock* (Liker, 2004). Adullah (2003) e Liker (2004) consideram que a sobre produção é um dos piores desperdícios por dar origem a outros desperdícios. Uma maneira de eliminar a sobre produção é reduzir a quantidade de produtos a

produzir e produzir só quando necessário, e em simultâneo reduzir os tempos de preparação dos equipamentos (Adullah, 2003).

- espera: consiste no período de tempo em que os recursos humanos, informações ou bens estão inativos. A causa da inatividade dos recursos pode ser por exemplo, para dar assistência a uma máquina ou à espera que um produto seja processado (Liker, 2004). O desperdício de espera dá origem à instabilidade dos processos e a longos prazos de entrega (Hines, Found, Griffiths, & Harrison, 2008).
- movimentação: este desperdício está relacionado com movimentos excessivos ou desnecessários dos recursos. Estes movimentos podem ser a procurar, alcançar ou empilhar produtos ou ferramentas (Liker, 2004), ou a transportar documentos e informações (Melton, 2005).
- sobre processamento: este tipo de desperdício consiste na utilização de processos desnecessários no processamento de um produto (Liker, 2004). Por vezes são utilizados métodos de forma excessiva no processo produtivo quando uma abordagem mais simples pode ser mais eficaz (Hines et al., 2008).
- *stock*: este desperdício está relacionado com o armazenamento excessivo de produto acabado, semiacabado, matérias-primas e outros (Liker, 2004). Excesso de produção de produtos e/ou compra de lotes grandes de matérias-primas são duas das causas que originam excesso de *stock* (Melton, 2005). Este tipo de desperdício provoca custos elevados e mau atendimento ao cliente (Hines et al., 2008).
- transporte: este desperdício refere-se ao transporte desnecessário de pessoas, informações ou bens (Hines et al., 2008). Exemplo deste tipo de desperdício é fazer o transporte de forma exagerada de produtos semiacabados e de matérias-primas em vez do transporte de produto acabado (Melton, 2005).
- defeitos: este desperdício está relacionado com produtos que não possuem os requisitos específicos de qualidade e/ou que não foram entregues de forma adequada ao cliente (Hines et al., 2008). As principais causas que originam o desperdício apresentado são por exemplo, erros no processamento do produto ou na documentação do lote (Melton, 2005).

Sem dúvida que a eliminação do desperdício é fulcral numa empresa, uma vez que permite a transição de valor para o cliente de forma mais clara.

## 2.5 Metodologias

### 2.5.1 Análise ABC

A análise ABC é um método de decisão que consiste em dividir os produtos em três classes consoante o seu nível de importância. Carvalho (2012) distingue as três classes da seguinte forma: a classe A corresponde aos artigos mais importantes pela sua elevada procura ou valor monetário. Para os produtos de classe A devem ser adotadas medidas estratégicas para evitar consequências desagradáveis para a empresa, como rutura ou perda de *stock*. A classe B compreende produtos com grau de importância intermédia e a classe C abrange produtos com menor valor de importância numa organização. Apesar dos produtos de classe C representarem menor valor de importância não implica que não sejam adotadas medidas de gestão dos mesmos. A análise ABC é baseada na regra de Pareto (regra 80/20). Segundo Pareto, a classe A compreende cerca de 20% dos produtos e representa aproximadamente 80% da faturação total; a classe B abrange cerca de 30% dos produtos e representa aproximadamente 15% da faturação total e por último, a classe C compreende cerca de 50% dos produtos e representa 5% da faturação total (Carvalho, 2012).

### 2.5.2 Programação Matemática

Segundo Fourer, Gay, & Kernighan (1990) o termo “programação” surge em 1940 no sentido de planear ou agendar atividades numa grande organização. As atividades eram vistas como um problema que era resolvido com o uso de variáveis e restrições, que em conjunto formulavam equações (Fourer et al., 1990; Williams, 2013). A solução de todas as restrições indicava um planeamento aceitável para todas as atividades. A experiência em resolver problemas mostrou-se difícil de modelar devido à quantidade de restrições. Quantas mais restrições o problema envolvia, poderiam aparecer soluções indesejáveis ou soluções impossíveis. Se o problema apresentasse poucas restrições resultavam várias soluções válidas para satisfazer o problema (Fourer et al., 1990). Para facilitar a escolha da melhor solução para um problema, para além das restrições surgiu um objetivo. O objetivo tinha a possibilidade de ser maximizado ou minimizado dependendo do tipo de problema e estava dependente de um número finito de variáveis que poderiam estar relacionadas ou não, com uma ou mais restrições (Bronson & Naadimuthu, 2000). Com o aparecimento do objetivo foi possível encontrar apenas uma solução que minimizasse ou maximizasse o objetivo (Fourer et al., 1990).

### 2.5.3 Programação Linear e Programação Linear Inteira

A programação linear é um método de configurar e resolver problemas de otimização matemática. Um problema é considerado um problema de programação linear se a função objetivo e as suas restrições forem funções lineares (Chase & Aquilano, 1995; Fourer et al., 1990). De uma forma mais formal este problema consiste na seleção de dados conhecidos que em conjunto com as variáveis de decisão  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , vão maximizar ou minimizar uma função objetivo dada por:

$$Z = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n$$

estando sujeita as restrições,

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

onde  $c_i$ ,  $a_i$  e  $b_i$  são constantes conhecidas.

Segundo Chase & Aquilano (1995) existem algumas condições para a programação linear:

- os recursos têm de ser limitados;
- tem de existir uma função objetivo;
- tem de existir linearidade entre as equações das restrições e função objetivo;
- os recursos têm de ser homogêneos.

Um problema de programação linear inteira é um problema de programação linear em que todas as variáveis são inteiras (Bronson & Naadimuthu, 2000) e pode ser chamado de programação linear inteira pura. Quando algumas variáveis são inteiras e outras fracionárias é chamado de programação linear inteira mista (Chase & Aquilano, 1995). Os problemas de programação linear inteira geralmente são mais difíceis de resolver do que os de programação linear (Chase & Aquilano, 1995; Fourer et al., 1990). Segundo Chase & Aquilano (1995) um problema de programação linear converge para uma solução ótima que se trata de um ponto. Quando as variáveis são números inteiros pode ocorrer uma análise a vários pontos até que seja encontrado o ponto ótimo. Este processamento torna o problema mais complexo de resolver. Em alguns casos pode não existir a garantia de que a solução ótima seja encontrada.

### 2.5.4 Métodos Heurísticos

Os métodos heurísticos consistem em encontrar uma solução viável para um problema seguindo um determinado critério. Em programação estes métodos são utilizados para resolver um problema mais

rapidamente ou para encontrar uma solução aproximada quando um método exato não consegue encontrar (Desale, Rasool, Andhale, & Rane, 2015). Os principais métodos heurísticos são:

- Heurísticas Construtivas: consistem em obter uma solução através da introdução de elementos de um problema, de iteração em iteração. Esta heurística não garante que seja encontrada a solução ótima. As heurísticas construtivas são muito utilizadas como ponto de partida em outras heurísticas.
- Heurísticas de Melhoria: estas heurísticas consistem em fazer pequenas alterações de iteração em iteração numa solução já conhecida, de forma a obter melhorias na solução. Esta heurística não garante que seja encontrada a solução ótima.
- Meta-heurísticas: consistem em encontrar uma solução partindo de uma solução já existente. As meta-heurísticas funcionam através de iterações e não garantem que seja encontrada a solução ótima (Desale et al., 2015). Este tipo de heurística é muito procurado para resolução de problemas de grande dimensão. A principal vantagem das meta-heurísticas é fornecer soluções de qualidade num curto espaço de tempo.



### 3. A EMPRESA

Neste capítulo será apresentada a empresa onde foi desenvolvido o presente projeto de dissertação. Neste sentido, é feita a identificação da empresa, uma breve descrição da sua história e explicação do funcionamento das áreas do armazém e da produção da empresa.

#### 3.1 Copefi

A Copefi é uma empresa Tier 2 internacional, que produz componentes plásticos injetados para a indústria automóvel. Esta empresa foi fundada em Braga, Portugal, em 2001. Posteriormente, alargou os seus conhecimentos para locais estratégicos, como a Roménia, em 2004, para atender a todos os mercados da Europa Oriental e Ocidental, a Alemanha, em 2014, o México, em 2016, para servir o bloco económico o NAFTA, e mais recentemente para França, no presente ano. Atualmente, conta com mais de 200 colaboradores. A Figura 7 representa o logótipo da empresa e a Figura 8 apresenta a planta da estrutura da empresa de Braga, onde foi realizado o estágio curricular.



Figura 7: Logótipo da Empresa

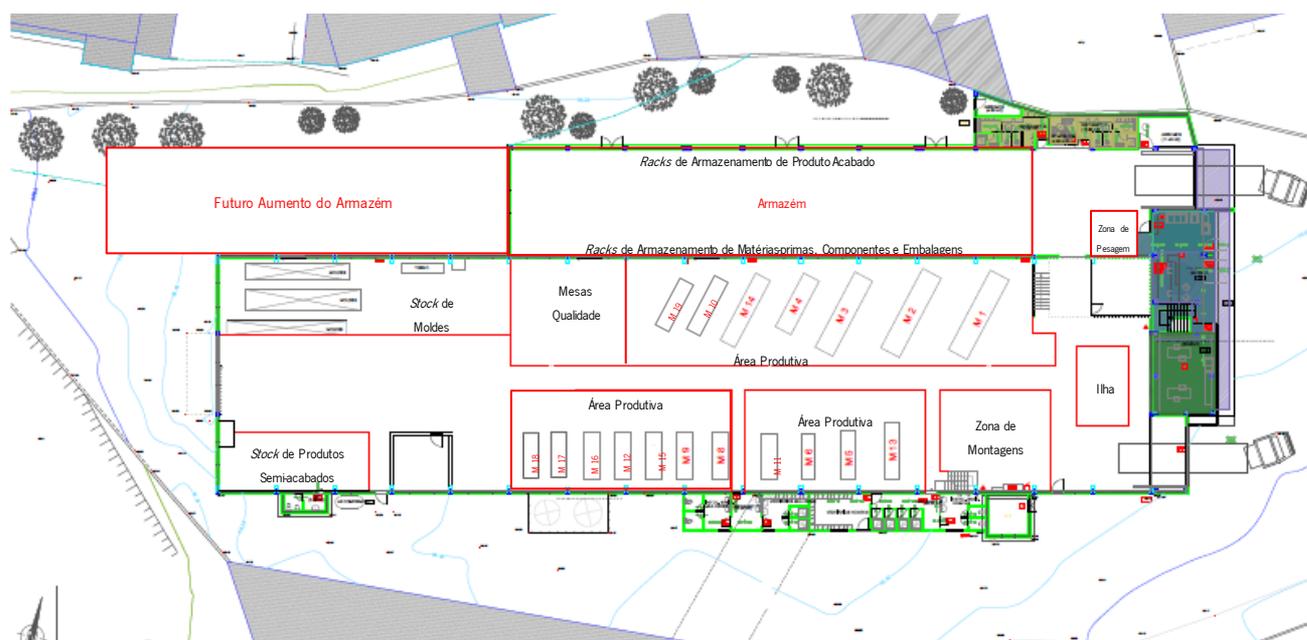
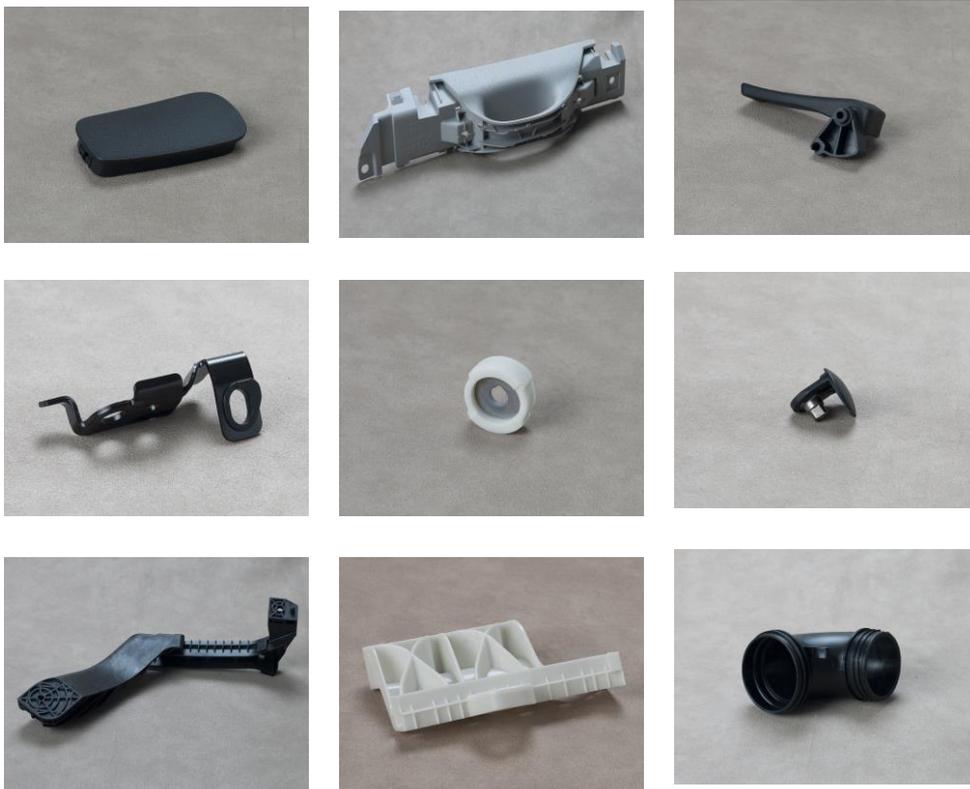


Figura 8: Planta da Copefi de Braga

## 3.2 Produtos

A empresa onde se desenvolveu este projeto trabalha com mais de 600 referências que vão desde peças motoras e técnicas, até peças visuais. A maior parte das peças têm uma estrutura de plástico, mas algumas são injetadas em componentes de metal. A Figura 9, representa algumas das peças produzidas na Copefi.



*Figura 9: Alguns dos Produtos Fabricados na Copefi*

## 3.3 Clientes

Os clientes da Copefi estão localizados por todo o mundo. A maior parte dos clientes estão localizados na Ásia, de seguida nas Américas, depois na Europa e por último em África. A Copefi fornece para empresas Tier 1 e está presente nas principais marcas OEMs. Alguns dos seus principais clientes estão mencionados na Figura 10.



Figura 10: Alguns dos Clientes da Copefi

A empresa ainda conta com um departamento de investigação, onde contactam diariamente com clientes para desenvolvimento de novos projetos. Também garante serviços de design, protótipos e ferramentas, gestão total do Processo de Aprovação da Peça de Produção (PPAP), metrologia e atendimento ao cliente pós-venda, destacando-se assim no mercado.

### 3.4 Sistema de Informação

Em 2008, a Copefi, implementou pela primeira vez um *Enterprise Resource Planning Systems* (ERP). O ERP utilizado é o *Libra* e é responsável pelo armazenamento de dados, planeamento das necessidades dos recursos e planeamento de todos os processos inerentes à expedição. A maior parte das encomendas são processadas por *Electronic Data Interchange* (EDI), onde são trocadas informações acerca de novos pedidos de encomendas, sendo que algumas têm de ser inseridas de forma manual. Neste momento, encontra-se em estudo uma nova funcionalidade para a empresa que consiste na implementação de um sistema de código de barras que ajudará na localização do *stock* do armazém.

### 3.5 Armazém

Atualmente o armazém é constituído por um corredor com dois conjuntos de *racks* dispostas na vertical, encostadas nas paredes. Num dos lados tem 13 *racks* destinadas ao armazenamento de matérias-primas, componentes e embalagens e do outro lado existe 12 *racks* onde é armazenado apenas

produto acabado. O armazém tem um comprimento de 45,61 metros e largura de 9,03 metros. A Figura 11 representa a disposição do armazém e das *racks* de armazenamento.



Figura 11: Layout do Armazém

No total existem 25 *racks* de armazenamento. Com o aumento das instalações vão ser projetadas mais 19 *racks*, 9 destinadas a matérias-primas, componentes e embalagens e 10 para armazenamento de produto acabado. Depois das obras terminadas o armazém terá uma capacidade para armazenamento de 44 *racks*. A forma como estão dispostas as *racks* de armazenamento no momento atual será a mesma depois do aumento do armazém. O produto acabado é armazenado por grupos de famílias de clientes. Junto da saída para expedição estão armazenados os produtos que saem diariamente, de seguida os que saem semanalmente e depois os que saem mensalmente. Em relação às matérias-primas e restantes produtos, estes são armazenados num local reservado, conhecido como armazenamento dedicado.

As principais operações do armazém são: receção, conferência, pesagem, arrumação, *picking*, preparação e expedição. As matérias-primas quando chegam à Copefi são conferidas por um colaborador do armazém. A conferência consiste em examinar se foi efetuada uma encomenda da matéria-prima recebida, se as quantidades coincidem com o pedido da encomenda e se as matérias-primas se enquadram nos requisitos de qualidade, sendo que está última é conferida por um engenheiro de qualidade. Posteriormente, o produto é arrumado num local reservado quando é uma pequena quantidade ou num local aleatório quando se trata de uma grande quantidade. Alguns dos produtos produzidos têm de passar por um processo de pesagem. Geralmente são pesadas as peças de menor volume. Depois das peças serem pesadas são armazenadas no armazém num local desocupado da *rack* de armazenamento onde pertence, consoante o tipo de cliente. O processo de *picking* é efetuado com a ajuda de uma folha de carga, que contém o registo da encomenda solicitada pelo cliente. A folha de carga contém as quantidades pedidas em caixas ou em paletes. O tipo de *picking* utilizado é o *picking by order*, em que um colaborador recolhe todos os produtos apenas para uma encomenda. Ao recolher a encomenda é utilizado o FIFO (*First In, First Out*), isto é, o primeiro produto a entrar no armazém, também é o primeiro a sair. As encomendas são preparadas no dia da sua expedição quando se trata

de pequenas encomendas. Quando uma encomenda envolve uma grande quantidade de produtos são preparadas pelo menos dois dias antes da sua expedição. As encomendas saem em paletes e são organizadas por dias numa fila no armazém fazendo a utilização do LIFO (*Last In, Fisrt Out*), isto é, a última paleta da fila é a primeira a ser expedida. O carregamento da encomenda é efetuado por colaboradores da empresa.

### 3.6 Produção

Na produção atualmente estão em funcionamento 18 máquinas injetoras a produzir diariamente, sendo que pelo menos três estão em funcionamento para a realização de ensaios a novos projetos. Estas máquinas injetoras têm uma força de fecho entre 50 e 480 toneladas. Todas as máquinas têm um funcionamento autónomo, no entanto quando se trata de peças constituídas por componentes metálicos é necessária a inserção dos componentes de forma manual.

O *layout* da área de produção é o apresentado na Figura 12, composto por um *layout* por processo, uma vez que o produto é deslocado consoante as suas fases de fabricação.



Figura 12: Layout da Produção



## 4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo são descritos os problemas detetados na empresa nas áreas do armazém e produção. Depois de apresentado o problema a ser resolvido serão expostos todos os dados que lhe são inerentes.

### 4.1 Armazém e Produção

Durante o percurso de estágio foram identificados alguns problemas nas duas áreas em estudo, a produção e o armazém. No entanto, este projeto de dissertação foi desenvolvido com principal foco na área do armazém com a finalidade de criar também melhorias para a área da produção.

No armazém, para além de ser armazenado produto acabado, são também armazenadas matérias-primas, componentes e embalagens. Porém, este projeto desenvolveu-se em torno do armazenamento do produto acabado. Na situação atual, não é possível a alocação de todo o produto acabado no armazém. O armazém está completamente lotado e os produtos são armazenados no corredor do armazém, no corredor de acesso ao armazém e por vezes também no corredor na zona de produção junto das máquinas. A falta de espaço para o armazenamento traz anomalias ao fluxo e processos dos materiais, assim como também, dificuldades de acessibilidade às *racks* de armazenamento. As anomalias indicadas afetam também a produção. Os colaboradores responsáveis por uma célula produtiva fazem deslocações ao armazém para fazer o seu abastecimento. A falta de acessibilidade às *racks* compromete os níveis de produtividade. Os colaboradores ao deslocarem-se ao armazém não estão a acrescentar nenhum valor ao produto originando desperdícios de movimentação, espera e transporte, três dos sete desperdícios do *Lean Manufacturing*.

A falta de espaço para o armazenamento nas *racks* deve-se essencialmente ao início da produção em série de novos produtos e também por não ser praticado na totalidade o JIT (*Just-In-Time*), isto é, produzir na quantidade certa e no tempo certo. Isto acontece, devido a normas instituídas às organizações no setor da indústria automóvel. Uma dessas normas é a IATF 16949 que consiste numa norma de sistemas de gestão de qualidade. Os princípios fundamentais da norma IATF são:

- foco no cliente;
- liderança;
- envolvimento das pessoas;
- gestão por processos;
- melhoria;

- decisões baseadas em factos;
- gestão das relações.

Tendo em conta a norma apresentada são estabelecidos requisitos entre o cliente e a empresa. Um requisito explícito pelo cliente é a imposição de uma percentagem acrescida à procura habitual. Isto é, para além de ser efetuada uma produção para satisfazer uma encomenda é também produzida uma percentagem a mais dessa produção, que deve ser armazenada como *stock* de segurança. Este tipo de requisito faz com que sejam eliminados ou minimizados riscos que podem ocorrer, por exemplo, o aumento de produção, avaria de máquinas, greves, entre outros. Esta é uma das causas para a falta de equilíbrio entre a produção e o armazém.

Outro aspeto e não menos importante, para a falta de espaço para armazenamento de produto acabado é a existência de espaços ocupados nas *racks* com obsoletos. Alguns espaços estão ocupados com produtos que deixaram de ser produzidos em série e têm de ser guardados durante um longo período de tempo para satisfazer pedidos do cliente que eventualmente possam ocorrer. Na verdade, os produtos no caso de pedidos do cliente poderiam ser produzidos a qualquer momento porque o molde das peças tem de permanecer durante alguns anos também na empresa. No entanto, com o passar dos anos o molde vai-se degradando e para atenuar custos desnecessários na sua reparação ou manutenção é preferível um *stock* de peças. Contudo, existe um total de 26 espaços nas *racks* ocupados com obsoletos. Outra dificuldade que implica a falta de espaço para armazenamento no armazém é a forma como foram estabelecidas as medidas dos atuais níveis das *racks*. Cada *rack* é dividida verticalmente em níveis de armazenamento pela introdução de barras horizontais. A numeração dos níveis de uma *rack* processa-se do chão para cima, atribuindo-se o valor zero ao nível junto ao chão. Um exemplo deste problema é visível no Nível 0, da *Rack Y*, apresentado na Figura 13. O nível mencionado tem armazenada uma palete com três fiadas de caixas de 20cm de altura dando um total de 60cm de altura das caixas. É visível a olho nu que é possível alocar neste nível, independentemente da altura do estrado da palete e da altura de manuseio da palete, caixas sobrepostas até 70cm. No entanto, não existe nenhum tipo de embalagem que se contemple nesse valor. É perceptível a divisão de níveis da *Rack Y* mal concebida. Também no Nível 1 da mesma *rack* existe um problema de sobreposição de caixas. Existem caixas de 14cm de altura sobrepostas em excesso da divisão definida. Este problema podia ser resolvido baixando a barra metálica do Nível 0, 10cm, e assim ganhava-se 10cm no Nível 1. Assim, era possível obter a alocação da última fiada de caixas de 14cm de forma correta no Nível 1. O problema de divisões mal estruturadas foi identificado em outras *racks* de armazenamento.

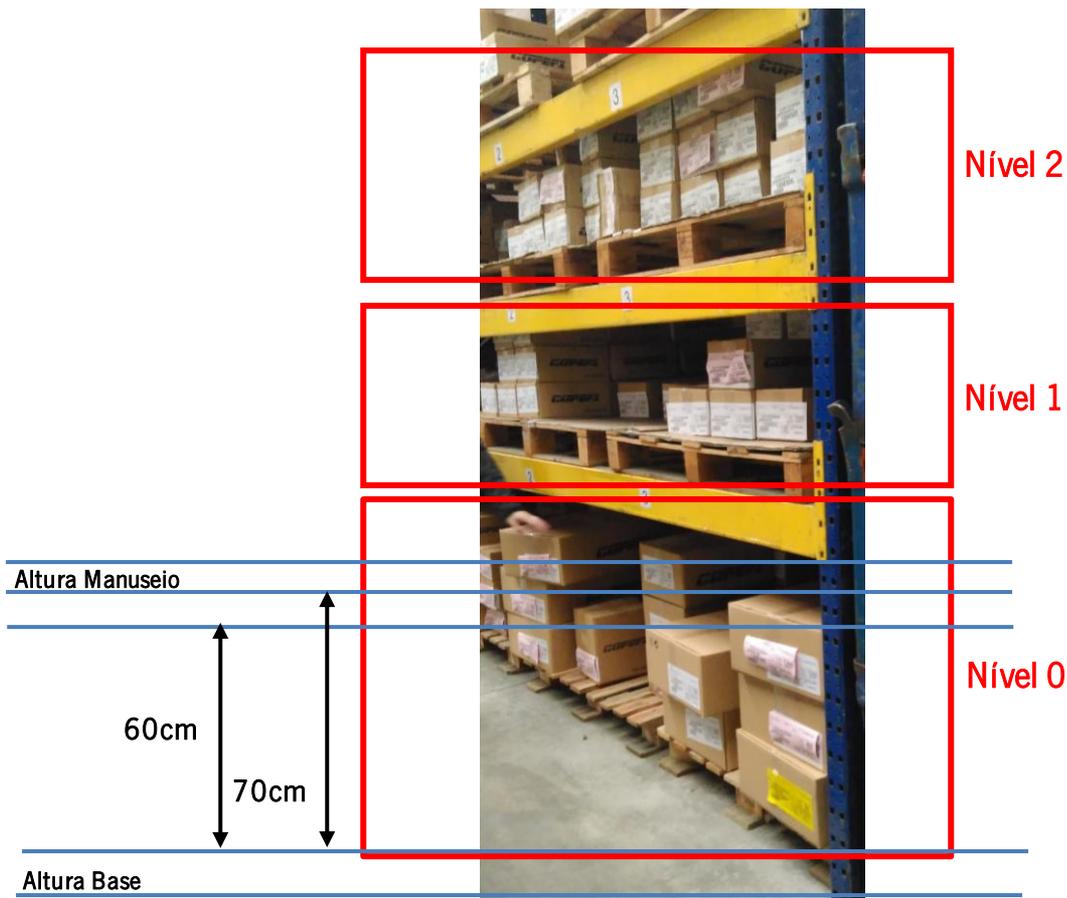


Figura 13: Rack Y do Armazém

De todos os problemas levantados sobre a falta de espaço para armazenamento de produto acabado no armazém, o problema de divisões mal estruturadas nas *racks* de armazenamento mostra-se mais interessante e com maior margem para ser trabalhado.

Apesar de ser escolhido apenas um problema para ser desenvolvido no projeto, recomenda-se um estudo e implementação de um sistema *kanban* associado a um comboio logístico. Um comboio logístico, também conhecido pelo nome inglês, *milk-run* consiste num sistema de logística interno com o objetivo de entregar o material necessário num local. O *kanban* é um cartão que consiste em informar um colaborador do comboio logístico sobre a quantidade necessária e o local a entregar o material. A implementação destes sistemas seria no abastecimento às células produtivas. Este tipo de metodologia é importante porque passaria a ser efetuado apenas por um colaborador e não por alguém que está responsável por uma célula produtiva. Este procedimento ajudará na eliminação de movimentos desnecessário, aumentará os níveis de produtividade e ajudará na organização no *stock* de matérias-primas, componentes e embalagens.

## 4.2 Levantamento e Tratamento de Dados

O problema a ser resolvido é estabelecer uma divisão mais adequada para os níveis das *racks* de armazenamento atuais e também para as *racks* que vão ser adquiridas aquando do alargamento do armazém. Neste problema vão considerar-se as necessidades atuais da empresa com vista a eliminar os principais desperdícios detetados. De acordo com o problema apresentado foram levantados e analisados dados relativos aos recursos envolvidos.

### 4.2.1 *Racks* de Armazenamento de Produto Acabado

As *racks* de armazenamento atuais têm alturas possíveis de 577cm e 519cm. Para o desenvolvimento do projeto é importante estabelecer só a altura mais alta. Quanto maior a altura de uma *rack* de armazenamento, maior será a quantidade de produto acabado armazenado. Não pode ser estabelecida uma altura maior, porque 577cm é considerada a altura de limite de elevação dos garfos dos empilhadores. A largura das *racks* de armazenamento é de 339cm a contar com largura das barras laterais. Se não for contabilizada a medida das barras laterais a largura é 320cm e é considerada a medida de largura de um nível. A Figura 14 representa as dimensões das *racks*.



Figura 14: Dimensão das *Racks* de Armazenamento

No esquema apresentado na Figura 14 a *rack* foi dividida em quatro níveis. A separação de níveis nas *racks* de armazenamento é efetuada através da colocação de barras metálicas horizontais conforme o indicado na Figura 15. Nas *racks* do armazém atual, todas as barras têm um comprimento de 339cm e altura de 9 ou 13cm. Para o desenvolvimento do projeto é preferível que seja adquirida a menor largura, a que possibilita a hipótese de ocupar um volume menor nas *racks* de armazenamento.

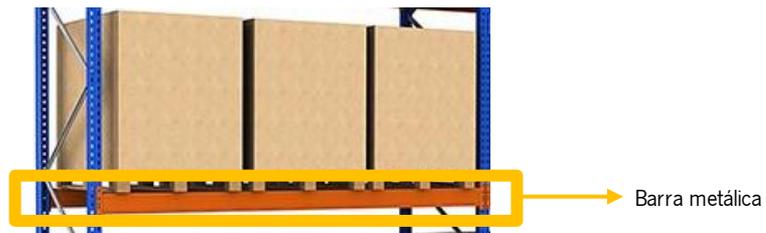


Figura 15: Barra Metálica

Uma característica importante nas *racks* de armazenamento é a forma como são posicionadas as barras metálicas (horizontais) nas *racks*. Só podem ser estabelecidos posicionamentos das barras metálicas em níveis com alturas que sejam múltiplos 7,5cm como pode ser observado na Figura 16.

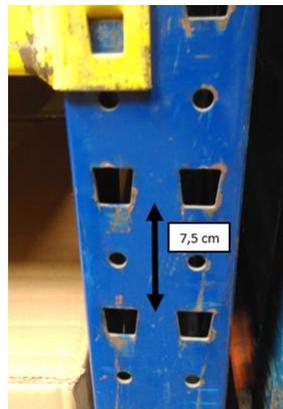


Figura 16: Posicionamento das Barras Metálicas

#### 4.2.2 Dimensões das Paletes e Medida de Manuseio

Existem dois tipos de paletes utilizadas pela empresa, as paletes industriais, as mais utilizadas, e as europaletes. Apesar de terem igual comprimento, as paletes têm diferentes larguras. Em relação à altura existiam várias alturas para os dois tipos de paletes e por isso, foi estipulada a altura mais alta observada. Estas medidas estão definidas na Tabela 1. Foi considerada uma medida de manuseio referente à altura necessária para manusear uma paleta dentro de um nível de uma *rack*. A medida de manuseio está também apresentada na Tabela 1 e ilustrada na Figura 17.

Tabela 1: Dimensões das Paletes e Medida de Manuseio

	c (cm)	l (cm)	h (cm)
<b>Europaleta</b>	120	80	15
<b>Paleta Industrial</b>	120	100	15
<b>Medida de Manuseio</b>	-	-	4

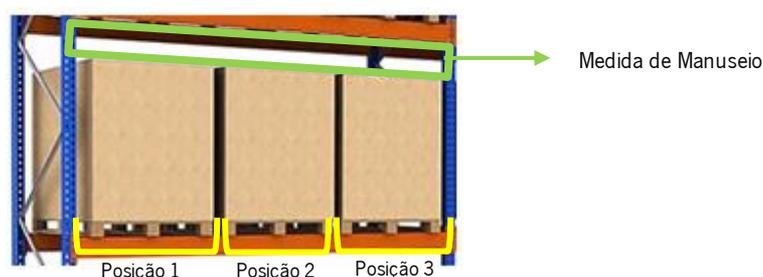


Figura 17: Ilustração da Medida de Manuseio e das Posições do Nível

Um nível (de armazenamento) é dividido em posições de armazenamento, numerando-se da esquerda para a direita. Neste projeto, o número máximo de posições existentes num nível é 4 e depende da largura das paletes colocadas no nível. Como já foi referido anteriormente, a largura de um nível é de 320cm e as larguras das paletes são de 100cm no caso de paletes industriais e 80cm no caso de europaletes. Assim, é possível alocar a seguinte quantidade de paletes num nível:

- quatro europaletes resultando 320cm de largura total representando quatro posições num nível;
- três paletes industriais resultando 300cm de largura total representando três posições num nível;
- duas paletes industriais e uma europaleta resultando 280cm de largura total representando três posições num nível;
- uma paleta industrial e duas europaletes resultando 260cm de largura total representando três posições num nível.

Na Figura 17, em cima, estão assinaladas a amarelo três posições num nível.

#### 4.2.3 Dados Referentes ao Produto Acabado

Os dados fornecidos pela empresa relativamente ao produto acabado dizem respeito a consumos semanais e mensais da procura de cada cliente. Ao todo constam 256 referências de produto acabado armazenado em paletes industriais e 25 referências de produto acabado armazenado em europaletes. Os valores foram fornecidos em caixas e transformados posteriormente a valores em paletes. Ao

transformar os valores para paletes foi tida em consideração o tipo de palete, a dimensão da embalagem onde os produtos são armazenados e a quantidade de caixas por palete consoante o tipo de cliente. Com a ajuda do site de Bruijn, Oosting, Gierveld, & Bosch (1973) foi possível obter a altura total das caixas sobrepostas numa palete. À altura total das caixas sobrepostas foi somada a altura do estrado da palete e a altura de manuseio. Também foi calculada a altura que deve ser posicionada uma barra metálica considerando as alturas das paletes. Os cálculos efetuados para o produto acabado armazenado em paletes industriais deu origem a um total de 403 paletes com 16 tipos de alturas diferentes. Todos os resultados estão presentes na Tabela 2.

*Tabela 2: Alturas das Paletes Industriais*

Altura das Caixas (cm)	Nº de Paletes	Altura c/ Estrado da Palete (cm)	Altura c/ Medida de Manuseio (cm)	Altura Posicionamento Barra Metálica (cm)
14	49	29	33	37,5
20	65	35	39	45
22	2	37	41	45
23	2	38	42	45
27	6	42	46	52,5
28	7	43	47	52,5
30	9	45	49	52,5
40	49	55	59	60
42	1	57	61	67,5
60	174	75	79	82,5
64	1	79	83	90
64,2	1	79,2	83,2	90
80	16	95	99	105
90	17	105	109	112,5
96	2	111	115	120
100	2	115	119	120
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>403</b>		

No caso do produto armazenado em europaletes consoante os valores apresentados na Tabela 3 foram obtidas como total 49 paletes com 6 tipos de altura diferentes.

*Tabela 3: Alturas das Europaletes*

	Altura das Caixas (cm)	Nº de Paletes	Altura c/ Estrado da Paleta (cm)	Altura c/ Medida de Manuseio (cm)	Altura Posicionamento Barra Metálica (cm)
	20	6	35	39	45
	30	4	45	49	52,5
	40	3	55	59	60
	42	2	57	61	67,5
	60	10	75	79	82,5
	90	24	105	109	112,5
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>49</b>			

#### 4.2.4 Análise ABC

Foi elaborada uma Análise ABC para perceção de quais os produtos possuem maior importância para a empresa. Os produtos de maior importância devem estar alocados em locais de fácil acesso, a fim de diminuir desperdícios como, movimentações e tempos de *picking*. Para esta análise foi usado o critério de frequência de saída de cada produto no ano de 2017. Esta análise não inclui o valor monetário dos produtos. Com este estudo pretende-se realizar uma alocação dos produtos nas *racks* de armazenamento segundo a sua classe. Os produtos de classe A serão alocados nas *racks* mais próximas da saída para expedição, de seguida os produtos de classe B e por último, os produtos de classe C. A análise foi efetuada de forma separada para os dois tipos de paletes. Para o caso de paletes industriais foram utilizadas 256 referências. A Tabela 4 traduz os resultados obtidos.

*Tabela 4: Resultados Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Relativamente aos Produtos Armazenados em Paletes Industriais*

Classes	Percentagem de Divisão em Classes	Quantidade de Produtos	Percentagem de Produtos	Percentagem de Saídas dos Produtos
A	80%	102	39,84%	79,94%
B	15%	77	30,08%	14,95%
C	5%	77	30,08%	5,11%

Consoante os dados fornecidos pela análise pode-se concluir que a classe A é constituída por 102 produtos, que corresponde a 39,84%. Estes produtos representam 79,94% de saídas do armazém para o cliente. A classe B corresponde a 77 produtos que corresponde a 30,08% e representa 14,95% de saídas do armazém para o cliente. A classe C, compreende 77 produtos que corresponde a 30,08%. Esta classe de produtos representa 5,11% de saídas do armazém para o cliente. Não se verifica a chamada regra “80/20”. Esta regra podia ser visível se a empresa onde foi realizado este projeto tivesse facultado o valor monetário de cada produto para juntar à análise. A Figura 18, corresponde ao gráfico dos valores na curva de Pareto.

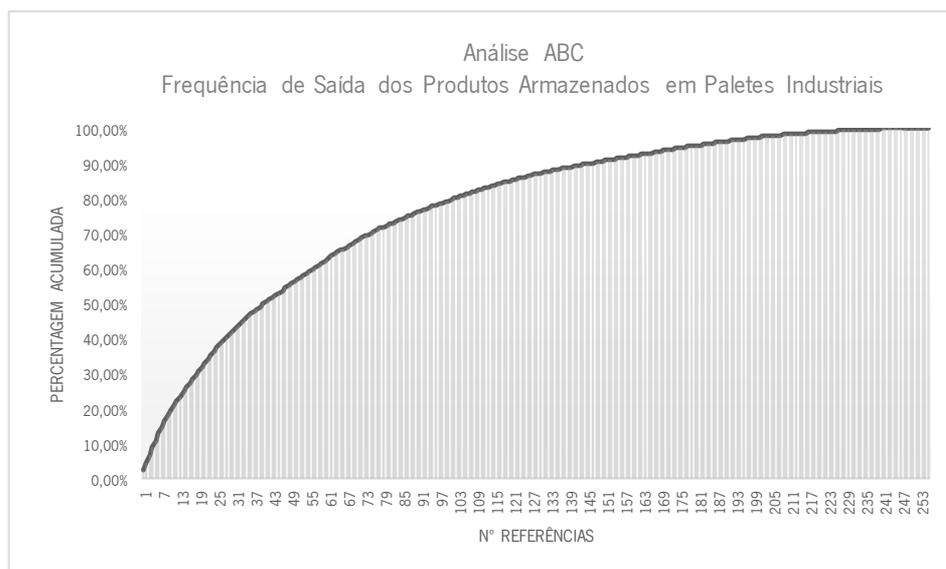


Figura 18: Gráfico Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Retrativamente aos Produtos Armazenados em Paletes Industriais

Verifica-se uma distribuição de acordo com a medida 60-40 o que permite deduzir uma maior dificuldade na afetação dos produtos às *racks* que minimize as distâncias percorridas.

Em relação ao produto acabado armazenado em europaletes foram utilizadas 25 referências para realização da análise ABC. A Tabela 5 traduz os resultados obtidos.

Tabela 5: Resultados Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Retrativamente aos Produtos Armazenados em Europaletes

Classes	Percentagem de Divisão em Classes	Quantidade de Produtos	Percentagem de Produtos	Percentagem de Saídas dos Produtos
A	80%	13	52%	76,67%
B	15%	7	28%	17,67%
C	5%	5	20%	5,67%

Os resultados obtidos exibem que a classe A compreende 13 produtos correspondendo a 52%. Estes produtos correspondem a 76,67% de saídas do armazém para o cliente. A classe B é constituída por 7 produtos que corresponde a 28% e representa 17,67% de saídas do armazém para o cliente. A classe C corresponde a 5 produtos, que corresponde a 20% e representa 5,67% de saídas do armazém para o cliente. Para a análise ABC efetuada para os produtos armazenado em europaletes também não se verifica a regra “80/20” pelo mesmo motivo apresentado anteriormente. A curva de Pareto da análise ABC efetuada às europaletes está representada na Figura 19.

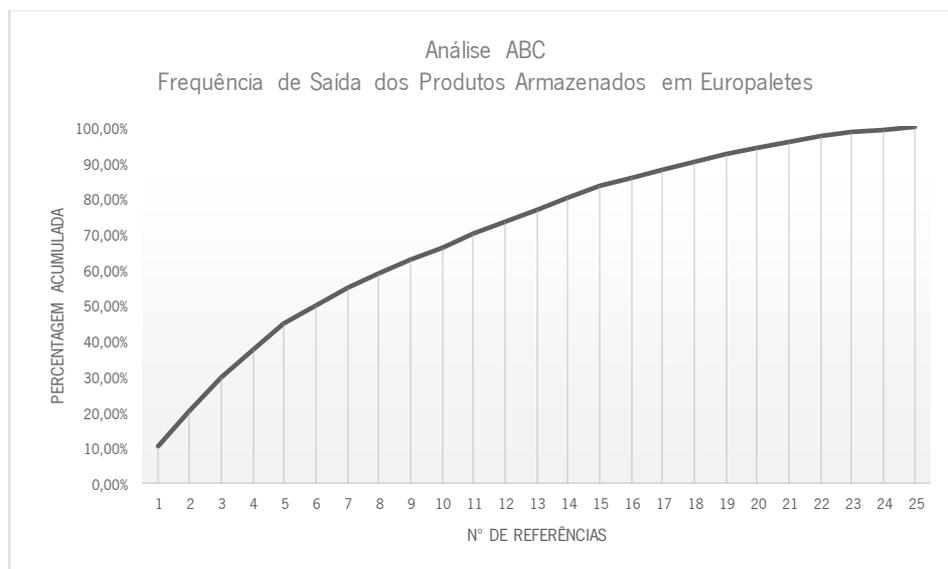


Figura 19: Gráfico Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Retrativamente aos Produtos Armazenados em Europaletes

## 5. RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo serão apresentadas soluções para o problema do presente projeto de dissertação. Serão apresentadas soluções através da programação linear e métodos heurísticos.

### 5.1 Heurísticas construtivas

A utilização de métodos heurísticos, mais precisamente, heurísticas construtivas foi uma das metodologias utilizadas para solucionar o problema. Este método consiste no desenvolvimento de uma solução viável, que segue algum tipo de critério estabelecido. Estas heurísticas, para além de encontrarem uma solução válida para o problema, serão importantes para tomar decisões e estabelecer uma melhor interação com o problema real. Foram desenvolvidas duas heurísticas através do *Microsoft Office Excel*. As duas construções consistem em alocar as paletes de produto acabado nas *racks* de armazenamento seguindo os seguintes critérios:

- minimizar o desperdício entre as alturas das paletes alocadas em cada nível;
- minimizar as movimentações fazendo uma alocação seguindo as classes ABC dos produtos;
- só é possível alocar produtos até 22 *racks*;
- as *racks* de armazenamento só podem atingir uma altura menor ou igual a 577cm;
- sempre que um nível se completa, em posições, é colocada uma barra metálica de 9cm. A altura do nível deve ser ajustada a um valor múltiplo de 7,5cm (valor de posicionamento da barra metálica) e deve incluir a altura máxima da paleta alocada no nível e a altura da barra metálica;
- as paletes com a mesma referência devem ser alocadas em locais próximos, isto é, nas posições do mesmo nível, em níveis vizinhos da mesma *rack*, e se necessário em *racks* consecutivas;
- depois da solução ser encontrada os níveis devem ser organizados de forma crescente conforme a sua altura em cada *rack*.

É importante referir que:

- num nível é possível alocar três paletes industriais ou quatro europaletes;
- a numeração dos níveis é efetuada começando no número zero. O nível zero representa o nível do solo.

### 5.1.1 Heurística Construtiva 1

A Heurística Construtiva 1 foi efetuada em duas fases, separando as paletes industriais das europaletes. Esta heurística é construída seguindo o valor de rotatividade de cada produto sempre que possível. O produto com a taxa de rotatividade mais alta é alocado em primeiro lugar criando assim o primeiro nível. Se o próximo produto tiver a mesma altura do anterior é alocado no mesmo nível, caso contrário o produto é alocado no nível consecutivo e assim sucessivamente. A heurística apesar de ter em conta os critérios apresentados no início é construída de forma a criar uma uniformidade em relação à altura dos níveis e à quantidade de níveis por racks. Por exemplo, se for alocado no Nível 0 da Rack 1 uma paleta com 33cm de altura, no Nível 0 da Rack 2 deve ser alocada um paleta de igual altura e assim sucessivamente para as restantes racks. E se forem criados 5 níveis na Rack 1, na Rack 2 devem ser criados também 5 níveis.

- Caso paletes industriais

A solução encontrada para o caso de paletes industriais está representada na Figura 20. O “x” representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da rack.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6			Rack7			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	
Nível 0	33 - PA305	33 - PA485	33 - PA40	33 - PA391	33 - PA390	33 - PA392	33 - PA498	33 - PA453	33 - PA31	39 - PA443	39 - PA448	39 - PA440	33 - PA137	33 - PA91	33 - PA92	33 - PA96	33 - PA138	33 - PA52	33 - PA44	33 - PA534	33 - PA429	
Nível 1	47 - PA458	47 - PA42+PA519+PA520	46 - PA25	47 - PA29	47 - PA30	47 - PA28	47 - PA87	42 - PA262	42 - PA266	46 - PA394	46 - PA394	39 - PA636	49 - PA567	49 - PA565	39 - PA447	39 - PA535	39 - PA546	39 - PA604	39 - PA313	39 - PA444	39 - PA445	
Nível 2	59 - PA133	59 - PA382	59 - PA383	59 - PA90	59 - PA89	59 - PA332	61 - PA112	33 - PA112	33 - PA281	59 - PA442	59 - PA441	59 - PA555	59 - PA551	59 - PA545	59 - PA550	59 - PA552	59 - PA606	59 - PA549	47 - PA635	46 - PA102	46 - PA53	
Nível 3	79 - PA457	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA328														
Nível 4	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA328														
Nível 5	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA328														
Nível 6	83,2-PA387	79-PA381	59 - PA381	79 - PA229	79 - PA229	79 - PA230	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA627	79 - PA627	79 - PA627	79 - PA328									
Nível 7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

	Rack8			Rack9			Rack10			Rack11			Rack12			Rack13			Rack14		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA143	33 - PA144	33 - PA213	33 - PA304	33 - PA54	33 - PA105	33 - PA103	33 - PA104	33 - PA106	33 - PA296	33 - PA432	33 - PA161	33 - PA140	33 - PA428	33 - PA643	39 - PA514	39 - PA160	39 - PA300	39 - PA301	39 - PA156	39 - PA157
Nível 1	39 - PA290	39 - PA564	39 - PA165	59 - PA517	59 - PA515	59 - PA511	39 - PA164	39 - PA356	39 - PA380	33 - PA295	33 - PA533	33 - PA162	39 - PA594	39 - PA159	39 - PA513	49 - PA7	49 - PA9	39 - PA270	59 - PA491	59 - PA493	59 - PA496
Nível 2	39 - PA163	39 - PA343	39 - PA497	59 - PA70	59 - PA71	59 - PA75	79 - PA608	79 - PA608	59 - PA608	39 - PA455	39 - PA489	39 - PA495	39 - PA259	39 - PA142	39 - PA258	79 - PA7	79 - PA9	79 - PA270	59 - PA68	59 - PA69	59 - PA77
Nível 3	49 - PA316	49 - PA407	49 - PA408	79 - PA384	39 - PA384	39 - PA505	79 - PA607	79 - PA607	59 - PA607	39 - PA509	39 - PA507	39 - PA256	79 - PA259	79 - PA142	79 - PA258	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA264	79 - PA264	79 - PA264
Nível 4	79 - PA238	79 - PA238	79 - PA238	79 - PA568	79 - PA315	59 - PA490	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA509	79 - PA507	79 - PA256	79 - PA207	79 - PA207	79 - 605150042	109 - PA528	109 - PA528	109 - PA524	109 - PA525	109 - PA525	109 - PA529
Nível 5	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA600	79 - PA600	79 - PA600	79 - PA622	79 - PA622	79 - PA622	79 - PA261	79 - PA261	79 - PA261	79 - PA378	79 - PA378	79 - 605150041	119 - PA484	119 - PA484	109 - PA524	109 - PA527	109 - PA527	109 - PA529
Nível 6	79 - PA357	79 - PA357	79 - PA357	79 - PA601	79 - PA601	79 - PA601	79 - PA548	79 - PA512	79 - PA512	79 - PA261	79 - PA583	79 - PA583	115 - PA260	115 - PA260	83 - PA260	x	x	x	x	x	x
Nível 7	79 - PA358	79 - PA358	79 - PA358	x	x	x	x	x	x	79 - PA208	79 - PA208	79 - PA385	x	x	x	x	x	x	x	x	x

	Rack15			Rack16			Rack17			Rack18			Rack19			Rack20				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3		
Nível 0	33 - PA139	33 - PA642	33 - PA584	33 - PA83	33 - PA333	33 - PA350	33 - PA299	33 - PA393	33 - PA85	39 - PA651	33 - PA645	33 - PA637	59 - PA67	59 - PA647	59 - PA648	59 - PA672				
Nível 1	39 - PA158	39 - PA166	39 - PA593	39 - PA154	39 - PA155	39 - PA355	39 - PA646	39 - PA446	39 - PA596	39 - PA654	39 - PA655	39 - PA657	59 - PA55	59 - PA57	59 - PA58	79 - PA237				
Nível 2	46 - PA163	41 - PA274	41 - PA275	39 - PA499	39 - PA542	39 - PA595	39 - PA597	39 - PA603	39 - PA570	39 - PA531	39 - PA532	39 - PA660	59 - PA670	39 - PA639	39 - PA508	79 - PA237				
Nível 3	59 - PA354	59 - PA65	49 - PA269	59 - PA66	59 - PA74	59 - PA134	59 - PA386	59 - PA500	59 - PA64	79 - PA531	79 - PA532	79 - PA640	79 - 605150032	79 - PA639	79 - PA345					
Nível 4	79 - PA318	79 - PA319	79 - PA320	79 - PA321	79 - PA494	79 - PA329	79 - PA330	79 - PA500	79 - PA344	79 - PA641	79 - PA641	79 - 605150031	79 - PA502	79 - PA502	79 - PA502					
Nível 5	99 - PA526	99 - PA522	49 - PA656	99 - PA523	99 - PA395	59 - PA395	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA501	59 - PA501	79 - PA502					
Nível 6	109 - PA526	109 - PA522	109 - PA656	109 - PA523	99 - PA486	99 - PA298	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA492	99 - PA590	99 - PA591	x	x	x					
Nível 7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					

Figura 20: Conjunto de Figuras do Resultado da Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Palletes Industriais

Não foi possível manter a uniformidade entre a altura e a quantidade de níveis, de rack em rack, devido ao facto de aproveitar ao máximo a altura total das racks para diminuir o desperdício. À medida que a solução heurística foi desenvolvida, foi cada vez mais difícil aproveitar o espaço num nível devido à diferença de alturas nas paletes com referências iguais. Por exemplo, como pode ser visto na Figura 21, na Rack 3, Nível 2 está alocado o PA112 (PA-Produto Acabado), que compreende duas paletes com alturas bastante diferentes. Uma das paletes mede 61cm e a outra mede 33cm, com uma diferença de

28cm, entre as duas. A diferença de alturas entre as duas paletes está relacionada com a quantidade de fiadas de caixas. Devido à quantidade de produtos pedida pelo cliente não é possível completar a palete que contém a menor altura com a mesma quantidade de fiadas da palete com altura maior. As duas paletes com a mesma referência foram alocadas na Posição 1 e na Posição 2 do Nível 2. Não foi possível uma alocação de forma a minimizar o desperdício causado entre a diferença de alturas das duas paletes.

	Rack3		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA498	33 - PA453	33 - PA31
Nível 1	47 - PA87	42 - PA262	42 - PA266
Nível 2	61 - PA112	33 - PA112	33 - PA281
Nível 3	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327
Nível 4	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327
Nível 5	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327
Nível 6	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327
Nível 7	x	x	x

Figura 21: Rack 3 da Solução da Heurística Construtiva 1

No entanto, houve a possibilidade de alocar outros produtos de forma a aproveitar o espaço dentro dos níveis. Estes produtos foram alocados na vertical, isto é, em níveis diferentes consecutivos, formando assim, duas alturas diferentes em cada nível. É o caso do PA531, PA532 e PA640, alocados na Rack 18, níveis 2 e 3 que contêm duas paletes com a mesma referência e mesma altura de 79cm e 39cm como se pode ver na Figura 22. Se por exemplo, as duas paletes do PA531 estivessem alocadas na horizontal do Nível 2 faria um desperdício entre a diferença das alturas das duas paletes de 40cm. Ao alocar as paletes na vertical ocupando dois níveis consecutivos é minimizado o desperdício.

	Rack18		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	39 - PA651	33 - PA645	33 - PA637
Nível 1	39 - PA654	39 - PA655	39 - PA657
Nível 2	39 - PA531	39 - PA532	39 - PA640
Nível 3	79 - PA531	79 - PA532	79 - PA640
Nível 4	79 - PA641	79 - PA641	79 - 605150031
Nível 5	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA487
Nível 6	99 - PA492	99 - PA590	99 - PA591
Nível 7	x	x	x

Figura 22: Rack 18 da Solução da Heurística Construtiva 1

A Figura 23, compreende a perspectiva da alocação dos produtos segundo os três tipos de classes. A classe A tem cor verde, a classe B tem cor laranja e por fim a classe C tem cor azul. À medida que a solução heurística foi construída foi cada vez mais difícil seguir a ordem das classes dos produtos. As classes dos produtos ficaram muito espalhadas pelas racks. Como se pode ver na Rack 12, assinalada com um retângulo amarelo na Figura 23, tem alocadas paletes dos três tipos de classes. Isto acontece pelo facto da característica específica da heurística, de criar uniformidade de rack em rack, em relação à altura e à quantidade de níveis, e também pelo facto de minimizar o desperdício. Assim, o critério de

minimizar movimentações não foi alcançado nesta solução. O “x” na Figura 23 representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6			Rack7		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA305	33 - PA485	33 - PA40	33 - PA391	33 - PA390	33 - PA392	33 - PA498	33 - PA453	33 - PA31	39 - PA443	39 - PA448	39 - PA440	33 - PA137	33 - PA91	33 - PA92	33 - PA96	33 - PA138	33 - PA52	33 - PA44	33 - PA534	33 - PA429
Nível 1	47 - PA458	47 - PA42+PA519+PA520	46 - PA25	47 - PA29	47 - PA30	47 - PA28	47 - PA87	42 - PA262	42 - PA266	46 - PA394	46 - PA394	39 - PA636	49 - PA567	49 - PA565	39 - PA447	39 - PA535	39 - PA546	39 - PA604	39 - PA313	39 - PA444	39 - PA445
Nível 2	59 - PA133	59 - PA382	59 - PA383	59 - PA90	59 - PA89	59 - PA332	61 - PA112	33 - PA112	33 - PA281	59 - PA442	59 - PA441	59 - PA555	59 - PA551	59 - PA545	59 - PA550	59 - PA552	59 - PA606	59 - PA549	47 - PA635	46 - PA102	46 - PA53
Nível 3	79 - PA457	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA328													
Nível 4	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA328													
Nível 5	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA328													
Nível 6	83.2-PA387	79-PA381	59 - PA381	79 - PA229	79 - PA229	79 - PA230	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA627	79 - PA627	79 - PA627	79 - PA627	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA351	79 - PA351	79 - PA352	79 - PA234
Nível 7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

	Rack8			Rack9			Rack10			Rack11			Rack12			Rack13			Rack14		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA14333	33 - PA14433	33 - PA12333	33 - PA304	33 - PA54	33 - PA10533	33 - PA10333	33 - PA10433	33 - PA10633	33 - PA29633	33 - PA43233	33 - PA161	33 - PA140	33 - PA428	33 - PA643	39 - PA514	39 - PA160	39 - PA300	39 - PA301	39 - PA156	39 - PA157
Nível 1	39 - PA290	39 - PA564	39 - PA16559	39 - PA51759	39 - PA51559	39 - PA51139	39 - PA16439	39 - PA35639	39 - PA38033	39 - PA29533	39 - PA53333	39 - PA162	39 - PA594	39 - PA159	39 - PA513	39 - PA270	49 - PA7	49 - PA9	59 - PA491	59 - PA493	59 - PA496
Nível 2	39 - PA153	39 - PA343	39 - PA497	59 - PA70	59 - PA71	59 - PA75	79 - PA608	79 - PA60859	79 - PA608	39 - PA455	39 - PA48939	39 - PA495	39 - PA259	39 - PA142	39 - PA258	79 - PA270	79 - PA7	79 - PA9	59 - PA68	59 - PA69	59 - PA77
Nível 3	49 - PA316	49 - PA407	49 - PA40879	49 - PA38439	49 - PA38439	49 - PA50579	49 - PA60779	49 - PA60759	49 - PA60739	49 - PA50939	49 - PA50739	49 - PA256	79 - PA259	79 - PA142	79 - PA258	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA264	79 - PA264	79 - PA264
Nível 4	79 - PA238	79 - PA238	79 - PA238	79 - PA568	79 - PA315	79 - PA490	79 - PA62179	79 - PA62179	79 - PA62179	79 - PA50979	79 - PA50779	79 - PA256	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207	79 - PA207
Nível 5	79 - PA23979	79 - PA23979	79 - PA23979	79 - PA60079	79 - PA60079	79 - PA60079	79 - PA62279	79 - PA62279	79 - PA62279	79 - PA26179	79 - PA26179	79 - PA261	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA378
Nível 6	79 - PA35779	79 - PA35779	79 - PA35779	79 - PA60179	79 - PA60179	79 - PA60179	79 - PA54879	79 - PA51279	79 - PA51279	79 - PA58379	79 - PA58379	79 - PA583	115 - PA260	115 - PA260	83 - PA260	119 - PA484	119 - PA484	109 - PA524	109 - PA524	109 - PA524	109 - PA524
Nível 7	79 - PA358	79 - PA358	79 - PA358	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

	Rack15			Rack16			Rack17			Rack18			Rack19			Rack20				
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3		
Nível 0	33 - PA139	33 - PA642	33 - PA584	33 - PA83	33 - PA333	33 - PA350	33 - PA299	33 - PA393	33 - PA85	39 - PA651	33 - PA645	33 - PA637	59 - PA67	59 - PA647	59 - PA648	59 - PA672				
Nível 1	39 - PA158	39 - PA166	39 - PA593	39 - PA154	39 - PA155	39 - PA355	39 - PA646	39 - PA446	39 - PA596	39 - PA654	39 - PA655	39 - PA657	59 - PA55	59 - PA57	59 - PA58	79 - PA237				
Nível 2	46 - PA163	41 - PA274	41 - PA275	39 - PA499	39 - PA542	39 - PA595	39 - PA597	39 - PA603	39 - PA570	39 - PA531	39 - PA532	39 - PA640	59 - PA670	39 - PA639	39 - PA506	79 - PA237				
Nível 3	59 - PA354	59 - PA65	49 - PA269	59 - PA66	59 - PA74	59 - PA134	59 - PA386	59 - PA500	59 - PA64	79 - PA531	79 - PA532	79 - PA640	79 - PA605150032	79 - PA639	79 - PA345					
Nível 4	79 - PA318	79 - PA319	79 - PA320	79 - PA321	79 - PA494	79 - PA329	79 - PA330	79 - PA500	79 - PA344	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641	79 - PA641
Nível 5	99 - PA526	99 - PA522	99 - PA656	99 - PA523	99 - PA395	99 - PA395	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA501	59 - PA501	79 - PA502				
Nível 6	109 - PA526	109 - PA522	109 - PA656	109 - PA523	99 - PA486	99 - PA298	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA492	99 - PA590	99 - PA591	x	x	x				
Nível 7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

Figura 23: Conjunto de Figuras Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Paletes Industriais

Na Tabela 6 estão representadas as posições onde cada barra metálica deve ser posicionada que representa também a altura de cada nível em cada *rack*.

Tabela 6: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Paletes Industriais

	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7
<b>Rack 1</b>	45	105	180	270	360	450	547,5	
<b>Rack 2</b>	45	105	180	270	360	450	540	
<b>Rack 3</b>	45	105	180	270	360	450	540	
<b>Rack 4</b>	52,5	112,5	187,5	277,5	367,5	457,5	547,5	
<b>Rack 5</b>	45	105	180	270	360	450	540	
<b>Rack 6</b>	45	97,5	172,5	262,5	352,5	442,5	532,5	
<b>Rack 7</b>	45	97,5	157,5	247,5	337,5	427,5	517,5	
<b>Rack 8</b>	45	97,5	150	210	300	390	480	570
<b>Rack 9</b>	45	120	195	285	375	465	555	
<b>Rack 10</b>	45	97,5	187,5	277,5	367,5	457,5	547,5	
<b>Rack 11</b>	45	90	142,5	195	285	375	465	555
<b>Rack 12</b>	45	97,5	150	240	330	420	547,5	

<b>Rack 13</b>	52,5	112,5	202,5	292,5	412,5	547,5	
<b>Rack 14</b>	52,5	127,5	202,5	292,5	412,5	532,5	
<b>Rack 15</b>	45	97,5	157,5	232,5	322,5	435	555
<b>Rack 16</b>	45	97,5	150	225	315	427,5	547,5
<b>Rack 17</b>	45	97,5	150	225	315	427,5	540
<b>Rack 18</b>	52,5	105	157,5	247,5	337,5	450	562,5
<b>Rack 19</b>	75	150	225	315	405	517,5	
<b>Rack 20</b>	75	165	255				

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados alusivos à solução heurística desenvolvida. No total foram utilizadas 20 *racks* para armazenar o produto acabado em paletes industriais e criados 135 níveis. Contudo, 22 níveis contêm desperdício entre a altura da paleta mais alta e as restantes paletes num nível, sendo atingido um total de 522,4cm de desperdício linear.

*Tabela 7: Resultados Estatísticas da Solução da Heurística Construtiva1 no Caso de Paletes Industriais*

<b>Racks</b>	<b>Nº de Níveis</b>	<b>Altura Total Rack (cm)</b>	<b>Total Desperdício Altura da Rack (cm)</b>	<b>Nº Níveis Desperdício</b>	<b>Valor Desperdício nos Níveis (cm)</b>
1	7	547,5	29,5	2	29,4
2	7	540	37	0	0
3	7	540	37	2	40
4	7	547,5	29,5	1	7
5	7	540	37	1	10
6	7	532,5	44,5	0	0
7	7	517,5	59,5	1	2
8	8	570	7	0	0
9	7	555	22	2	100
10	7	547,5	29,5	2	40
11	8	555	22	0	0
12	7	547,5	29,5	1	32

13	6	547,5	29,5	2	20
14	6	532,5	44,5	0	0
15	7	555	22	3	70
16	7	547,5	29,5	2	60
17	7	540	37	0	0
18	7	562,5	14,5	1	12
19	6	517,5	59,5	2	100
20	3	255	322	0	0
<b>Total</b>	135			22	522,4

O desperdício linear corresponde às somas da diferença entre a altura da paleta mais alta e a altura das restantes paletes dentro de cada nível das *racks* de armazenamento. Na Figura 24 está representado um nível cujo seu desperdício linear corresponde à soma de  $d1$  com  $d2$ .

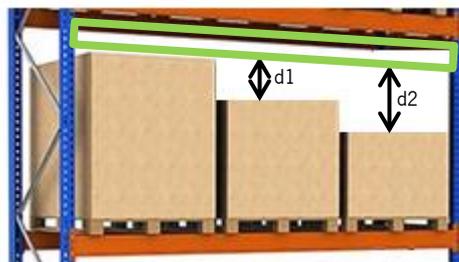


Figura 24: Ilustração do Desperdício Linear

- Caso Europaletes

A solução encontrada pela heurística relativamente aos produtos armazenados em europaletes, está representada na Figura 25. O “x” representa que não é possível efetuar alocações de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack21				Rack22				Rack23			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	39 - PA559	39 - PA560	39 - PA368	39 - PA367	79 - PA576	79 - PA576	79 - PA575	79 - PA575	59 - PA669	59 - PA587	59 - PA668	
Nível 1	79 - PA559	79 - PA560	79 - PA577	79 - PA578	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	61 - PA573	61 - PA574		
Nível 2	49 - PA363	49 - PA364	39 - PA577	39 - PA578	109 - PA376	49 - PA376	109 - PA626	109 - PA626	79 - PA556	79 - PA557		
Nível 3	109 - PA363	109 - PA364	109 - PA619	109 - PA619	109 - PA633	109 - PA633	109 - PA624	109 - PA624				
Nível 4	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA620	109 - PA620						
Nível 5	109 - PA375	49 - PA375	109 - PA618	109 - PA618	x	x						

Figura 25: Resultado da Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes

A construção desta solução heurística seguiu o mesmo processamento utilizado na solução heurística das paletes industriais. Nesta solução houve também dificuldades em manter a uniformidade entre a altura e a quantidade de níveis, de *rack* em *rack*. Também há desperdício na ocupação de alguns níveis devido às diferentes alturas nas paletes com a mesma referência. Por exemplo, na Figura 26 está apresentada a *Rack21* que contém alocado na horizontal do Nível 4 e 5, o PA375 que contém paletes de alturas diferentes, de 109cm e 49cm. Estas paletes não puderam ser alocadas de outro modo causando assim um desperdício de 60cm no Nível 5. No entanto, na mesma *rack* apresentada na Figura 26 foram alocados nos Níveis 2 e 3, duas referências, o PA363 e o PA364, que contém ambas duas paletes de 109cm e 49cm de altura. As duas paletes de cada referência apresentada foram armazenadas na vertical em dois níveis consecutivos, formando assim, duas alturas diferentes em cada nível. Ao fazer uma alocação das paletes na vertical é eliminado o desperdício de 60cm, se os produtos fossem armazenados na horizontal de um nível.

	Rack21			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	39 - PA559	39 - PA560	39 - PA368	39 - PA367
Nível 1	79 - PA559	79 - PA560	79 - PA577	79 - PA578
Nível 2	49 - PA363	49 - PA364	39 - PA577	39 - PA578
Nível 3	109 - PA363	109 - PA364	109 - PA619	109 - PA619
Nível 4	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375
Nível 5	109 - PA375	49 - PA375	109 - PA618	109 - PA618

Figura 26: Rack 21 da Solução da Construtiva Heurística 1

Na Figura 27 está apresentada a perspectiva da alocação dos produtos segundo os três tipos de classes. A classe A tem cor verde, a classe B tem cor laranja e por fim a classe C com cor azul. Como é notório, as classes de produtos estão espalhadas por diferentes zonas das *racks*. Isto acontece pelo facto da característica específica da heurística, de tentar criar uniformidade de *rack* em *rack*, em relação à altura e à quantidade de níveis, e também pelo facto de minimizar o desperdício. Assim, o critério de minimizar movimentações não foi alcançado nesta heurística. O “x” na Figura 27 representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack21				Rack22				Rack23			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	39 - PA559	39 - PA560	39 - PA368	39 - PA367	79 - PA576	79 - PA576	79 - PA575	79 - PA575	59 - PA669	59 - PA587	59 - PA668	
Nível 1	79 - PA559	79 - PA560	79 - PA577	79 - PA578	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	61 - PA573	61 - PA574		
Nível 2	49 - PA363	49 - PA364	39 - PA577	39 - PA578	109 - PA376	49 - PA376	109 - PA626	109 - PA626	79 - PA556	79 - PA557		
Nível 3	109 - PA363	109 - PA364	109 - PA619	109 - PA619	109 - PA633	109 - PA633	109 - PA624	109 - PA624				
Nível 4	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA620	109 - PA620						
Nível 5	109 - PA375	49 - PA375	109 - PA618	109 - PA618	x	x						

Figura 27: Perspectiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística

Construtiva 1 no Caso de Europaletes

Na Tabela 8 estão representadas as posições onde cada barra metálica deve ser posicionada que representa também a altura de cada nível em cada *rack*.

*Tabela 8: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes*

	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
<b>Rack 21</b>	52,5	142,5	202,5	322,5	442,5	562,5
<b>Rack 22</b>	90	210	330	450	570	
<b>Rack 23</b>	75	150	240			

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados alusivos à solução heurística desenvolvida. No total foram utilizadas três *racks* para armazenar o produto acabado em europaletes e criados 14 níveis. Contudo, três níveis contêm desperdício entre a altura da paleta mais alta e as restantes paletes de um nível, sendo atingido um total de 149cm de desperdício linear.

*Tabela 9: Resultados Estatísticos Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 1 no Caso de Europaletes*

<b>Racks</b>	<b>Nº de Níveis</b>	<b>Altura Total Rack (cm)</b>	<b>Total Desperdício de Altura (cm)</b>	<b>Nº Níveis Desperdício</b>	<b>Valor do Desperdício (cm)</b>
<b>21</b>	6	562,5	14,5	2	80
<b>22</b>	5	570	7	1	69
<b>23</b>	3	240	337	0	0
<b>Total</b>	14			3	149

Para resolução do problema só é possível a utilização de 22 *racks* para armazenamento de produto acabado. Na solução da Heurística Construtiva 1 para os dois casos de paletes foram utilizadas 23 *racks*.

### 5.1.2 Heurística Construtiva 2

A Heurística Construtiva 2 foi aplicada em duas fases separando as paletes industriais das europaletes. Esta heurística, apesar de ter em conta os critérios apresentados é separada em mais duas fases para os dois tipos de paletes. Primeiro são alocadas as referências de produtos que constituem mais do que uma paleta, consoante a sua taxa de rotatividade, abrindo sempre um nível novo quando se trata de uma

referência diferente. Numa segunda fase é feita a alocação dos restantes produtos, que representam referências que têm apenas uma paleta. Na segunda fase, a alocação é efetuada também seguindo a taxa de rotatividade de cada produto e em espaços vazios que contenham a mesma altura e a mesma classe da paleta a alocar. As duas fases apresentadas vão proporcionar uma correta separação das classes nas *racks* de armazenamento, minimizando assim movimentações.

- Caso Paletes Industriais

A Figura 28 representa apenas a fase inicial desta solução heurística que consiste na alocação das referências que contêm mais do que uma paleta seguindo a sua taxa de rotatividade. Foi deixada uma *rack* entre cada transição de classe, para a alocação das restantes paletes na fase seguinte. O “x” representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	79 - PA381	59 - PA381		79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	61 - PA112	33-PA112	
Nível 1	79-PA325	79-PA325	79-PA325	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA357	79-PA357	79-PA357
Nível 2	79-PA325	79-PA325	79-PA325	79-PA326	79-PA326		79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA239	79-PA239	79-PA358	79-PA358	79-PA358
Nível 3	79-PA325	79-PA325		79-PA234	79-PA234	79-PA234	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA238	79-PA238	79-PA238	79-PA238	79-PA238
Nível 4	79 - PA233	79 - PA233	79 - PA233	79-PA234	79-PA234		79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA229	79-PA229	79 - PA627		
Nível 5	79 - PA233	79 - PA233		79-PA378	79-PA378		79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA230	79-PA230	79-PA608	79-PA608	59-PA608

	Rack7			Rack8			Rack9			Rack10			Rack11			Rack12		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	46-PA394	46-PA394		79-PA621	79-PA621	79-PA621	79-PA261	79-PA261	79-PA261	79-PA142	39-PA142					109-PA524	109-PA524	
Nível 1	79-PA384	39-PA384		79-PA622	79-PA622	79-PA622	79-PA261			79-PA207	79-PA207					109-PA525	109-PA525	
Nível 2	79-PA600	79-PA600	79-PA600	79-PA601	79-PA601	79-PA601	79-PA256	39-PA256		79-PA258	39-PA258					109-PA528	109-PA528	
Nível 3	79-PA351	79-PA351		79-PA509	39-PA509		79-PA259	39-PA259		79-PA270	39-PA270					115-PA260	115-PA260	83-PA260
Nível 4	79-PA352	79-PA352		79-PA507	39-PA507		79-PA208	79-PA208		x	x					x	x	x
Nível 5	79-PA607	79-PA607	59-PA607	79-PA583	79-PA583		79-PA512	79-PA512										

	Rack13			Rack14			Rack15			Rack16			Rack17			Rack18			Rack19		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	109-PA527	109-PA527		79-PA263	79-PA263	79-PA263	79-PA7	49-PA7					79-PA9	49-PA9		79-PA500	59-PA500				
Nível 1	109-PA529	109-PA529		79-PA264	79-PA264	79-PA264	99-PA395	59-PA395					79-PA531	39-PA531		79-PA641	79-PA641				
Nível 2	109-PA656	49-PA656		109-PA526	99-PA526		99-PA487	99-PA487	99-PA487				79-PA532	39-PA532		79-PA502	79-PA502	79-PA502			
Nível 3	119-PA484	119-PA484		109-PA522	99-PA522		99-PA488	99-PA488	99-PA488				79-PA640	39-PA640		79-PA502					
Nível 4	x	x		109-PA523	99-PA523		99-PA488	99-PA488	99-PA488				79-PA639	39-PA639		79-PA237	79-PA237	79-PA237			
Nível 5				x	x		x	x	x				99-PA501	59-PA501		79-PA237	79-PA237	79-PA237			

Figura 28: Conjunto de Figuras da Alocação das Paletes Industriais com Referências Iguais Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2

Na Figura 29 está representada a fase final da solução heurística. Consistiu na alocação das restantes paletes segundo os critérios apresentados anteriormente. O “x” representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	79 - PA381	59 - PA381	59-PA133	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	33-PA305	33-PA485	33-PA40
Nível 1	79-PA325	79-PA325	79-PA325	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA328	59-PA382	61 - PA112	33-PA112
Nível 2	79-PA325	79-PA325	79-PA325	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA315	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA239	79-PA239	79-PA239	79-PA357
Nível 3	79-PA325	79-PA325	79-PA457	79-PA234	79-PA234	79-PA234	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA238	79-PA238	79-PA238	79-PA238	79-PA358
Nível 4	79 - PA233	79 - PA233	79 - PA233	79-PA234	79-PA234	79-PA234	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA229	79-PA229	59-PA383	79 - PA627	79 - PA627
Nível 5	79 - PA233	79 - PA233	79-PA568	79-PA378	79-PA378	79-PA589	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA230	79-PA230	59-PA332	79 - PA627	59-PA90
Nível 6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nível 7																		
Nível 8																		
Nível 9																		
Nível 10																		

	Rack7			Rack8			Rack9			Rack10			Rack11			Rack12		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	46-PA394	46-PA394	46-PA25	79-PA621	79-PA621	79-PA621	79-PA261	79-PA261	79-PA261	39-PA443	39-PA448	39-PA440	33-PA391	33-PA498	33-PA390	59-PA517	59-PA515	59-PA511
Nível 1	47-PA458	47-PA42+PA519+PA520	47-PA29	79-PA622	79-PA622	79-PA622	79-PA261	59-PA606	49-PA567	39-PA636	39-PA447	39-PA535	33-PA392	33-PA453	33-PA31	109-PA524	109-PA524	99-PA486
Nível 2	79-PA384	39-PA384	59-PA441	79-PA601	79-PA601	79-PA601	79-PA256	39-PA256	49-PA565	79-PA142	39-PA142	39-PA546	33-PA281	33-PA91	33-PA92	109-PA525	109-PA525	99-PA492
Nível 3	79-PA600	79-PA600	79-PA600	79-PA509	39-PA509	59-PA545	79-PA259	39-PA259	47-PA30	79-PA207	79-PA207	59-PA549	33-PA137	33-PA96	33-PA138	109-PA527	109-PA527	79-605150042
Nível 4	79-PA351	79-PA351	59-PA555	79-PA507	39-PA507	59-PA550	79-PA208	79-PA208	47-PA28	79-PA258	39-PA258	42-PA266	33-PA52	33-PA44	33-PA534	109-PA529	109-PA529	79-605150041
Nível 5	79-PA352	79-PA352	59-PA551	79-PA583	79-PA583	59-PA552	79-PA512	79-PA512	47-PA87	79-PA270	39-PA270	42-PA262	33-PA429	33-PA143	33-PA144	x	x	x
Nível 6	79-PA607	79-PA607	59-PA607	x	x	x	x	x	x	83,2-PA387	39-PA313	39-PA444	39-PA604	39-PA445	39-PA290			
Nível 7	x	x	x							x	x	x	109-PA528	109-PA528	39-PA298			
Nível 8													115-PA260	115-PA260	83-PA260			
Nível 9													x	x	x			
Nível 10																		

	Rack13			Rack14			Rack15			Rack16			Rack17			Rack18			Rack19			Rack20		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	59-PA71	59-PA75	59-PA490	49-PA316	49-PA407	49-PA408	47-PA635	46-PA102	46-PA53	33-PA213	33-PA304	33-PA54	79-PA9	49-PA9	79-PA329	79-PA500	59-PA500	59-PA386	39-PA160	39-PA300	39-PA301	33-PA428	33-PA139	33-PA642
Nível 1	109-PA656	49-PA656	79-PA385	79-PA263	79-PA263	79-PA263	59-PA491	59-PA493	59-PA496	33-PA103	33-PA104	33-PA106	79-PA531	39-PA531	79-PA330	79-PA641	79-PA641	79-PA345	39-PA156	39-PA157	39-PA158	33-PA584	33-PA83	33-PA333
Nível 2	109-PA526	39-PA526	79-PA318	79-PA264	79-PA264	79-PA264	59-PA77	59-PA68	59-PA68	33-PA296	33-PA432	33-PA161	79-PA532	39-PA532	79-PA344	79-PA502	79-PA502	79-PA502	39-PA168	39-PA293	39-PA154	33-PA250	33-PA299	33-PA393
Nível 3	109-PA522	39-PA522	79-PA319	79-PA7	49-PA7	59-PA70	59-PA467	59-PA467	59-PA467	33-PA295	33-PA533	33-PA162	79-PA640	39-PA640	59-PA74	79-PA502	79-605150031	79-605150032	39-PA155	39-PA355	39-PA409	33-PA85	33-PA645	33-PA637
Nível 4	119-PA484	119-PA484	79-PA320	39-PA398	59-PA395	79-PA321	59-PA488	59-PA488	59-PA488	33-PA140	33-PA105	33-PA143	79-PA639	39-PA639	59-PA134	79-PA237	79-PA237	79-PA237	39-PA542	39-PA595	39-PA646	39-PA446	39-PA596	39-PA597
Nível 5	x	x	x	109-PA523	39-PA523	79-PA494	59-PA488	59-PA488	59-PA488	39-PA564	39-PA165	39-PA153	59-PA501	59-PA501	99-PA590	79-PA237	79-PA237	79-PA237	41-PA274	41-PA275	39-PA514	39-PA603	39-PA570	39-PA651
Nível 6				x	x	x	x	x	x	39-PA343	39-PA497	39-PA505	x	x	x	x	x	x	59-PA64	49-PA269	46-PA163	39-PA654	39-PA655	39-PA657
Nível 7										39-PA164	39-PA356	39-PA380							59-PA67	59-PA647	59-PA648	39-PA506		
Nível 8										39-PA455	39-PA489	39-PA495							59-PA55	59-PA57	59-PA58	99-PA591	59-PA672	59-PA670
Nível 9										39-PA594	39-PA159	39-PA513							x	x	x	x	x	x
Nível 10										59-PA354	59-PA65	59-PA66												

Figura 29: Conjunto de Figuras do Resultado da Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais

Nesta solução heurística ao contrário da solução Heurística Construtiva 1, não foi possível alocar os produtos de forma a minimizar o desperdício. Na Figura 30 está apresentada a Rack17 que tem alocado nos Níveis 1, 2 e 3 os produtos PA531, PA532 e PA640, respectivamente. Estes produtos contêm duas paletes com a mesma referência e mesma altura de 79cm e 39cm. Foram alocados na horizontal dos níveis, mas se fosse possível uma alocação na vertical em dois níveis consecutivos tal como aconteceu na solução Heurística Construtiva 1 eram eliminados 120cm de desperdício linear.

	Rack17		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	79-PA9	49-PA9	79-PA329
Nível 1	79-PA531	39-PA531	79-PA330
Nível 2	79-PA532	39-PA532	79-PA344
Nível 3	79-PA640	39-PA640	59-PA74
Nível 4	79-PA639	39-PA639	59-PA134
Nível 5	99-PA501	59-PA501	99-PA590
Nível 6	x	x	x
Nível 7			
Nível 8			
Nível 9			
Nível 10			

Figura 30: Rack 17 da Solução da Heurística Construtiva 2

No que diz respeito ao pressuposto da alocação por classes de produtos definidas com a cor verde, a classe A, com a cor laranja a classe B e por último com a cor azul a classe C, foi totalmente respeitada. Apenas nas transições das classes se encontram paletes com classes diferentes, como se pode reparar nas Racks 11 e 16 da Figura 31, assinaladas com retângulos amarelos. Assim, o critério de minimizar movimentações foi alcançado nesta heurística ao contrário da solução da Heurística Construtiva 1. O “x” na Figura 31 representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da rack.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	79-PA381	59-PA381	59-PA133	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	33-PA305	33-PA485	33-PA40
Nível 1	79-PA325	79-PA325	79-PA325	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	59-PA382	61-PA112	33-PA112
Nível 2	79-PA325	79-PA325	79-PA325	79-PA326	79-PA326	79-PA326	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA239	79-PA239	79-PA239
Nível 3	79-PA325	79-PA325	79-PA457	79-PA234	79-PA234	79-PA234	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA238	79-PA238	79-PA238
Nível 4	79-PA233	79-PA233	79-PA233	79-PA234	79-PA234	79-PA234	79-PA566	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA229	79-PA229	59-PA383
Nível 5	79-PA233	79-PA233	79-PA568	79-PA378	79-PA378	79-PA589	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA327	79-PA328	79-PA328	79-PA328	79-PA230	79-PA230	59-PA332
Nível 6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nível 7																		
Nível 8																		
Nível 9																		
Nível 10																		

	Rack7			Rack8			Rack9			Rack10			Rack11			Rack12		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	46-PA394	46-PA394	46-PA25	79-PA621	79-PA621	79-PA621	79-PA261	79-PA261	79-PA261	39-PA443	39-PA448	39-PA448	33-PA391	33-PA498	33-PA39	59-PA517	59-PA515	59-PA511
Nível 1	47-PA458	47-PA519	47-PA29	79-PA622	79-PA622	79-PA622	79-PA261	59-PA606	49-PA567	39-PA636	39-PA447	39-PA538	33-PA392	33-PA453	33-PA31	109-PA524	109-PA524	99-PA486
Nível 2	79-PA384	39-PA384	59-PA441	79-PA601	79-PA601	79-PA601	79-PA256	39-PA256	49-PA565	79-PA142	39-PA142	39-PA548	33-PA281	33-PA91	33-PA92	109-PA525	109-PA525	99-PA492
Nível 3	79-PA600	79-PA600	79-PA600	79-PA509	79-PA509	79-PA509	79-PA259	39-PA259	47-PA30	79-PA207	79-PA207	59-PA548	33-PA137	33-PA96	33-PA131	109-PA527	109-PA527	79-605150042
Nível 4	79-PA351	79-PA351	59-PA555	79-PA507	79-PA507	59-PA550	79-PA208	79-PA208	47-PA28	79-PA258	39-PA258	42-PA268	33-PA52	33-PA44	33-PA53	109-PA529	109-PA529	79-605150041
Nível 5	79-PA352	79-PA352	59-PA551	79-PA583	79-PA583	59-PA552	79-PA512	79-PA512	47-PA87	79-PA270	39-PA270	42-PA267	33-PA429	33-PA143	33-PA14	x	x	x
Nível 6	79-PA607	79-PA607	59-PA607	x	x	x	x	x	x	83-2-PA387	39-PA313	39-PA444	39-PA604	39-PA445	39-PA29			
Nível 7	x	x	x							x	x	x	109-PA528	109-PA528	99-PA29			
Nível 8													115-PA260	115-PA260	83-PA26			
Nível 9													x	x	x			
Nível 10																		

	Rack13			Rack14			Rack15			Rack16			Rack17			Rack18			Rack19			Rack20		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	59-PA71	59-PA75	59-PA490	49-PA316	49-PA407	49-PA408	59-PA491	59-PA493	59-PA498	33-PA213	33-PA304	33-PA54	79-PA9	49-PA9	79-PA329	79-PA500	59-PA500	59-PA386	39-PA160	39-PA300	39-PA301	33-PA428	33-PA139	33-PA642
Nível 1	109-PA656	49-PA656	79-PA385	79-PA263	79-PA263	79-PA263	59-PA77	59-PA68	59-PA68	33-PA103	33-PA104	33-PA106	9-PA531	39-PA531	79-PA330	79-PA641	79-PA641	79-PA345	39-PA156	39-PA157	39-PA158	33-PA584	33-PA83	33-PA333
Nível 2	109-PA526	99-PA526	79-PA318	79-PA264	79-PA264	79-PA264	47-PA635	46-PA102	46-PA53	39-PA296	33-PA432	33-PA161	9-PA532	39-PA532	79-PA344	79-PA502	79-PA502	79-PA502	39-PA166	39-PA583	39-PA154	33-PA350	33-PA299	33-PA383
Nível 3	109-PA522	99-PA522	79-PA319	79-PA7	49-PA7	59-PA70	99-PA487	99-PA487	99-PA487	33-PA295	33-PA333	33-PA162	9-PA640	39-PA640	59-PA74	79-PA502	79-605150031	79-605150032	39-PA155	39-PA355	39-PA489	33-PA85	33-PA645	33-PA637
Nível 4	119-PA484	119-PA484	79-PA320	99-PA395	59-PA395	79-PA321	99-PA488	99-PA488	99-PA488	33-PA140	39-PA165	33-PA668	9-PA639	39-PA639	59-PA134	79-PA237	79-PA237	79-PA237	39-PA542	39-PA585	39-PA646	39-PA446	39-PA596	39-PA597
Nível 5				109-PA523	99-PA523	79-PA494	99-PA488	99-PA488	99-PA488	9-PA501	59-PA501	99-PA590	79-PA237	79-PA237	79-PA237	79-PA237	79-PA237	79-PA237	39-PA647	39-PA647	39-PA648	39-PA506		
Nível 6										39-PA343	39-PA497	39-PA505												
Nível 7										39-PA164	39-PA356	39-PA380												
Nível 8										39-PA455	39-PA489	39-PA495												
Nível 9										39-PA594	39-PA159	39-PA513												
Nível 10										83-PA364	83-PA665	83-PA666												

Figura 31: Conjunto de Figuras Perspectiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais

Na Tabela 10 estão representadas as posições onde cada barra metálica deve ser posicionada que representa também a altura de cada nível em cada rack.

Tabela 10: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais

	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7	Nível 8	Nível 9	Nível 10
Rack 1	90	180	270	360	450	540					
Rack 2	90	180	270	360	450	540					
Rack 3	90	180	270	360	450	540					
Rack 4	90	180	270	360	450	540					
Rack 5	90	180	270	360	450	540					
Rack 6	45	120	210	300	390	480	570				
Rack 7	60	120	210	300	390	480	570				
Rack 8	90	180	270	360	450	540					
Rack 9	90	180	270	360	450	540					
Rack 10	52,5	105	195	285	375	465	562,5				

<b>Rack 11</b>	45	90	135	180	225	270	322,5	442,5	570		
<b>Rack 12</b>	75	195	315	435	555						
<b>Rack 13</b>	75	195	315	435	570						
<b>Rack 14</b>	60	150	240	330	442,5	562,5					
<b>Rack 15</b>	75	150	210	322,5	435	547,5					
<b>Rack 16</b>	45	90	135	180	225	277,5	330	382,5	435	487,5	562,5
<b>Rack 17</b>	90	180	270	360	450	562,5					
<b>Rack 18</b>	90	180	270	360	450	540					
<b>Rack 19</b>	52,5	105	157,5	210	262,5	315	390	465	540		
<b>Rack 20</b>	45	90	135	180	232,5	285	337,5	390	502,5		

Foi elaborada a Tabela 11 que apresenta os resultados alusivos à solução heurística desenvolvida. No total foram utilizadas 20 *racks* para armazenar o produto acabado em paletes industriais e criados 135 níveis. Contudo, 48 níveis contêm desperdício entre a altura da paleta mais alta e as restantes paletes num nível, sendo atingido um total de 1947,4cm de desperdício linear (na solução da Heurística Construtiva 1 no caso de paletes industriais foi atingido um desperdício linear de 522,4cm).

*Tabela 11: Resultados Estatísticos Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Paletes Industriais*

<b>Racks</b>	<b>Nº de Níveis</b>	<b>Altura Total Rack (cm)</b>	<b>Total Desperdício de Altura (cm)</b>	<b>Nº Níveis Desperdício</b>	<b>Valor do Desperdício (cm)</b>
<b>1</b>	6	540	37	1	40
<b>2</b>	6	540	37	0	0
<b>3</b>	6	540	37	0	0
<b>4</b>	6	540	37	0	0
<b>5</b>	6	540	37	3	60
<b>6</b>	7	570	7	3	90
<b>7</b>	7	570	7	4	120
<b>8</b>	6	540	37	3	140
<b>9</b>	6	540	37	5	256
<b>10</b>	7	562,5	14,5	5	342,4

11	9	570	7	2	42
12	5	555	22	4	80
13	5	570	7	4	210
14	6	562,5	14,5	3	150
15	6	547,5	29,5	1	2
16	11	562,5	14,5	0	0
17	6	562,5	14,5	6	270
18	6	540	37	1	40
19	9	540	37	2	25
20	9	502,5	74,5	1	80
<b>Total</b>	135			48	1947,4

- Caso Europaletes

A solução da Heurística Construtiva 2, para o caso das europaletes, foi elaborada de forma análoga à anterior. A Figura 32 ilustra a fase inicial desta heurística, isto é, a alocação das referências abrangidas por mais do que uma paleta. O “x” representa que não é possível efetuar a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack21				Rack22				Rack23				Rack24			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	79-PA575	79-PA575			79-PA578	39-PA578			109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA633	109-PA633		
Nível 1	79-PA576	79-PA576			109-PA363	49-PA363			109-PA376	49-PA376			109-PA620	109-PA620		
Nível 2	79-PA559	39-PA559			109-PA364	49-PA364			109-PA626	109-PA626			109-PA624	109-PA624		
Nível 3	79-PA560	39-PA560			109-PA375	109-PA375	109-PA375	109-PA375	109-PA618	109-PA618			x	x		
Nível 4	79-PA577	39-PA577			109-PA375	49-PA375			x	x						
Nível 5	109-PA619	109-PA619			x	x										

Figura 32: Alocação das Europaletes com Referências Iguais Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2

Devido ao número de *racks* utilizadas na primeira fase, a solução heurística foi novamente construída. A Heurística Construtiva 2 numa primeira fase faz a alocação das referências que contêm mais do que uma paleta abrindo sempre um nível para uma referência diferente. No entanto, no caso das europaletes a maior parte contém apenas duas paletes com a mesma referência. Nestes casos antes de serem alocadas as referências num novo nível são alocados no nível da última alocação se lá estiverem alocadas duas paletes com a mesma referência. A Figura 33 representa a nova construção da fase 1. O “x” representa que não é possível a alocação de paletes porque foi atingida a altura máxima da *rack*.

	Rack21				Rack22				Rack23			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	79-PA575	79-PA575	79-PA576	79-PA576	109-PA375	109-PA375	109-PA375	109-PA375	109-PA633	109-PA633	109-PA620	109-PA620
Nível 1	79-PA559	39-PA559	79-PA560	39-PA560	109-PA375	49-PA375	109-PA376	49-PA376	109-PA624	109-PA624		
Nível 2	109-PA619	109-PA619	79-PA577	39-PA577	109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA376				
Nível 3	109-PA363	49-PA363	79-PA578	39-PA578	109-PA626	109-PA626	109-PA618	109-PA618				
Nível 4	109-PA364	49-PA364			x	x	x	x				

Figura 33: Reformulação da Fase 1 da Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes

A Figura 34, ilustra a fase final da solução da Heurística Construtiva 2 para o caso de europaletes. Consistiu na alocação das paletes com referência que contêm apenas uma paleta.

	Rack21				Rack22				Rack23			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	79-PA575	79-PA575	79-PA576	79-PA576	61-PA573	61-PA574	59-PA668	59-PA669	39-PA368	39-PA367		
Nível 1	79-PA559	39-PA559	79-PA560	39-PA560	109-PA375	109-PA375	109-PA375	109-PA375	59-PA587			
Nível 2	109-PA619	109-PA619	79-PA577	39-PA577	109-PA375	49-PA375	109-PA376	49-PA376	109-PA633	109-PA633	109-PA620	109-PA620
Nível 3	109-PA363	49-PA363	79-PA578	39-PA578	109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA624	109-PA624		
Nível 4	109-PA364	49-PA364	79-PA557	79-PA556	109-PA626	109-PA626	109-PA618	109-PA618				

Figura 34: Resultado da Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes

Na perspectiva da alocação segundo a taxa rotatividade de cada produto foi totalmente cumprida, como é notório na Figura 35. Assim, ao contrário da solução da Heurística Construtiva 1 o critério de minimizar movimentações foi alcançado.

	Rack21				Rack22				Rack23			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	79-PA575	79-PA575	79-PA576	79-PA576	61-PA573	61-PA574	59-PA668	59-PA669	39-PA368	39-PA367		
Nível 1	79-PA559	39-PA559	79-PA560	39-PA560	109-PA375	109-PA375	109-PA375	109-PA375	59-PA587			
Nível 2	109-PA619	109-PA619	79-PA577	39-PA577	109-PA375	49-PA375	109-PA376	49-PA376	109-PA633	109-PA633	109-PA620	109-PA620
Nível 3	109-PA363	49-PA363	79-PA578	39-PA578	109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA376	109-PA624	109-PA624		
Nível 4	109-PA364	49-PA364	79-PA557	79-PA556	109-PA626	109-PA626	109-PA618	109-PA618				

Figura 35: Perspectiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes

Na Tabela 12 estão representadas as posições onde cada barra metálica deve ser posicionada que representa também a altura de cada nível em cada rack.

Tabela 12: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes

	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
<b>Rack 21</b>	90	180	300	420	540
<b>Rack 22</b>	75	195	315	435	555
<b>Rack 23</b>	52,5	127,5	247,5	367,5	

Foi elaborada a Tabela 13 que apresenta os resultados alusivos à solução heurística construtiva relativamente ao caso de europaletes. No total foram utilizadas três racks para armazenar o produto

acabado em paletes industriais e criados 14 níveis. Contudo, 6 níveis contêm desperdício entre a altura da paleta mais alta e as restantes paletes num nível, sendo atingido um total de 584cm de desperdício linear (na solução da Heurística Construtiva 1 no caso de europaletes foi atingido um desperdício linear de 149cm).

Tabela 13: Resultado Estatístico Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 2 no Caso de Europaletes

<i>Racks</i>	Nº de Níveis	Altura Total Rack (cm)	Total Desperdício de Altura (cm)	Nº Níveis Desperdício	Valor do Desperdício (cm)
21	5	540	37	4	460
22	5	555	22	2	124
23	4	367,5	209,5	0	0
<b>Total</b>	14			6	584

### 5.1.3 Conclusão

A solução da Heurística Construtiva 1 no total atingiu 23 *racks* mais uma *rack* de armazenamento do que o suposto para a resolução do problema. No entanto, de forma a aproveitar o espaço que sobrou na *Rack* 20, *rack* que contém armazenado paletes industriais, abriu-se a possibilidade de juntar as europaletes alocadas na *Rack* 23. Na Figura 36 estão ilustradas as duas *racks*.

		Rack20			Rack23			
		Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0		59 - PA672			59- PA669	59- PA587	59- PA668	
Nível 1		79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237	61 - PA573	61 - PA574		
Nível 2		79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237	79 - PA556	79 - PA557		
Nível 3								
Nível 4								
Nível 5								
Nível 6								
Nível 7								

Figura 36: Rack 20 e Rack 23 da Solução da Heurística Construtiva 1

Assim, na *Rack* 20 são alocados produtos com os dois tipos de paletes em níveis diferentes conforme é apresentado na Figura 37. O “x” representa que não é possível fazer a alocação de paletes nas posições assinaladas. Desta forma é possível reduzir para 22 *racks* de armazenamento a solução Heurística Construtiva 1.

	Rack20			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	59 - PA672			x
Nível 1	59 - PA669	59 - PA587	59 - PA668	
Nível 2	61 - PA573	61 - PA574		
Nível 3	79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237	x
Nível 4	79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237	x
Nível 5	79 - PA556	79 - PA557		
Nível 6				
Nível 7				

Figura 37: Rack 20 da Solução da Heurística Construtiva 1

O critério de minimizar os movimentos fazendo uma alocação das paletes segundo a sua classe ABC na solução da Heurística Construtiva 1 não foi atingido. No entanto, o valor do desperdício é razoável.

A solução da Heurística Construtiva 2 atingiu 23 *racks* mais uma *rack* de armazenamento do que o suposto para a resolução do problema. Não existe nesta solução heurística espaço livre para uma possível alocação como aconteceu com a solução heurística anterior. A solução da Heurística Construtiva 2 funcionou muito bem na minimização de movimentos, conseguindo que os produtos ficassem organizados segundo a sua classe ABC nas *racks* de armazenamento. No entanto, obteve mais que o dobro do desperdício do que a solução da Heurística Construtiva 1. Na Tabela 14, estão agrupados os resultados finais das duas heurísticas.

Tabela 14: Resultados Finais das Duas Soluções Heurísticas

Heurística	Nº Total de <i>Racks</i>	Nº Total de Níveis	Nº de Níveis com Desperdício	Valor do Desperdício (cm)	Minimização de Movimentos
1	22	149	25	671,4	Não
2	23	148	54	2531,4	Sim

É possível interpretar que quando a solução heurística se focou mais em diminuir o desperdício os produtos ficaram mais afastados em termos de classes ABC, e quando a solução heurística se focou mais em diminuir movimentações existiu mais desperdício linear nos níveis das *racks* de armazenamento.

A solução da Heurística Construtiva 1 é a mais viável porque apesar de não ter sido alcançada a minimização de movimentos torna-se uma solução válida por conseguir alocar todo o produto acabado nas 22 *racks* de armazenamento que abrange o problema.

## 5.2 Modelo de Programação Linear

Depois do levantamento de dados e análise do problema real em estudo, foi elaborado um modelo de programação linear. Este modelo de otimização consiste num modelo de programação linear inteira mista. Tem como finalidade minimizar o espaço dos níveis nas *racks* de armazenamento tendo em conta a taxa de rotatividade do produto, mais precisamente minimizar o desperdício entre a paleta mais alta alocada num nível e as restantes paletes e minimizar as movimentações dos produtos. O modelo em questão foi desenvolvido em linguagem AMPL, que consiste numa linguagem de modelação algébrica utilizada na programação matemática (Fourer et al., 1990). Esta linguagem é constituída por um ficheiro de modelo e um ficheiro de dados. O ficheiro de modelo deve conter os parâmetros, restrições, variáveis e função objetivo do problema e o ficheiro de dados é constituído por dados numéricos e é utilizado para instanciar o problema.

### 5.2.1 Parâmetros

$p$	Número total de paletes, $p=1, \dots, P$
$n$	Número total de níveis, $n=1, \dots, N$
$r$	Número total de <i>racks</i> , $r=1, \dots, R$
$amr$	Altura máxima das <i>racks</i>
$aen$	Múltiplo da altura do encaixe da barra metálica
$mb$	Medida da barra metálica
$mp_{i,n}$	Define as $n$ características das paletes $i$ . As características das paletes são as seguintes: referência da paleta, altura da paleta, largura da paleta e taxa de rotatividade da paleta
$mn_{j,k}$	Define as $k$ características dos níveis $j$ . As características dos níveis são as seguintes: valor de acessibilidade aos níveis, largura do nível e número da <i>rack</i> do nível)
$w$	Define um custo multiplicado à variável $tn$ na função objetivo

### 5.2.2 Variáveis de Decisão

$x_{ij}$	Variável de decisão de afetação que atribui o valor 1 se a paleta $i$ é arrumada no nível $j$ e 0 caso contrário
$aan_j$	Variável para ativar a abertura de níveis $j$ , por colocação de uma paleta
$tn_j$	Troca de nível $j$ , quando um nível fica completo com paletes com a mesma referência

### 5.2.3 Variáveis

$an_j$	Variável que define a altura do nível $j$ , imposto pela altura da maior paleta
$aaen_j$	Acerto da altura do nível $j$ , pela barra e múltiplos de altura do encaixe
$ar_k$	Variável que define a altura $k$ da <i>rack</i>
$d_i$	Variável para medir o desperdício entre a altura de uma paleta e a altura do nível $j$ onde a paleta é alocada
$vm$	Variável que recebe o valor dos movimentos da função objetivo
$vd$	Variável que recebe o valor do desperdício da função objetivo

### 5.2.4 Função Objetivo

$$\min\{EL = \sum_i d_i + \sum_j aan_j + \sum_{i,j} (mp_{i,4} * mn_{j,1} * x_{i,j}) + w * \sum_i tn_i\}$$

A função objetivo apresentada minimiza uma função composta por quatro parcelas: o desperdício entre as alturas das paletes dentro de um nível, a ativação de abertura de níveis, a movimentação das paletes e a troca de nível para um nível consecutivo sempre que é completado com paletes que contêm a mesma referência.

### 5.2.5 Restrições

$$\sum_j x_{i,j} = 1, \forall i \quad (1)$$

$$\sum_i (mp_{i,3} * x_{i,j}) \leq mn_{j,2}, \forall j \quad (2)$$

$$an_j \geq (mp_{i,2} * x_{i,j}), \forall i, j \quad (3)$$

$$aaen_j \geq \left( \text{ceil} \left( \frac{mb + mp_{i,2}}{amr} \right) \right) * amr * x_{i,j}, \forall i, j \quad (4)$$

$$vm = \sum_{i,j} (mp_{i,4} * mn_{j,1} * x_{i,j}), \forall i, j \quad (5)$$

$$vd = \sum_i d_i, \forall i \quad (6)$$

$$\forall i, j \quad d_i = an_j - mp_{i,2} : x_{i,j} = 1 \quad (7)$$

$$p * aan_j \geq \sum_i x_{i,j}, \forall j \quad (8)$$

$$ar_k = \sum_{j, (mn_{j,3}=k)} aaen_j, \forall k \quad (9)$$

$$ar_k \leq amr, \forall k \quad (10)$$

$$- \sum_j (j * x_{i,j}) + \sum_j (j * x_{i+1,j}) \leq 1, \forall i - 1 \quad (11)$$

$$-\sum_j(j * x_{i,j}) + \sum_j(j * x_{i+1,j}) \leq tn_i, \forall i - 1 \quad (12)$$

$$-\sum_j(j * x_{i,j}) + \sum_j(j * x_{i+1,j}) \geq 0, \forall i - 1 \quad (13)$$

A restrição (1), garante que todas as paletes são arrumadas num nível de uma *rack*. A restrição (2) limita a quantidade máxima de paletes em cada nível, sem ultrapassar o limite da largura de um nível. A restrição (3) garante que a altura máxima do nível é igual a altura da paleta mais alta. A restrição (4) faz o cálculo do acerto da altura de um nível. O acerto é efetuado com a altura máxima da paleta alocada num certo nível, com um valor que seja múltiplo de 7,5 e com o valor da altura da barra metálica. A restrição (5) guarda o valor total de movimentos efetuados segundo a acessibilidade às *racks* de armazenamento e a taxa de rotatividade das paletes. A restrição (6) guarda o valor do desperdício total de todos os níveis das *racks* de armazenamento. A restrição (7) efetua o cálculo do desperdício em cada nível, entre a diferença da altura da maior paleta e a altura das restantes paletes alocadas. A restrição (8) faz a contagem de paletes quando é alocada pelo menos uma paleta num nível. As restrições (9) e (10) limitam a altura total de cada *rack* através das somas do conjunto de acertos feitos aos níveis. Por fim, as restrições (11), (12) e (13) limitam a dispersão de paletes com referências iguais pelos níveis das *racks*.

### 5.3 Testes Computacionais

Os testes computacionais foram efetuados no *NEOSServer* (*Network-Enabled Optimization System*), que é um servidor online gratuito para resolver problemas de otimização. O *solver* utilizado foi o *Gurobi*. Na fase de validação do modelo foram efetuados testes para uma instância de 49 paletes com outros *solvers* comerciais disponíveis. Porém, o *Gurobi* destacou-se na rapidez e na qualidade das soluções obtidas. O *NEOSServer* torna-se muito vantajoso por ser gratuito, mas tem algumas limitações no uso como, o tempo limite de execução de 8 horas computacionais e limite de 3GB de memória computacional.

O modelo de programação linear inteira mista foi construído de maneira a encontrar uma solução para uma instância que contém dados sobre os dois tipos de paletes. Foi tomada a decisão de juntar no modelo os dois tipos de paletes porque as soluções apresentadas anteriormente pelas heurísticas demonstraram que ao fazer esta junção é possível ocupar menos espaço de armazenamento. O modelo de programação linear efetua a separação de níveis entre as paletes industriais e as europaletes numa *rack* de armazenamento. No entanto, pode existir casos excepcionais em que sejam alocados os dois tipos de paletes num nível tendo em contas as suas dimensões. Apesar do modelo funcionar para os dois tipos de paletes em conjunto foram efetuados testes computacionais para instâncias de forma separada

para os dois tipos de paletes. Sempre que é encontrada uma solução através da programação linear é efetuada uma comparação entre as soluções das heurísticas apresentadas anteriormente.

Foi efetuada uma nova análise ABC aos produtos armazenados nos dois tipos de paletes com a finalidade de reformular as suas classes. Para a análise foram utilizados os valores do número de saídas dos produtos do armazém para o cliente. Não consta nesta análise o valor monetário de cada produto. A análise ABC inclui 281 referências de produtos que são armazenados em ambos os tipos de paletes. Os dados são referentes ao ano de 2017. A Tabela 15 traduz os resultados da divisão em classes das referências de produtos armazenados nos dois tipos de paletes.

*Tabela 15: Resultados Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Retrativamente aos Produtos Armazenados em Ambos os Tipos de Paletes*

<b>Classes</b>	<b>Percentagem Divisão Classes</b>	<b>Quantidade de Produtos</b>	<b>Percentagem de Produtos</b>	<b>Percentagem de Saídas</b>
<b>A</b>	80%	111	39,50%	79,79%
<b>B</b>	95%	87	30,96%	15,17%
<b>C</b>	100%	83	29,54%	5,04%

Consoante os dados fornecidos pela análise, pode-se concluir que a classe A é constituída por 111 produtos correspondente a 39,50%. Estes produtos representam 79,79% de saídas do armazém para o cliente. A classe B contém 87 produtos que correspondem a 30,96% e representa 15,17% de saídas do armazém para o cliente. Já a classe C, compreende 77 produtos que correspondem a 29,54%. Esta classe representa 5,04% de saídas do armazém para o cliente. Não se verifica a regra “80/20” porque não foi utilizado para a análise o valor monetário de cada produto. Na Figura 38 está apresentada a curva de Pareto desta análise ABC.

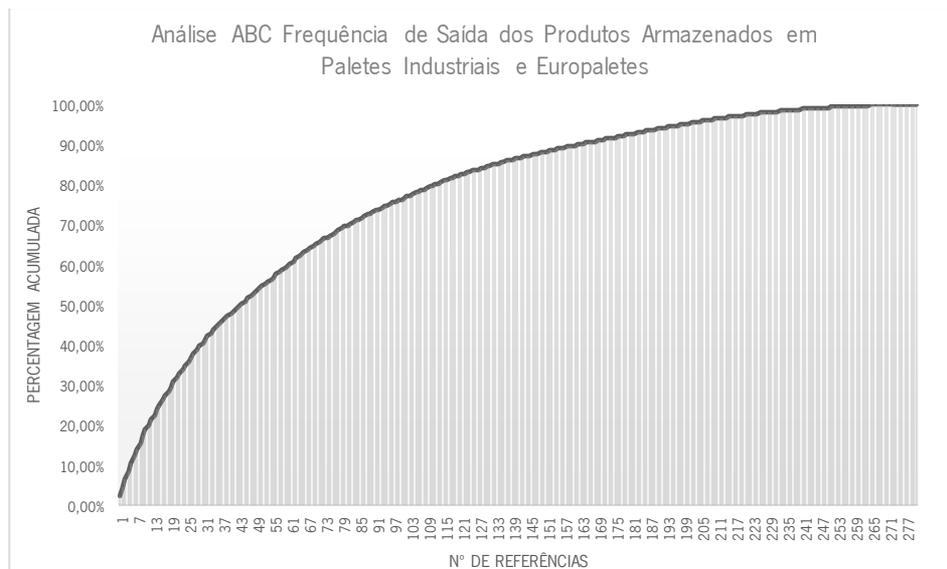


Figura 38: Gráfico Análise ABC da Frequência de Saídas do Armazém Retrativamente aos Produtos Armazenados em Ambos os Tipos de Paletes

### 5.3.1 Implementação do Modelo: Estratégia 1

Na primeira estratégia o modelo foi testado para uma instância de 452 paletes e 22 *racks* de armazenamento a fim de encontrar uma solução ótima para o problema. Esta estratégia passou por três fases que estão apresentadas na Tabela 16. Na fase 1, não foi possível obter uma solução ótima durante o tempo disponibilizado pelo *NEOSServer* que resulta numa paragem forçada, perdendo-se a informação do possível incumbente. Assim, foi testado o modelo para um ficheiro de dados com o mesmo valor de paletes, mas com um valor maior de *racks* para o modelo conter mais margem para trabalhar. Este teste corresponde à fase 2 e assim como na fase anterior, não foi possível obter uma solução. A fase 3 é constituída com a mesma quantidade de dados da fase 1, mas com um limite de 7 horas de trabalho. A decisão de se usar 7 horas é para evitar a paragem forçada e obter-se o possível incumbente. Ao diminuir o tempo de trabalho espera-se que seja devolvida a solução incumbente. No entanto, ao fim das 7 horas de trabalho não foi encontrada uma solução inteira, válida para o modelo. Não foi possível encontrar uma solução viável para esta tentativa.

Tabela 16: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 1

Fase	Nº de Paletes	Nº de Racks	Nº de Níveis	Resultado	Solução	Desperdício (cm)	Deslocações	Tempo execução
1	452	22	242	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:10
2	452	30	330	Esgotou o tempo	-	-	-	8:00:09
3	452	22	242	Não encontrou uma solução	-	-	-	7:00:06

### 5.3.2 Implementação do Modelo: Estratégia 2

Consoante os resultados da estratégia 1 os dados foram reorganizados de forma a encontrar uma solução ótima para o problema. Os dados foram divididos da seguinte forma:

- as 452 paletes foram divididas em 10 fases com 49 paletes, exceto no caso, que para não separar paletes com a mesma referência, uma fase contém 47 paletes e no caso das paletes que sobram, uma fase contém 13 paletes;
- os dados também foram diminuídos para 3 *racks* e 27 níveis. Os dados foram diminuídos assim por intermédio das soluções das heurísticas construtivas onde é possível no pior caso, a alocação de 45 paletes com a maior altura em 3 *racks* ocupando 5 níveis em cada *rack*.

Os resultados desta estratégia estão apresentados na Tabela 17. Nesta implementação, só foi possível obter uma solução ótima para as primeiras duas fases e para a última. As restantes fases excederam a memória computacional e passaram por novos testes com um limite de tempo de duas horas computacionais. Ao limitar o tempo computacional espera-se que seja devolvida a solução incumbente. Foi possível encontrar soluções incumbentes para todas as fases exceto para a fase 5.1. Foi repetido o teste da fase 5.1 apenas para uma hora computacional, representante pela fase 5.2, onde foi possível encontrar a solução incumbente. Esta implementação resultou em 1661,4cm de desperdício linear e em 57673 movimentações. Apesar desta estratégia ter resultado uma solução válida para o problema, quando comparado o valor do desperdício linear desta solução com a solução da Heurística Construtiva 1 não se pode constatar o mesmo. Da solução da Heurística Construtiva 1 resultou um desperdício linear de 671,4cm. Sendo assim, não foi possível encontrar uma solução melhor fase as soluções encontradas anteriormente por métodos heurísticos.

Tabela 17: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 2

Fase	Nº de Paletes	Nº de Racks	Nº de Níveis	Resultado	Solução	Desperdício (cm)	Deslocações	Tempo execução
1	49	3	27	Encontrou a solução ótima	11699,7	49,4	21316	0:07:01
2	49	3	27	Encontrou a solução ótima	17940	86	9830	0:01:51
3	47	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	2:44:20
4	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	3:07:41
5	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	2:41:10
6	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	4:29:16
7	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	4:07:40
8	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	4:46:12
9	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	2:24:48
10	13	1	5	Encontrou a solução ótima	115	20	0	0:00:06
3.1	47	3	27	Encontrou uma solução	9349	115	9118	2:00:22
4.1	49	3	27	Encontrou uma solução	6854	228	6509	2:00:27
5.1	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	1:35:31
6.1	49	3	27	Encontrou uma solução	2893	226	2550	2:00:33
7.1	49	3	27	Encontrou uma solução	2453	290	2047	2:00:28

<b>8.1</b>	49	3	27	Encontrou uma solução	1928	341	1371	2:00:13
<b>9.1</b>	49	3	27	Encontrou uma solução	729	66	546	2:00:12
<b>5.2</b>	49	3	27	Encontrou uma solução	4644	240	4386	1:00:49

### 5.3.3 Implementação do Modelo: Estratégia 3

Consoante os resultados das duas tentativas anteriores os dados foram divididos em duas instâncias com dados de paletes industriais e europaletes. Uma instância contém dados de 403 paletes industriais, 20 *racks* e 220 níveis e a outra instância contém 49 europaletes, 3 *racks* e 33 níveis. A divisão foi efetuada para que seja encontrada uma solução melhor através da programação linear fase as soluções obtidas pelas heurísticas construtivas. Os resultados obtidos, são os presentes na Tabela 18. Na primeira fase foram testadas 403 paletes industriais para o tempo total de trabalho disponibilizado e não foi possível encontrar uma solução. Na fase seguinte, foi testado o mesmo valor de paletes, porém com um acréscimo de mais 2 *racks* e 22 níveis, às 20 *racks* e 220 níveis da fase anterior. Também não foi possível encontrar uma solução. De seguida, na fase 3, foi testado o modelo para 403 e 20 *racks*, apenas para 7 horas de trabalho computacional a fim de ser devolvida a solução incumbente. Nesta fase também não foi possível encontrar uma solução. Para as 49 europaletes, foram efetuados dois testes, correspondentes as fases 5 e 6 presentes também na Tabela 18. Na fase 5, foram testadas 49 europaletes para o tempo total de trabalho computacional disponibilizado, mas passadas 3 horas e 40 minutos de execução o trabalho parou por não ter disponível memória computacional. Consoante o resultado desta fase, foi testada uma fase seguinte para 2 horas de trabalho computacional a fim de ser devolvida uma solução. Foi encontrada uma solução para o tipo de dados inseridos. Na solução encontrada foi possível alocar as 49 europaletes em 3 *racks* e 16 níveis, com um desperdício linear de 404cm. Porém, esta solução apesar de ser válida, não se mostrou melhor do que a solução da Heurística Construtiva 1, onde foi possível alocar 49 europaletes, em 3 *rack*se 14 níveis com um desperdício linear total de 149cm. Sendo assim, não foi possível encontrar uma solução melhor fase as soluções encontradas anteriormente por métodos heurísticos.

Tabela 18: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 3

Fase	Nº de Paletes	Nº de Racks	Nº de Níveis	Resultado	Solução	Desperdício (cm)	Deslocações	Tempo execução
1	403	20	220	Esgotou o tempo	-	-	-	8:00:14
2	403	22	242	Esgotou o tempo	-	-	-	8:00:13
3	403	20	220	Não encontrou uma solução	-	-	-	7:00:11
4	49	3	33	Excedeu a memória	-	-	-	03:42:39
5	49	3	33	Encontrou uma solução	1169	404	1506	2:00:08

#### 5.3.4 Implementação do Modelo: Estratégia 4

Outra forma de abordar o mesmo problema foi aproveitar as paletes com referências iguais. Existem paletes com referências e alturas iguais que conseguem completar todas as posições de um nível de uma *rack* de acordo com o seu tipo de paleta, sem qualquer desperdício. Assim, para que o modelo não fique sobrecarregado com estes casos foram retiradas da instância de dados as paletes com referências e alturas iguais que conseguiam ocupar as posições de um nível de acordo com os dois tipos de paletes. Lembra-se que as paletes industriais ocupam três posições num nível e as europaletes ocupam quatro posições num nível. A instância final incluiu 327 paletes, em que 286 são paletes industriais e 41 europaletes. Os resultados obtidos para esta estratégia estão presentes na Tabela 19. Foram realizadas três fases para esta tentativa. Na fase 1 foram testadas as 327 paletes com 20 *racks* para o tempo total de trabalho computacional e não foi encontrada uma solução. Na fase 2 foi efetuado um teste para o mesmo número de paletes da fase anterior, mas para 22 *racks* e também não foi encontrada uma solução. Na fase 3 foram testados para os mesmos dados da fase anterior e 7 horas de trabalho computacionais a fim de ser devolvida a solução incumbente. Foi possível encontrar uma solução, com um desperdício total de 4183,4cm. Porém, apesar da solução devolvida ser válida, quando se faz uma comparação com as soluções heurísticas construtivas, não é uma boa solução. Da solução da Heurística Construtiva 1 resultou um desperdício linear de 671,4cm. Sendo assim, não foi possível encontrar uma solução melhor fase as soluções encontradas anteriormente por métodos heurísticos

Tabela 19: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 4

Fase	Nº de Paletes	Nº de Racks	Nº de Níveis	Resultado	Solução	Desperdício (cm)	Deslocações	Tempo execução
1	327	20	220	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:04
2	327	22	242	Esgotou o tempo	-	-	-	8:00:09
3	327	22	242	Encontrou uma solução	33949,7	4183,4	60092	7:00:31

### 5.3.5 Implementação do Modelo: Estratégia 5

Assim como na estratégia 2, foram reorganizados os dados da estratégia anterior, a fim de encontrar uma solução ótima. Os dados foram divididos da seguinte forma:

- as 327 paletes foram divididas em 7 fases com 49 paletes. Exceto no caso, que para não separar paletes com a mesma referência, uma fase contém 48 paletes e no caso das paletes que sobram, uma fase tem 34 paletes.
- Também o valor de *racks* foi diminuído para 3 *racks* e 27 níveis.

Os resultados obtidos estão representados na Tabela 20. Nesta implementação, não foi possível encontrar uma solução para as sete fases. Os testes computacionais foram repetidos com limitação de 6 horas computacionais para a primeira fase e de 7 horas computacionais para as restantes fases. Só foi apenas encontrada uma solução para a fase 1.1. Sendo assim, não foi possível encontrar uma solução viável para esta tentativa.

Tabela 20: Fases de Implementação do Modelo: Estratégia 5

Fase	Nº de Paletes	Nº de Racks	Nº de Níveis	Resultado	Solução	Desperdício (cm)	Deslocações	Tempo execução
1	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	06:30:29
2	48	3	27	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:04
3	49	3	27	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:03

4	49	3	27	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:09
5	49	3	27	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:08
6	49	3	27	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:13
7	34	3	27	Esgotou o tempo	-	-	-	08:00:19
1.1	49	3	27	Encontrou uma Solução	16494,40	224,4	16253	1:26:26
2.1	48	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	6:03:02
3.1	49	3	27	Não encontrou uma solução	-	-	-	5:14:43
4.1	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	3:15:17
5.1	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	6:03:41
6.1	49	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	1:52:37
7.1	34	3	27	Excedeu a memória	-	-	-	4:56:35

Foram efetuados vários testes computacionais com a finalidade de encontrar uma solução ótima. Contudo, não foi possível encontrar uma solução viável para o problema. O problema envolve programação linear inteira mista que acumula e armazena na memória computacional todos os passos dados até obter uma solução. Como o problema envolve muitas restrições, tornando o processo de obtenção de uma solução complexo e lento não sendo possível encontrar uma solução com a utilização do *NEOSServer*.

### 5.3.6 Heurística Construtiva 3

A Heurística Construtiva 3 foi desenvolvida para encontrar uma solução válida para o problema já que, não foi possível encontrar por um modelo de programação linear a solução ótima. Foram utilizados os

critérios das heurísticas apresentadas anteriormente e também critérios utilizados no modelo de programação linear. Os critérios utilizados na Heurística Construtiva 3 são os seguintes:

- minimizar o desperdício entre as alturas das paletes alocadas em cada nível;
- minimizar as movimentações fazendo uma alocação seguindo as classes ABC dos produtos;
- só é possível alocar produtos até 22 *racks*;
- as *racks* de armazenamento só podem atingir uma altura menor ou igual a 577cm;
- sempre que um nível se completa, em posições, é colocada uma barra metálica de 9cm. A altura do nível deve ser ajustada a um valor múltiplo de 7,5cm (valor de posicionamento da barra metálica) e deve incluir a altura máxima da paleta alocada no nível e a altura da barra metálica;
- esta heurística é desenvolvida para paletes industriais e europaletes. Numa *rack* podem ser armazenadas paletes do mesmo género ou paletes com género diferente. No entanto, deve ser evitada a junção dos dois tipos de paletes para serem aproveitados as quatro posições quando armazenadas europaletes. Lembra-se que quando se faz a alocação dos dois tipos de paletes no mesmo nível só é possível ocupar três posições;
- sempre que possível, as referências com duas paletes iguais e com diferentes alturas devem ser alocadas na vertical, isto é, em níveis diferentes consecutivos. Assim, são abertos dois níveis com duas alturas diferentes das paletes, minimizando o desperdício;
- as paletes com a mesma referência devem ser alocadas em locais próximos, isto é, nas posições do mesmo nível, em níveis vizinhos da mesma *rack*, e se necessário em *racks* consecutivas;
- depois da solução ser encontrada os níveis devem ser organizados de forma crescente conforme a sua altura em cada *rack*.

É importante referir que:

- num nível é possível alocar três paletes industriais, ou quatro europaletes, ou duas paletes industriais e uma europaleta ou duas europaletes e uma paleta industrial;
- a numeração dos níveis é efetuada começando no número zero. O nível zero representa o nível do solo.

A solução heurística foi efetuada seguindo a ordem da taxa de rotatividade de cada produto. O produto com a taxa de rotatividade mais alta é alocado em primeiro lugar criando assim o primeiro nível. Se o próximo produto tiver a mesma altura do anterior é alocado no mesmo nível, caso contrário o produto é alocado no nível consecutivo e assim sucessivamente. A solução da Heurística Construtiva 3 está apresentada na Figura 39. O “x” representa que não é possível efetuar a alocação de paletes nas posições indicadas.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA305	33 - PA485	33 - PA40	33 - PA391	33 - PA498	33 - PA390	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	33 - PA281	33 - PA91	33 - PA92	79 - PA233	79 - PA233	79 - PA233	33 - PA137	33 - PA96	33 - PA138
Nível 1	47 - PA458	47 - PA42+PA519+PA520	46 - PA25	33 - PA392	33 - PA453	33 - PA31	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	47 - PA29	47 - PA30	47 - PA28	79 - PA233	79 - PA233	79 - PA234	59 - PA332	59 - PA89	59 - PA90
Nível 2	59 - PA133	59 - PA382	59 - PA383	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA234	79 - PA234	79 - PA234					
Nível 3	79 - PA457	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA239
Nível 4	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA239					
Nível 5	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA239					
Nível 6	83,2 - PA387	79 - PA381	59 - PA381	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	x	x	x	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	x	x	x	79 - PA358	79 - PA358	79 - PA358
Nível 7	x	x	x	x	x	x				x	x	x				x	x	x
Nível 8																		

	Rack7			Rack8			Rack9			Rack10			Rack11			Rack12			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	
Nível 0	33 - PA52	33 - PA44	33 - PA534	33 - PA429	33 - PA143	33 - PA144	39 - PA447	39 - PA535	39 - PA546	x	49 - PA565	46 - PA102	39 - PA445	33 - PA103	33 - PA104	33 - PA106	49 - PA407	49 - PA408	49 - PA656
Nível 1	39 - PA448	39 - PA440	39 - PA636	59 - PA555	59 - PA551	49 - PA567	39 - PA604	39 - PA313	39 - PA444	x	39 - PA259	39 - PA142	39 - PA258	33 - PA304	33 - PA54	33 - PA105	109 - PA527	109 - PA527	109 - PA656
Nível 2	47 - PA87	46 - PA394	46 - PA394	79 - PA607	79 - PA607	59 - PA607	39 - PA509	39 - PA507	39 - PA256	x	79 - PA259	79 - PA142	79 - PA258	39 - PA153	39 - PA165	33 - PA213	109 - PA528	109 - PA528	109 - PA524
Nível 3	42 - PA262	42 - PA266	39 - PA443	79 - PA351	79 - PA351	79 - PA352	79 - PA509	79 - PA507	79 - PA256	x	79 - PA207	79 - PA207	59 - PA545	39 - PA270	39 - PA290	39 - PA564	109 - PA525	109 - PA525	109 - PA524
Nível 4	61 - PA112	33 - PA112	59 - PA442	79 - PA315	79 - PA566	79 - PA352	79 - PA601	79 - PA601	79 - PA601	x	79 - PA261	79 - PA261	79 - PA261	79 - PA270	79 - PA512	79 - PA512	115 - PA260	115 - PA260	89 - PA260
Nível 5	79 - PA608	79 - PA608	59 - PA608	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA621	x	79 - PA261	79 - PA583	79 - PA583	49 - PA316	47 - PA635	46 - PA53	x	x	x
Nível 6	79 - PA384	39 - PA384	59 - PA441	79 - PA622	79 - PA622	79 - PA622	109 - PA619	109 - PA619	79 - PA575	79 - PA575	79 - PA548	79 - PA208	79 - PA208	59 - PA550	59 - PA552	59 - PA606			
Nível 7	79 - PA600	79 - PA600	79 - PA600	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Nível 8	x	x	x											61 - PA573	61 - PA574	59 - PA511			

	Rack13			Rack14			Rack15			Rack16			Rack17			Rack18		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA296	33 - PA432	33 - PA161	33 - PA295	33 - PA533	33 - PA162	39 - PA159	39 - PA513	39 - PA514	39 - PA577	39 - PA578	39 - PA594	33 - PA140	33 - PA428	33 - PA643	33 - PA139	33 - PA642	33 - PA584
Nível 1	39 - PA559	39 - PA560	39 - PA343	39 - PA455	39 - PA489	39 - PA495	49 - PA7	39 - PA356	39 - PA380	79 - PA577	79 - PA578	79 - PA556	39 - PA160	39 - PA300	39 - PA301	33 - PA83	33 - PA333	33 - PA350
Nível 2	79 - PA559	79 - PA560	79 - PA557	39 - PA497	39 - PA505	39 - PA164	79 - PA7	79 - PA318	79 - PA319	59 - PA395	59 - PA496	59 - PA68	59 - PA69	59 - PA77	59 - PA668	39 - PA355	39 - PA499	39 - PA542
Nível 3	79 - 605150041	79 - 605150042	79 - PA385	59 - PA70	59 - PA71	59 - PA75	59 - PA493	59 - PA490	59 - PA491	99 - PA395	99 - PA492	99 - PA590	59 - PA501	59 - PA669	59 - PA354	39 - PA156	39 - PA157	39 - PA368
Nível 4	109 - PA529	109 - PA529	109 - PA526	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA264	79 - PA264	79 - PA264	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA501	99 - PA591	79 - PA329	46 - PA163	41 - PA274	41 - PA275
Nível 5	119 - PA484	119 - PA484	99 - PA526	99 - PA522	99 - PA523	99 - PA298	79 - PA320	79 - PA321	79 - PA494	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	49 - PA363	49 - PA364	49 - PA9	59 - PA65	59 - PA66	49 - PA269
Nível 6	x	x	x	109 - PA522	109 - PA523	99 - PA486	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA487	x	x	x	109 - PA363	109 - PA364	79 - PA9	39 - PA531	39 - PA532	39 - PA640
Nível 7				x	x	x	x	x	x				x	x	x			
Nível 8																79 - PA330	79 - PA641	79 - PA641

	Rack19				Rack20				Rack21			Rack22		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	59 - PA134	59 - PA74	59 - PA386	x	33 - PA299	33 - PA393	33 - PA85	x	33 - PA645	33 - PA637		39 - PA506		
Nível 1	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	39 - PA654	39 - PA655	39 - PA657	x	59 - PA647	59 - PA648	59 - PA587	59 - PA670	59 - PA672	
Nível 2	109 - PA375	49 - PA375	109 - PA376	49 - PA376	39 - PA646	39 - PA595	39 - PA367	x	59 - PA55	59 - PA57	59 - PA58	79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237
Nível 3	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	39 - PA446	39 - PA596	39 - PA597	x	59 - PA500	59 - PA64	59 - PA67			
Nível 4	109 - PA626	109 - PA626	109 - PA618	109 - PA618	39 - PA603	39 - PA570	39 - PA651	x	79 - PA500	79 - 605150032	79 - 605150031	109 - PA624	109 - PA624	
Nível 5	x	x	x	x	39 - PA158	39 - PA166	39 - PA593	x	79 - PA502	79 - PA502	79 - PA502			
Nível 6					39 - PA639	39 - PA154	39 - PA155	x	79 - PA502					
Nível 7					79 - PA639	79 - PA344	79 - PA345	x	x					
Nível 8					109 - PA633	109 - PA633	109 - PA620	109 - PA620						

Figura 39: Conjunto de Figuras do Resultado da Solução da Heurística Construtiva 3

As paletes foram alocadas seguindo a sua taxa de rotatividade. Os valores da taxa de rotatividade das europalletes têm valores muito distintos ficando muito longe umas das outras. Consequentemente, não foi possível aproveitar tão bem a característica de alocação das europalletes, que é a ocupação de quatro posições num nível. Só foi possível fazer a alocação em quatro posições nas *Racks* 9, 19 e 20 em 6 níveis como se pode verificar nas sinalizações com retângulos amarelos na Figura 39. Nas soluções heurísticas anteriores foi possível aproveitar as quatro posições até 10 níveis.

Sempre que possível foram alocadas paletes de forma a aproveitar o espaço dentro dos níveis. As paletes foram alocadas na vertical em níveis diferentes consecutivos formando assim, duas alturas diferentes em cada nível. É o caso do PA395, alocado na *Rack* 18 nos Níveis 2 e 3 que contém duas paletes com a mesma referência e altura de 99cm e 59cm como se pode ver na Figura 40. Se por exemplo, as duas estivessem alocadas na horizontal do Nível 2 faria um desperdício entre a diferença de alturas das duas paletes de 40cm. Ao alocar as paletes na vertical ocupando dois níveis consecutivos e é minimizado o desperdício.

	Rack16		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	39 - PA577	39 - PA578	39 - PA594
Nível 1	79 - PA577	79 - PA578	79 - PA556
Nível 2	59 - PA395	59 - PA496	59 - PA68
Nível 3	99 - PA395	99 - PA492	99 - PA590
Nível 4	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488
Nível 5	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488
Nível 6	x	x	x
Nível 7			
Nível 8			

Figura 40: Rack 16 da Solução Heurística Construtiva 3

No entanto, nem sempre foi possível fazer uma alocação de paletes de forma a minimizar o desperdício. Por exemplo, como pode ser visto na Figura 41, na Rack 19, no Nível 2 foram alocados o PA375 e PA376, que compreendem paletes com alturas de 109cm e 49cm. Esta alocação resultou em 120cm de desperdício linear. Estas paletes com a mesma referência foram alocadas na horizontal do nível. Não foi possível uma alocação de forma a minimizar o desperdício originado entre a diferença das alturas das paletes.

	Rack19			
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4
Nível 0	59 - PA134	59 - PA74	59 - PA386	x
Nível 1	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375
Nível 2	109 - PA375	49 - PA375	109 - PA376	49 - PA376
Nível 3	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376
Nível 4	109 - PA626	109 - PA626	109 - PA618	109 - PA618
Nível 5	x	x	x	x
Nível 6				
Nível 7				
Nível 8				

Figura 41: Rack 19 da Solução da Heurística Construtiva 3

A Figura 42, compreende a perspectiva da alocação dos produtos segundo os três tipos de classes. A classe A tem cor verde, a classe B tem cor laranja e por fim, a classe C tem cor azul. É perceptível a transição para as diferentes classes, na Rack 11 e na Rack 17 conforme o assinalado com retângulos amarelos na Figura 42. O critério de minimizar movimentações foi alcançado nesta solução heurística (na solução da Heurística Construtiva 1 o critério de minimizar movimentações não foi atingido e na solução da Heurística Construtiva 2 o critério de minimizar movimentações foi atingido). O “x” na Figura 42 representa que não é possível efetuar a alocação de paletes nas posições indicadas.

	Rack1			Rack2			Rack3			Rack4			Rack5			Rack6		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA305	33 - PA485	33 - PA40	33 - PA391	33 - PA498	33 - PA390	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	33 - PA281	33 - PA91	33 - PA92	79 - PA233	79 - PA233	79 - PA233	33 - PA137	33 - PA96	33 - PA138
Nível 1	47 - PA458	47 - PA42+PA519+PA520	46 - PA25	33 - PA392	33 - PA453	33 - PA31	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	47 - PA29	47 - PA30	47 - PA28	79 - PA233	79 - PA233	79 - PA234	59 - PA332	59 - PA89	59 - PA90
Nível 2	59 - PA133	59 - PA382	59 - PA383	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA234	79 - PA234	79 - PA234	79 - PA229	79 - PA229	79 - PA568
Nível 3	79 - PA457	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA234	79 - PA378	79 - PA378	79 - PA627	79 - PA627	79 - PA627
Nível 4	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA326	79 - PA326	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA239	79 - PA627	79 - PA230	79 - PA230				
Nível 5	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA325	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA328	79 - PA238	79 - PA238	79 - PA238	79 - PA357	79 - PA357	79 - PA357					
Nível 6	83,2 - PA387	79 - PA381	59 - PA381	79 - PA327	79 - PA327	79 - PA327	x	x	x	79 - PA328	79 - PA328	79 - PA328	x	x	x	79 - PA358	79 - PA358	79 - PA358
Nível 7	x	x	x	x	x	x				x	x	x				x	x	x
Nível 8																		

	Rack7			Rack8			Rack9				Rack10			Rack11			Rack12		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA52	33 - PA44	33 - PA534	33 - PA429	33 - PA143	33 - PA144	39 - PA447	39 - PA535	39 - PA546	x	49 - PA565	46 - PA102	39 - PA445	33 - PA103	33 - PA104	33 - PA106	49 - PA407	49 - PA408	49 - PA656
Nível 1	39 - PA448	39 - PA440	39 - PA636	59 - PA555	59 - PA551	49 - PA567	39 - PA604	39 - PA313	39 - PA444	x	39 - PA259	39 - PA142	39 - PA258	33 - PA304	33 - PA54	33 - PA105	109 - PA527	109 - PA527	109 - PA527
Nível 2	47 - PA87	46 - PA394	46 - PA394	79 - PA607	79 - PA607	59 - PA607	39 - PA509	39 - PA507	39 - PA256	x	79 - PA259	79 - PA142	79 - PA258	39 - PA153	39 - PA165	33 - PA213	109 - PA528	109 - PA528	109 - PA524
Nível 3	42 - PA262	42 - PA266	39 - PA443	79 - PA351	79 - PA351	79 - PA352	79 - PA509	79 - PA507	79 - PA256	x	79 - PA207	79 - PA207	59 - PA545	39 - PA270	39 - PA290	39 - PA564	109 - PA525	109 - PA525	109 - PA524
Nível 4	61 - PA112	33 - PA112	59 - PA442	79 - PA315	79 - PA315	79 - PA352	79 - PA601	79 - PA601	79 - PA601	x	79 - PA261	79 - PA261	79 - PA261	79 - PA270	79 - PA512	79 - PA512	115 - PA260	115 - PA260	83 - PA260
Nível 5	79 - PA608	79 - PA608	59 - PA608	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA621	79 - PA576	79 - PA576	79 - PA589	x	79 - PA261	79 - PA583	79 - PA583	49 - PA316	47 - PA635	46 - PA53	x	x	x
Nível 6	79 - PA384	39 - PA384	59 - PA441	79 - PA622	79 - PA622	79 - PA622	109 - PA619	109 - PA619	79 - PA575	79 - PA575	79 - PA548	79 - PA208	79 - PA208	59 - PA550	59 - PA552	59 - PA606			
Nível 7	79 - PA600	79 - PA600	79 - PA600	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	59 - PA549	59 - PA517	59 - PA515			
Nível 8	x	x	x											61 - PA573	61 - PA574	59 - PA511			

	Rack13			Rack14			Rack15			Rack16			Rack17			Rack18		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	33 - PA296	33 - PA432	33 - PA161	33 - PA295	33 - PA533	33 - PA162	39 - PA159	39 - PA513	39 - PA514	39 - PA577	39 - PA578	39 - PA594	33 - PA140	33 - PA428	33 - PA643	33 - PA139	33 - PA642	33 - PA584
Nível 1	39 - PA559	39 - PA560	39 - PA343	39 - PA455	39 - PA489	39 - PA495	49 - PA7	39 - PA356	39 - PA380	79 - PA577	79 - PA578	79 - PA556	39 - PA160	39 - PA300	39 - PA301	33 - PA83	33 - PA333	33 - PA350
Nível 2	79 - PA559	79 - PA560	79 - PA557	39 - PA497	39 - PA505	39 - PA164	79 - PA7	79 - PA318	79 - PA319	59 - PA395	59 - PA496	59 - PA68	59 - PA69	59 - PA77	59 - PA668	39 - PA355	39 - PA499	39 - PA542
Nível 3	79 - 605150041	79 - 605150042	79 - PA385	59 - PA70	59 - PA71	59 - PA75	59 - PA493	59 - PA490	59 - PA491	99 - PA395	99 - PA492	99 - PA590	59 - PA501	59 - PA669	59 - PA354	39 - PA156	39 - PA157	39 - PA368
Nível 4	109 - PA529	109 - PA529	109 - PA526	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA263	79 - PA264	79 - PA264	79 - PA264	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA501	99 - PA591	79 - PA329	46 - PA163	41 - PA274	41 - PA275
Nível 5	119 - PA484	119 - PA484	99 - PA526	99 - PA522	99 - PA523	99 - PA298	79 - PA320	79 - PA321	79 - PA494	99 - PA488	99 - PA488	99 - PA488	49 - PA363	49 - PA364	49 - PA9	59 - PA65	59 - PA66	49 - PA269
Nível 6	x	x	x	109 - PA522	109 - PA523	99 - PA486	99 - PA487	99 - PA487	99 - PA487	x	x	x	109 - PA363	109 - PA364	79 - PA9	39 - PA531	39 - PA532	39 - PA640
Nível 7				x	x	x	x	x	x							79 - PA531	79 - PA532	79 - PA640
Nível 8																79 - PA330	79 - PA641	79 - PA641

	Rack19				Rack20				Rack21			Rack22		
	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 1	Posição 2	Posição 3
Nível 0	59 - PA134	59 - PA74	59 - PA386	x	33 - PA299	33 - PA393	33 - PA85	x	33 - PA645	33 - PA637		39 - PA506		
Nível 1	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	109 - PA375	39 - PA654	39 - PA655	39 - PA657	x	59 - PA647	59 - PA648	59 - PA587	59 - PA670	59 - PA672	
Nível 2	109 - PA375	49 - PA375	109 - PA376	49 - PA376	39 - PA646	39 - PA595	39 - PA367	x	59 - PA55	59 - PA57	59 - PA58	79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237
Nível 3	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	109 - PA376	39 - PA446	39 - PA596	39 - PA597	x	59 - PA500	59 - PA64	59 - PA67	79 - PA237	79 - PA237	79 - PA237
Nível 4	109 - PA626	109 - PA626	109 - PA618	109 - PA618	39 - PA603	39 - PA570	39 - PA651	x	79 - PA500	79 - 605150032	79 - 605150031	109 - PA624	109 - PA624	
Nível 5	x	x	x	x	39 - PA158	39 - PA166	39 - PA593	x	79 - PA502	79 - PA502	79 - PA502			
Nível 6					39 - PA639	39 - PA154	39 - PA155	x	79 - PA502					
Nível 7					79 - PA639	79 - PA344	79 - PA345	x						
Nível 8					109 - PA633	109 - PA633	109 - PA620	109 - PA620						

Figura 42: Conjunto de Figuras Perspetiva da Alocação dos Produtos Segundo a Análise ABC Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 3

Na Tabela 21 estão representadas as posições onde cada barra metálica deve ser posicionada que representa também a altura de cada nível em cada rack.

Tabela 21: Posições da Barra Separadora de Níveis Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 3

	Nível 0	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Nível 7	Nível 8
Rack 1	45	105	180	270	360	450	547,5		
Rack 2	45	90	180	270	360	450	540		
Rack 3	90	180	270	360	450	540			
Rack 4	45	105	195	285	375	465	555		
Rack 5	90	180	270	360	450	540			
Rack 6	45	120	210	300	390	480	570		
Rack 7	45	97,5	157,5	210	285	375	465	555	
Rack 8	45	120	210	300	390	480	570		
Rack 9	52,5	105	157,5	247,5	337,5	427,5	547,5		
Rack 10	60	112,5	202,5	292,5	382,5	472,5	562,5		
Rack 11	45	90	142,5	195	285	345	420	495	570
Rack 12	60	180	300	420	547,5				

<b>Rack 13</b>	45	97,5	187,5	277,5	397,5	532,5			
<b>Rack 14</b>	45	97,5	150	225	315	427,5	547,5		
<b>Rack 15</b>	52,5	112,5	202,5	277,5	367,5	457,5	570		
<b>Rack 16</b>	52,5	127,5	217,5	330	442,5	555			
<b>Rack 17</b>	45	97,5	172,5	247,5	360	420	540		
<b>Rack 18</b>	45	90	142,5	195	255	330	382,5	472,5	562,5
<b>Rack 19</b>	75	195	315	435	555				
<b>Rack 20</b>	45	97,5	150	202,5	255	307,5	360	450	570
<b>Rack 21</b>	45	120	195	270	360	450	540		
<b>Rack 22</b>	52,5	127,5	217,5	307,5	427,5				

Na Tabela 22, estão apresentados os resultados estatísticos referentes à solução heurística desenvolvida. No total foram utilizadas 22 *racks* para armazenar o produto acabado em paletes industriais e criados 152 níveis. Contudo, 24 níveis contêm desperdício entre a altura da paleta mais alta e as restantes paletes alocadas num nível, sendo atingido um total de 552,4cm de desperdício linear (na solução da Heurística Construtiva 1 foi atingido um desperdício linear total de 671,4cm e na solução da Heurística Construtiva 2 foi atingido um desperdício linear de 2531,4cm).

*Tabela 22: Resultados Estatísticos Relativamente à Solução da Heurística Construtiva 3*

<b>Racks</b>	<b>Nº de Níveis</b>	<b>Altura Total Rack (cm)</b>	<b>Total Desperdício de Altura (cm)</b>	<b>Nº Níveis Desperdício</b>	<b>Valor do Desperdício (cm)</b>
1	7	547,5	29,5	2	29,4
2	7	540	37	0	0
3	6	540	37	0	0
4	7	555	22	0	0
5	6	540	37	0	0
6	7	570	7	0	0
7	8	555	22	5	115
8	7	570	7	2	30
9	7	547,5	29,5	1	60

10	7	562,5	14,5	2	33
11	9	570	7	3	13
12	5	547,5	29,5	1	32
13	6	532,5	44,5	1	20
14	7	547,5	29,5	1	10
15	7	570	7	1	20
16	6	555	22	0	0
17	7	540	37	2	50
18	9	562,5	14,5	2	20
19	5	555	22	1	120
20	9	570	7	0	0
21	7	540	37	0	0
22	5	427,5	149,5	0	0
<b>Total</b>	152			24	552,4

A solução da Heurística Construtiva 3 apresenta-se como válida para o problema. Foi possível uma alocação de todo o produto acabado nas 22 *racks* de armazenamento disponibilizadas. Esta solução heurística também obteve um resultado inferior de desperdício linear quando comparado com as soluções das outras heurísticas. A solução Heurística Construtiva 3 também alcançou o critério de minimização de movimentações.



## 6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O projeto de dissertação foi desenvolvido através de um estágio curricular numa empresa do setor da indústria automóvel. A empresa encontra-se em franca expansão e decidiu aumentar a sua área de armazenamento. Assim, torna-se importante estruturar novos *layouts* correspondendo às necessidades atuais da organização. Esta dissertação teve como principal objetivo o estudo de um novo *layout* no armazém, mais precisamente estipular novas divisões nas *racks* de armazenamento, bem como uma nova afetação de paletes às posições de armazenamento, com a finalidade de obter um armazém mais organizado e com mais espaço para armazenamento.

Inicialmente foi elaborado um enquadramento da dissertação que reverte para atualidade da indústria automóvel em Portugal e para a importância da estruturação de *layouts* eficientes numa organização. Também foram estipulados os objetivos pretendidos com o presente projeto e ainda exposta a metodologia de investigação utilizada, o estudo de caso.

Posteriormente foi elaborada uma revisão da literatura com os conteúdos programáticos abrangidos no estudo da dissertação. Os conteúdos abordados dizem respeito à logística e a cadeia de abastecimento, à armazenagem e sistema produtivo e também à metodologia utilizada como, a análise ABC, programação linear e métodos heurísticos.

Também foi efetuada uma apresentação da empresa onde decorreu o projeto. Na apresentação foi feita a identificação da empresa, uma breve descrição da sua história e foi descrito o funcionamento das áreas de produção e do armazém.

Foram expostos vários problemas identificados na empresa nas áreas da produção e do armazém durante o percurso de estágio. Um dos problemas identificados é a falta de armazenamento para todo o produto acabado no armazém. A falta de espaço para o armazenamento traz anomalias ao fluxo e processos dos materiais, assim como também, dificuldades de acessibilidade às *racks* de armazenamento. As anomalias indicadas afetam também a produção. Os colaboradores responsáveis por uma célula produtiva fazem deslocações ao armazém para fazer o seu abastecimento. A falta de acessibilidade às *racks* compromete os níveis de produtividade e originam desperdícios de movimentação, espera e transporte. O início da produção em série de novos produtos e o facto de não ser praticado na totalidade o JIT (*Just-In-Time*), isto é, produzir na quantidade certa e no tempo certo, são mais dois motivos para a falta de espaço de armazenamento no armazém. Existem normas que são instituídas às organizações do setor da indústria automóvel. Um requisito de uma das normas é a imposição de uma percentagem acrescida à procura habitual. Isto é, para além de ser efetuada uma

produção para satisfazer uma encomenda é também produzida uma percentagem a mais dessa produção, que deve ser armazenada como *stock* de segurança. Este tipo de requisito faz com que sejam eliminados ou minimizados riscos que podem ocorrer, por exemplo, avaria de máquinas, greves, entre outros.

O problema escolhido nesta dissertação diz respeito à divisão mal estruturada das *racks* em níveis de armazenamento, que é outro dos motivos para a falta de espaço de armazenamento. Foram identificados níveis nas *racks* mal divididas onde era perceptível a existência de um espaço vazio por cima da palete colocada nesse nível que podia ser aproveitado para o armazenamento de mais produtos.

De acordo com o problema apresentado foram levantados e analisados dados relativos aos recursos envolvidos, tendo em conta as necessidades atuais da empresa. Foram analisados os consumos mensais e semanais de produtos, a taxa de rotatividade anual do produto acabado e o tipo de armazenamento de cada produto em relação às caixas e às paletes. Foi obtida a altura total das paletes através da quantidade de caixas por paleta, da dimensão das caixas, da altura do estrado da paleta e da medida de manuseio referente à altura necessária para manusear uma paleta dentro de um nível. Também foram analisadas as dimensões e características das *racks* de armazenamento do armazém. Foi também elaborada uma análise ABC para perceção de quais os produtos que possuem maior importância para a empresa. Esta análise foi efetuada através do critério de frequência de saída de cada produto do armazém para o consumidor final.

Posteriormente foram utilizadas várias metodologias para resolução do problema. Inicialmente foram desenvolvidas duas heurísticas construtivas de forma a estabelecer uma melhor interação com o problema real. Estas heurísticas foram desenvolvidas no *Microsoft Office Excel*. A construção das heurísticas consistiu na alocação dos produtos em níveis das *racks* de armazenamento seguindo a taxa de rotatividade de cada produto. Apesar das duas heurísticas incluírem critérios de construção equivalentes, elas seguiram alguns procedimentos diferentes. Ambas as heurísticas tinham como critérios a minimização do desperdício linear e a minimização das movimentações. No entanto, na sua construção uma das heurísticas evidencia mais a minimização do desperdício e a outra heurística evidencia mais a minimização das movimentações. Das duas soluções heurísticas encontradas foi possível interpretar que quando o objetivo é diminuir o desperdício de espaço existente nos níveis de armazenamento, os produtos ficam mais afastados em termos de classes ABC; quando o objetivo é diminuir movimentações de paletes, gera-se mais desperdício de espaço existente nos níveis das *racks* de armazenamento.

De seguida foi elaborado um modelo de programação linear inteira mista com a finalidade de encontrar uma solução ótima para o problema. O modelo foi desenvolvido e implementado em linguagem AMPL. O modelo MILP contém uma função objetivo com quatro parcelas e contém 13 restrições. A validação do modelo foi efetuada através da plataforma gratuita *NEOSServer* recorrendo aos *solvers* comerciais disponíveis. O *Gurobi* foi o *solver* escolhido para efetuar testes computacionais porque se destacou na rapidez e na qualidade das soluções obtidas. Apesar do *NEOSServer* ser considerado muito vantajoso por se tratar de uma plataforma gratuita, tem algumas limitações no uso como, o tempo de execução e a memória computacional. Foram efetuados vários testes computacionais em forma de tentativas incluindo várias abordagens com a finalidade de encontrar uma solução ótima para o modelo. No entanto, nem sempre foi possível encontrar uma solução ótima para o problema, por falta de memória computacional, ou por falta de tempo de execução. Por outro lado, em algumas das instâncias em que foi possível obter-se a solução incumbente, verificou-se que as soluções dos métodos heurísticos construtivos se mostraram melhores face às soluções encontradas através *Gurobi*.

O facto da função objetivo do modelo MILP ser extensa e complexa pode ser a maior causa da dificuldade para se obter soluções ótimas ou válidas.

A natureza fortemente combinatoria do problema exige ao *solver* um registo muito grande de nodos na árvore da partição e de avaliações sucessivas esgotando rapidamente a memória disponível, mesmo na abordagem de instâncias de pequena dimensão do problema real. Contudo, foi explorada uma solução viável através de uma terceira heurística construtiva. Nesta heurística foram empregados os critérios utilizados nas outras duas heurísticas construtivas e os critérios utilizados na elaboração do modelo de programação linear. Na solução apresentada pela heurística foi possível alocar todo o produto acabado nas 22 *racks* disponíveis, minimizando as deslocações e obtendo um valor de desperdício linear aceitável quando comparado com as soluções das outras heurísticas.

Recomenda-se a implementação da solução heurística encontrada na empresa para ser possível um estudo pormenorizado sobre as melhorias na acessibilidade aos produtos nas *racks*, nos níveis de produtividade e no fluxo do produto acabado. Ao fim de todo o processo de implementação da solução espera-se que sejam eliminados os desperdícios de esperas, transporte e movimentos presentes atualmente na empresa.

Em relação ao modelo de programação linear, uma vez que se trata de um problema complexo, como trabalho futuro propõem-se o desenho de uma função objetivo diferente e que não seja muito exigente no ponto de vista computacional. A implementação de meta-heurísticas poderá também ajudar a obter soluções de melhor qualidade e em tempo de computação aceitável.

Recomenda-se ainda que as três heurísticas construtivas sejam integradas num *software* de apoio à tomada de decisão com a finalidade de serem obtidas soluções estratégicas de forma mais rápida.

## BIBLIOGRAFIA

- Adullah, F. (2003). Lean Manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel, 245.
- AFIA. (2018). Indústria de componentes para automóveis. *AFIA - Indústria de Componentes Para Automóveis*, 7.
- Bahrami, B., Aghezzaf, E., & Limère, V. (2011). Simulation based performance analysis of an autonomous vehicle storage and retrieval system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(7), 1640–1650. <https://doi.org/DOI 10.1016/j.simpat.2011.02.008>
- Bronson, R., & Naadimuthu, G. (2000). *Investigação Operacional*.
- Bruijn, J. de, Oosting, K., Gierveld, G., & Bosch, S. van den. (1973). CSi portal. Retrieved February 26, 2018, from <http://www.csiportal.com/en/client-tools/pallet-pattern-builder>
- Brunnermeier, S. B., & Martin, S. a. (1999). Interoperability cost analysis of the US automotive supply chain: Final report, (7007). Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=0IPD3KnavTgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Interoperability+Cost+Analysis+of+the+U+.+S+.+Automotive+Supply+Chain&ots=LLt9ZmTvW-&sig=pEpSOW2JoNeS6tzj7GAqxavpXCU>
- Carvalho, J. C. de. (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*.
- Chase, R. B. and, & Aquilano, N. J. (1995). *Gestão da Produção e das Operações*.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & supply chain management. Logistics and Supply Chain Management*. <https://doi.org/10.1007/s12146-007-0019-8>
- Courtois, A., Pileet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2006). *Gestão da Produção*.
- CSCMP. (2013). Terms and Glossary Supply Chain Management.
- Desale, S., Rasool, A., Andhale, S., & Rane, P. (2015). Heuristic and Meta-Heuristic Algorithms and Their Relevance to the Real World: A Survey. *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, 351(5), 2349–7084. Retrieved from <http://www.ijcert.org>
- Doran, D., Hill, A., Hwang, K. S., & Jacob, G. (2007). Supply chain modularisation: Cases from the French automobile industry. *International Journal of Production Economics*, 106(1), 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.04.006>
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>
- Fourer, R., Gay, D. M., & Kernighan, B. W. (1990). A Modeling Language for Mathematical Programming.

- Management Science*, 36(5), 519–554. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.5.519>
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- Hasan, M. A., Sarkis, J., & Shankar, R. (2012). Agility and production flow layouts: An analytical decision analysis. *Computers and Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.011>
- Hassan, M. M. D. (2002). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20(13/14), 432–440. <https://doi.org/10.1108/02632770210454377>
- Hines, P., Found, P., Griffiths, G., & Harrison, R. (2008). Staying Lean: Thriving, Not Just Surviving. *Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University*, 282. <https://doi.org/10.1201/b10492>
- Koster, R. de, Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Lambert, D. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. Action Learning: Research and Practice* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1080/14767330701234002>
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6 A), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Mentzer, J. J. T., Dewitt, W., Keebler, J. J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1–25. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Muther, R., & Hales, L. (2015). Systematic Layout Planning SLP.
- Ohno, T. (1988). *TOYOTA PRODUCTION SYSTEM: Beyond Large-Scale Production*.
- Ro, Y. K., Liker, J. K., & Fixson, S. K. (2007). Modularity as a strategy for supply chain coordination: The case of U.S. auto. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1), 172–189. <https://doi.org/10.1109/TEM.2006.889075>
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Houtum, G. J. van, Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational*

*Research*, 122, 515–533.

Russell, R. S., & Taylor, B. W. (2011). *Operations Management: Creating Value Along the Supply Chain*.

Retrieved from <https://books.google.com/books?id=ndQbAAAAQBAJ&pgis=1>

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>

Williams, H. P. (2013). *Model building in mathematical programming. Model Building in Mathematical Programming*. <https://doi.org/10.1057/jors.1986.76>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*.

Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(92\)90400-V](https://doi.org/10.1016/0024-6301(92)90400-V)



## ANEXO I – ANÁLISE ABC RELATIVAMENTE AS PALETES INDUSTRIAIS

Nome do Produto	Referências	Frequência de Saídas	Porcentagem	Porcentagem Acumulada	Classes
PA381	1	176	2,37%	2,37%	A
PA458	2	167	2,25%	4,61%	A
PA42+PA519 +PA520	3	166	2,23%	6,84%	A
PA133	4	157	2,11%	8,96%	A
PA25	5	148	1,99%	10,95%	A
PA387	6	144	1,94%	12,88%	A
PA305	7	129	1,73%	14,62%	A
PA457	8	125	1,68%	16,30%	A
PA485	9	124	1,67%	17,96%	A
PA40	10	114	1,53%	19,50%	A
PA391	11	100	1,34%	20,84%	A
PA325	12	96	1,29%	22,13%	A
PA326	13	95	1,28%	23,41%	A
PA498	14	95	1,28%	24,69%	A
PA327	15	93	1,25%	25,94%	A
PA328	16	93	1,25%	27,19%	A
PA390	17	90	1,21%	28,40%	A
PA392	18	87	1,17%	29,57%	A
PA453	19	87	1,17%	30,74%	A
PA233	20	86	1,16%	31,89%	A
PA234	21	86	1,16%	33,05%	A
PA29	22	83	1,12%	34,17%	A
PA30	23	83	1,12%	35,28%	A
PA31	24	80	1,08%	36,36%	A
PA28	25	78	1,05%	37,41%	A

PA382	26	78	1,05%	38,46%	A
PA378	27	73	0,98%	39,44%	A
PA383	28	72	0,97%	40,41%	A
PA239	29	68	0,91%	41,32%	A
PA238	30	66	0,89%	42,21%	A
PA229	31	65	0,87%	43,08%	A
PA230	32	64	0,86%	43,94%	A
PA357	33	62	0,83%	44,78%	A
PA358	34	61	0,82%	45,60%	A
PA332	35	59	0,79%	46,39%	A
PA281	36	58	0,78%	47,17%	A
PA87	37	50	0,67%	47,84%	A
PA262	38	49	0,66%	48,50%	A
PA627	39	49	0,66%	49,16%	A
PA89	40	48	0,65%	49,81%	A
PA90	41	48	0,65%	50,45%	A
PA91	42	48	0,65%	51,10%	A
PA92	43	48	0,65%	51,74%	A
PA137	44	48	0,65%	52,39%	A
PA443	45	48	0,65%	53,03%	A
PA448	46	48	0,65%	53,68%	A
PA608	47	48	0,65%	54,32%	A
PA112	48	47	0,63%	54,95%	A
PA266	49	47	0,63%	55,59%	A
PA394	50	47	0,63%	56,22%	A
PA96	51	46	0,62%	56,84%	A
PA384	52	46	0,62%	57,46%	A
PA440	53	46	0,62%	58,07%	A
PA600	54	46	0,62%	58,69%	A

PA636	55	46	0,62%	59,31%	A
PA351	56	44	0,59%	59,90%	A
PA352	57	44	0,59%	60,49%	A
PA442	58	44	0,59%	61,09%	A
PA568	59	44	0,59%	61,68%	A
PA138	60	43	0,58%	62,26%	A
PA441	61	43	0,58%	62,83%	A
PA607	62	43	0,58%	63,41%	A
PA621	63	43	0,58%	63,99%	A
PA315	64	42	0,56%	64,56%	A
PA555	65	42	0,56%	65,12%	A
PA622	66	42	0,56%	65,69%	A
PA601	67	41	0,55%	66,24%	A
PA52	68	40	0,54%	66,77%	A
PA566	69	38	0,51%	67,29%	A
PA447	70	36	0,48%	67,77%	A
PA509	71	36	0,48%	68,25%	A
PA535	72	36	0,48%	68,74%	A
PA507	73	35	0,47%	69,21%	A
PA44	74	34	0,46%	69,67%	A
PA546	75	34	0,46%	70,12%	A
PA551	76	34	0,46%	70,58%	A
PA567	77	34	0,46%	71,04%	A
PA534	78	32	0,43%	71,47%	A
PA604	79	32	0,43%	71,90%	A
PA313	80	30	0,40%	72,30%	A
PA565	81	29	0,39%	72,69%	A
PA589	82	29	0,39%	73,08%	A
PA261	83	28	0,38%	73,46%	A

PA444	84	28	0,38%	73,83%	A
PA583	85	28	0,38%	74,21%	A
PA256	86	27	0,36%	74,57%	A
PA259	87	27	0,36%	74,94%	A
PA548	88	27	0,36%	75,30%	A
PA445	89	26	0,35%	75,65%	A
PA208	90	25	0,34%	75,98%	A
PA290	91	25	0,34%	76,32%	A
PA512	92	25	0,34%	76,66%	A
PA545	93	25	0,34%	76,99%	A
PA550	94	25	0,34%	77,33%	A
PA552	95	25	0,34%	77,67%	A
PA606	96	25	0,34%	78,00%	A
PA142	97	24	0,32%	78,32%	A
PA207	98	24	0,32%	78,65%	A
PA258	99	24	0,32%	78,97%	A
PA270	100	24	0,32%	79,29%	A
PA429	101	24	0,32%	79,62%	A
PA549	102	24	0,32%	79,94%	A
PA564	103	24	0,32%	80,26%	B
PA102	104	23	0,31%	80,57%	B
PA143	105	23	0,31%	80,88%	B
PA144	106	23	0,31%	81,19%	B
PA213	107	23	0,31%	81,50%	B
PA304	108	23	0,31%	81,81%	B
PA517	109	23	0,31%	82,12%	B
PA515	110	22	0,30%	82,41%	B
PA635	111	22	0,30%	82,71%	B
PA528	112	21	0,28%	82,99%	B

PA260	113	20	0,27%	83,26%	B
PA524	114	20	0,27%	83,53%	B
PA165	115	19	0,26%	83,78%	B
PA316	116	19	0,26%	84,04%	B
PA525	117	18	0,24%	84,28%	B
PA527	118	18	0,24%	84,52%	B
605150041	119	18	0,24%	84,77%	B
605150042	120	18	0,24%	85,01%	B
PA53	121	17	0,23%	85,24%	B
PA54	122	17	0,23%	85,46%	B
PA511	123	17	0,23%	85,69%	B
PA529	124	17	0,23%	85,92%	B
PA656	125	17	0,23%	86,15%	B
PA105	126	16	0,22%	86,37%	B
PA484	127	16	0,22%	86,58%	B
PA526	128	16	0,22%	86,80%	B
PA103	129	15	0,20%	87,00%	B
PA104	130	15	0,20%	87,20%	B
PA106	131	15	0,20%	87,40%	B
PA70	132	14	0,19%	87,59%	B
PA71	133	14	0,19%	87,78%	B
PA296	134	14	0,19%	87,97%	B
PA432	135	14	0,19%	88,15%	B
PA161	136	13	0,17%	88,33%	B
PA295	137	13	0,17%	88,50%	B
PA385	138	13	0,17%	88,68%	B
PA407	139	13	0,17%	88,85%	B
PA408	140	13	0,17%	89,03%	B
PA522	141	13	0,17%	89,20%	B

PA533	142	13	0,17%	89,38%	B
PA75	143	12	0,16%	89,54%	B
PA153	144	12	0,16%	89,70%	B
PA263	145	12	0,16%	89,86%	B
PA264	146	12	0,16%	90,02%	B
PA343	147	12	0,16%	90,18%	B
PA497	148	12	0,16%	90,35%	B
PA505	149	12	0,16%	90,51%	B
PA523	150	12	0,16%	90,67%	B
PA7	151	11	0,15%	90,82%	B
PA162	152	11	0,15%	90,96%	B
PA164	153	11	0,15%	91,11%	B
PA298	154	11	0,15%	91,26%	B
PA318	155	11	0,15%	91,41%	B
PA319	156	11	0,15%	91,56%	B
PA320	157	11	0,15%	91,70%	B
PA321	158	11	0,15%	91,85%	B
PA356	159	11	0,15%	92,00%	B
PA380	160	11	0,15%	92,15%	B
PA395	161	11	0,15%	92,30%	B
PA455	162	11	0,15%	92,44%	B
PA486	163	11	0,15%	92,59%	B
PA487	164	11	0,15%	92,74%	B
PA488	165	11	0,15%	92,89%	B
PA489	166	11	0,15%	93,03%	B
PA490	167	11	0,15%	93,18%	B
PA491	168	11	0,15%	93,33%	B
PA492	169	11	0,15%	93,48%	B
PA493	170	11	0,15%	93,63%	B

PA494	171	11	0,15%	93,77%	B
PA495	172	11	0,15%	93,92%	B
PA496	173	11	0,15%	94,07%	B
PA594	174	11	0,15%	94,22%	B
PA68	175	10	0,13%	94,35%	B
PA69	176	10	0,13%	94,49%	B
PA77	177	10	0,13%	94,62%	B
PA140	178	10	0,13%	94,76%	B
PA159	179	10	0,13%	94,89%	B
PA428	180	10	0,13%	95,02%	C
PA513	181	10	0,13%	95,16%	C
PA514	182	10	0,13%	95,29%	C
PA590	183	10	0,13%	95,43%	C
PA643	184	10	0,13%	95,56%	C
PA9	185	9	0,12%	95,68%	C
PA139	186	9	0,12%	95,80%	C
PA160	187	9	0,12%	95,93%	C
PA163	188	9	0,12%	96,05%	C
PA300	189	9	0,12%	96,17%	C
PA301	190	9	0,12%	96,29%	C
PA329	191	9	0,12%	96,41%	C
PA330	192	9	0,12%	96,53%	C
PA531	193	9	0,12%	96,65%	C
PA532	194	9	0,12%	96,77%	C
PA591	195	9	0,12%	96,89%	C
PA640	196	9	0,12%	97,01%	C
PA156	197	8	0,11%	97,12%	C
PA157	198	8	0,11%	97,23%	C
PA269	199	8	0,11%	97,34%	C

PA642	200	8	0,11%	97,45%	C
PA274	201	7	0,09%	97,54%	C
PA275	202	7	0,09%	97,63%	C
PA354	203	7	0,09%	97,73%	C
PA501	204	7	0,09%	97,82%	C
PA584	205	7	0,09%	97,92%	C
PA65	206	6	0,08%	98,00%	C
PA66	207	6	0,08%	98,08%	C
PA83	208	6	0,08%	98,16%	C
PA333	209	6	0,08%	98,24%	C
PA350	210	6	0,08%	98,32%	C
PA74	211	5	0,07%	98,39%	C
PA134	212	5	0,07%	98,45%	C
PA158	213	5	0,07%	98,52%	C
PA166	214	5	0,07%	98,59%	C
PA299	215	5	0,07%	98,66%	C
PA386	216	5	0,07%	98,72%	C
PA393	217	5	0,07%	98,79%	C
PA593	218	5	0,07%	98,86%	C
PA639	219	5	0,07%	98,92%	C
PA154	220	4	0,05%	98,98%	C
PA155	221	4	0,05%	99,03%	C
PA355	222	4	0,05%	99,09%	C
PA499	223	4	0,05%	99,14%	C
PA500	224	4	0,05%	99,19%	C
PA542	225	4	0,05%	99,25%	C
PA595	226	4	0,05%	99,30%	C
PA641	227	4	0,05%	99,35%	C
PA646	228	4	0,05%	99,41%	C

PA64	229	3	0,04%	99,45%	C
PA67	230	3	0,04%	99,49%	C
PA85	231	3	0,04%	99,53%	C
PA446	232	3	0,04%	99,57%	C
PA596	233	3	0,04%	99,61%	C
PA597	234	3	0,04%	99,65%	C
PA603	235	3	0,04%	99,69%	C
PA645	236	3	0,04%	99,73%	C
PA647	237	3	0,04%	99,77%	C
PA648	238	3	0,04%	99,81%	C
PA55	239	2	0,03%	99,84%	C
PA344	240	2	0,03%	99,87%	C
PA502	241	2	0,03%	99,89%	C
PA570	242	2	0,03%	99,92%	C
PA345	243	1	0,01%	99,93%	C
PA637	244	1	0,01%	99,95%	C
PA651	245	1	0,01%	99,96%	C
PA654	246	1	0,01%	99,97%	C
PA655	247	1	0,01%	99,99%	C
PA657	248	1	0,01%	100,00%	C
PA57	249	0	0,00%	100,00%	C
PA58	250	0	0,00%	100,00%	C
PA237	251	0	0,00%	100,00%	C
PA506	252	0	0,00%	100,00%	C
PA670	253	0	0,00%	100,00%	C
PA672	254	0	0,00%	100,00%	C
605150031	255	0	0,00%	100,00%	C
605150032	256	0	0,00%	100,00%	C
		7437	100,00%		



## ANEXO II – ANÁLISE ABC RELATIVAMENTE AS EUROPALETES

Nome do Produto	Referências	Frequência de Saídas	Porcentagem	Porcentagem Acumulada	Classes
PA619	257	31	10,33%	10,33%	A
PA575	258	29	9,67%	20,00%	A
PA576	259	29	9,67%	29,67%	A
PA573	260	23	7,67%	37,33%	A
PA574	261	23	7,67%	45,00%	A
PA559	262	15	5,00%	50,00%	A
PA560	263	15	5,00%	55,00%	A
PA557	264	12	4,00%	59,00%	A
PA363	265	11	3,67%	62,67%	A
PA364	266	11	3,67%	66,33%	A
PA556	267	11	3,67%	70,00%	A
PA577	268	10	3,33%	73,33%	A
PA578	269	10	3,33%	76,67%	A
PA668	270	10	3,33%	80,00%	B
PA669	271	10	3,33%	83,33%	B
PA368	272	7	2,33%	85,67%	B
PA375	273	7	2,33%	88,00%	B
PA376	274	7	2,33%	90,33%	B
PA626	275	7	2,33%	92,67%	B
PA618	276	5	1,67%	94,33%	B
PA633	277	5	1,67%	96,00%	C
PA367	278	4	1,33%	97,33%	C
PA587	279	3	1,00%	98,33%	C
PA620	280	3	1,00%	99,33%	C
PA624	281	2	0,67%	100,00%	C
		300	100,00%		



## ANEXO III – ANÁLISE ABC DE TODOS OS PRODUTOS

Nome Produto	Referência	Tipo Paleta	Frequência de Saídas	Porcentagem	Porcentagem Acumulada	Classes
PA381	1	PI	176	2,27%	2,27%	A
PA458	2	PI	167	2,16%	4,43%	A
PA42+PA519 +PA520	3	PI	166	2,15%	6,58%	A
PA133	4	PI	157	2,03%	8,61%	A
PA25	5	PI	148	1,91%	10,52%	A
PA387	6	PI	144	1,86%	12,38%	A
PA305	7	PI	129	1,67%	14,05%	A
PA457	8	PI	125	1,62%	15,66%	A
PA485	9	PI	124	1,60%	17,27%	A
PA40	10	PI	114	1,47%	18,74%	A
PA391	11	PI	100	1,29%	20,03%	A
PA325	12	PI	96	1,24%	21,27%	A
PA326	13	PI	95	1,23%	22,50%	A
PA498	14	PI	95	1,23%	23,73%	A
PA327	15	PI	93	1,20%	24,93%	A
PA328	16	PI	93	1,20%	26,13%	A
PA390	17	PI	90	1,16%	27,30%	A
PA392	18	PI	87	1,12%	28,42%	A
PA453	19	PI	87	1,12%	29,55%	A
PA233	20	PI	86	1,11%	30,66%	A
PA234	21	PI	86	1,11%	31,77%	A
PA29	22	PI	83	1,07%	32,84%	A
PA30	23	PI	83	1,07%	33,91%	A
PA31	24	PI	80	1,03%	34,95%	A
PA28	25	PI	78	1,01%	35,96%	A

PA382	26	PI	78	1,01%	36,97%	A
PA378	27	PI	73	0,94%	37,91%	A
PA383	28	PI	72	0,93%	38,84%	A
PA239	29	PI	68	0,88%	39,72%	A
PA238	30	PI	66	0,85%	40,57%	A
PA229	31	PI	65	0,84%	41,41%	A
PA230	32	PI	64	0,83%	42,24%	A
PA357	33	PI	62	0,80%	43,04%	A
PA358	34	PI	61	0,79%	43,83%	A
PA332	35	PI	59	0,76%	44,59%	A
PA281	36	PI	58	0,75%	45,34%	A
PA87	37	PI	50	0,65%	45,99%	A
PA262	38	PI	49	0,63%	46,62%	A
PA627	39	PI	49	0,63%	47,25%	A
PA89	40	PI	48	0,62%	47,87%	A
PA90	41	PI	48	0,62%	48,49%	A
PA91	42	PI	48	0,62%	49,11%	A
PA92	43	PI	48	0,62%	49,74%	A
PA137	44	PI	48	0,62%	50,36%	A
PA443	45	PI	48	0,62%	50,98%	A
PA448	46	PI	48	0,62%	51,60%	A
PA608	47	PI	48	0,62%	52,22%	A
PA112	48	PI	47	0,61%	52,82%	A
PA266	49	PI	47	0,61%	53,43%	A
PA394	50	PI	47	0,61%	54,04%	A
PA96	51	PI	46	0,59%	54,63%	A
PA384	52	PI	46	0,59%	55,23%	A
PA440	53	PI	46	0,59%	55,82%	A
PA600	54	PI	46	0,59%	56,42%	A

PA636	55	PI	46	0,59%	57,01%	A
PA351	56	PI	44	0,57%	57,58%	A
PA352	57	PI	44	0,57%	58,15%	A
PA442	58	PI	44	0,57%	58,72%	A
PA568	59	PI	44	0,57%	59,29%	A
PA138	60	PI	43	0,56%	59,84%	A
PA441	61	PI	43	0,56%	60,40%	A
PA607	62	PI	43	0,56%	60,95%	A
PA621	63	PI	43	0,56%	61,51%	A
PA315	64	PI	42	0,54%	62,05%	A
PA555	65	PI	42	0,54%	62,60%	A
PA622	66	PI	42	0,54%	63,14%	A
PA601	67	PI	41	0,53%	63,67%	A
PA52	68	PI	40	0,52%	64,19%	A
PA566	69	PI	38	0,49%	64,68%	A
PA447	70	PI	36	0,47%	65,14%	A
PA509	71	PI	36	0,47%	65,61%	A
PA535	72	PI	36	0,47%	66,07%	A
PA507	73	PI	35	0,45%	66,52%	A
PA44	74	PI	34	0,44%	66,96%	A
PA546	75	PI	34	0,44%	67,40%	A
PA551	76	PI	34	0,44%	67,84%	A
PA567	77	PI	34	0,44%	68,28%	A
PA534	78	PI	32	0,41%	68,70%	A
PA604	79	PI	32	0,41%	69,11%	A
PA619	257	EP	31	0,40%	69,51%	A
PA313	80	PI	30	0,39%	69,90%	A
PA565	81	PI	29	0,37%	70,27%	A
PA589	82	PI	29	0,37%	70,65%	A

PA575	258	EP	29	0,37%	71,02%	A
PA576	259	EP	29	0,37%	71,40%	A
PA261	83	PI	28	0,36%	71,76%	A
PA444	84	PI	28	0,36%	72,12%	A
PA583	85	PI	28	0,36%	72,48%	A
PA256	86	PI	27	0,35%	72,83%	A
PA259	87	PI	27	0,35%	73,18%	A
PA548	88	PI	27	0,35%	73,53%	A
PA445	89	PI	26	0,34%	73,87%	A
PA208	90	PI	25	0,32%	74,19%	A
PA290	91	PI	25	0,32%	74,51%	A
PA512	92	PI	25	0,32%	74,84%	A
PA545	93	PI	25	0,32%	75,16%	A
PA550	94	PI	25	0,32%	75,48%	A
PA552	95	PI	25	0,32%	75,80%	A
PA606	96	PI	25	0,32%	76,13%	A
PA142	97	PI	24	0,31%	76,44%	A
PA207	98	PI	24	0,31%	76,75%	A
PA258	99	PI	24	0,31%	77,06%	A
PA270	100	PI	24	0,31%	77,37%	A
PA429	101	PI	24	0,31%	77,68%	A
PA549	102	PI	24	0,31%	77,99%	A
PA564	103	PI	24	0,31%	78,30%	A
PA102	104	PI	23	0,30%	78,60%	A
PA143	105	PI	23	0,30%	78,89%	A
PA144	106	PI	23	0,30%	79,19%	A
PA213	107	PI	23	0,30%	79,49%	A
PA304	108	PI	23	0,30%	79,79%	A
PA517	109	PI	23	0,30%	80,08%	B

PA573	260	EP	23	0,30%	80,38%	B
PA574	261	EP	23	0,30%	80,68%	B
PA515	110	PI	22	0,28%	80,96%	B
PA635	111	PI	22	0,28%	81,25%	B
PA528	112	PI	21	0,27%	81,52%	B
PA260	113	PI	20	0,26%	81,78%	B
PA524	114	PI	20	0,26%	82,03%	B
PA165	115	PI	19	0,25%	82,28%	B
PA316	116	PI	19	0,25%	82,53%	B
PA525	117	PI	18	0,23%	82,76%	B
PA527	118	PI	18	0,23%	82,99%	B
605150041	119	PI	18	0,23%	83,22%	B
605150042	120	PI	18	0,23%	83,46%	B
PA53	121	PI	17	0,22%	83,68%	B
PA54	122	PI	17	0,22%	83,90%	B
PA511	123	PI	17	0,22%	84,12%	B
PA529	124	PI	17	0,22%	84,34%	B
PA656	125	PI	17	0,22%	84,55%	B
PA105	126	PI	16	0,21%	84,76%	B
PA484	127	PI	16	0,21%	84,97%	B
PA526	128	PI	16	0,21%	85,18%	B
PA103	129	PI	15	0,19%	85,37%	B
PA104	130	PI	15	0,19%	85,56%	B
PA106	131	PI	15	0,19%	85,76%	B
PA559	262	EP	15	0,19%	85,95%	B
PA560	263	EP	15	0,19%	86,14%	B
PA70	132	PI	14	0,18%	86,33%	B
PA71	133	PI	14	0,18%	86,51%	B
PA296	134	PI	14	0,18%	86,69%	B

PA432	135	PI	14	0,18%	86,87%	B
PA161	136	PI	13	0,17%	87,04%	B
PA295	137	PI	13	0,17%	87,20%	B
PA385	138	PI	13	0,17%	87,37%	B
PA407	139	PI	13	0,17%	87,54%	B
PA408	140	PI	13	0,17%	87,71%	B
PA522	141	PI	13	0,17%	87,88%	B
PA533	142	PI	13	0,17%	88,04%	B
PA75	143	PI	12	0,16%	88,20%	B
PA153	144	PI	12	0,16%	88,35%	B
PA263	145	PI	12	0,16%	88,51%	B
PA264	146	PI	12	0,16%	88,66%	B
PA343	147	PI	12	0,16%	88,82%	B
PA497	148	PI	12	0,16%	88,98%	B
PA505	149	PI	12	0,16%	89,13%	B
PA523	150	PI	12	0,16%	89,29%	B
PA557	264	EP	12	0,16%	89,44%	B
PA7	151	PI	11	0,14%	89,58%	B
PA162	152	PI	11	0,14%	89,72%	B
PA164	153	PI	11	0,14%	89,87%	B
PA298	154	PI	11	0,14%	90,01%	B
PA318	155	PI	11	0,14%	90,15%	B
PA319	156	PI	11	0,14%	90,29%	B
PA320	157	PI	11	0,14%	90,44%	B
PA321	158	PI	11	0,14%	90,58%	B
PA356	159	PI	11	0,14%	90,72%	B
PA380	160	PI	11	0,14%	90,86%	B
PA395	161	PI	11	0,14%	91,00%	B
PA455	162	PI	11	0,14%	91,15%	B

PA486	163	PI	11	0,14%	91,29%	B
PA487	164	PI	11	0,14%	91,43%	B
PA488	165	PI	11	0,14%	91,57%	B
PA489	166	PI	11	0,14%	91,72%	B
PA490	167	PI	11	0,14%	91,86%	B
PA491	168	PI	11	0,14%	92,00%	B
PA492	169	PI	11	0,14%	92,14%	B
PA493	170	PI	11	0,14%	92,28%	B
PA494	171	PI	11	0,14%	92,43%	B
PA495	172	PI	11	0,14%	92,57%	B
PA496	173	PI	11	0,14%	92,71%	B
PA594	174	PI	11	0,14%	92,85%	B
PA363	265	EP	11	0,14%	92,99%	B
PA364	266	EP	11	0,14%	93,14%	B
PA556	267	EP	11	0,14%	93,28%	B
PA68	175	PI	10	0,13%	93,41%	B
PA69	176	PI	10	0,13%	93,54%	B
PA77	177	PI	10	0,13%	93,67%	B
PA140	178	PI	10	0,13%	93,80%	B
PA159	179	PI	10	0,13%	93,93%	B
PA428	180	PI	10	0,13%	94,05%	B
PA513	181	PI	10	0,13%	94,18%	B
PA514	182	PI	10	0,13%	94,31%	B
PA590	183	PI	10	0,13%	94,44%	B
PA643	184	PI	10	0,13%	94,57%	B
PA577	268	EP	10	0,13%	94,70%	B
PA578	269	EP	10	0,13%	94,83%	B
PA668	270	EP	10	0,13%	94,96%	B
PA669	271	EP	10	0,13%	95,09%	C

PA9	185	PI	9	0,12%	95,20%	C
PA139	186	PI	9	0,12%	95,32%	C
PA160	187	PI	9	0,12%	95,44%	C
PA163	188	PI	9	0,12%	95,55%	C
PA300	189	PI	9	0,12%	95,67%	C
PA301	190	PI	9	0,12%	95,79%	C
PA329	191	PI	9	0,12%	95,90%	C
PA330	192	PI	9	0,12%	96,02%	C
PA531	193	PI	9	0,12%	96,14%	C
PA532	194	PI	9	0,12%	96,25%	C
PA591	195	PI	9	0,12%	96,37%	C
PA640	196	PI	9	0,12%	96,48%	C
PA156	197	PI	8	0,10%	96,59%	C
PA157	198	PI	8	0,10%	96,69%	C
PA269	199	PI	8	0,10%	96,79%	C
PA642	200	PI	8	0,10%	96,90%	C
PA274	201	PI	7	0,09%	96,99%	C
PA275	202	PI	7	0,09%	97,08%	C
PA354	203	PI	7	0,09%	97,17%	C
PA501	204	PI	7	0,09%	97,26%	C
PA584	205	PI	7	0,09%	97,35%	C
PA368	272	EP	7	0,09%	97,44%	C
PA375	273	EP	7	0,09%	97,53%	C
PA376	274	EP	7	0,09%	97,62%	C
PA626	275	EP	7	0,09%	97,71%	C
PA65	206	PI	6	0,08%	97,79%	C
PA66	207	PI	6	0,08%	97,87%	C
PA83	208	PI	6	0,08%	97,94%	C
PA333	209	PI	6	0,08%	98,02%	C

PA350	210	PI	6	0,08%	98,10%	C
PA74	211	PI	5	0,06%	98,16%	C
PA134	212	PI	5	0,06%	98,23%	C
PA158	213	PI	5	0,06%	98,29%	C
PA166	214	PI	5	0,06%	98,36%	C
PA299	215	PI	5	0,06%	98,42%	C
PA386	216	PI	5	0,06%	98,49%	C
PA393	217	PI	5	0,06%	98,55%	C
PA593	218	PI	5	0,06%	98,62%	C
PA639	219	PI	5	0,06%	98,68%	C
PA618	276	EP	5	0,06%	98,75%	C
PA633	277	EP	5	0,06%	98,81%	C
PA154	220	PI	4	0,05%	98,86%	C
PA155	221	PI	4	0,05%	98,91%	C
PA355	222	PI	4	0,05%	98,97%	C
PA499	223	PI	4	0,05%	99,02%	C
PA500	224	PI	4	0,05%	99,07%	C
PA542	225	PI	4	0,05%	99,12%	C
PA595	226	PI	4	0,05%	99,17%	C
PA641	227	PI	4	0,05%	99,22%	C
PA646	228	PI	4	0,05%	99,28%	C
PA367	278	EP	4	0,05%	99,33%	C
PA64	229	PI	3	0,04%	99,37%	C
PA67	230	PI	3	0,04%	99,41%	C
PA85	231	PI	3	0,04%	99,44%	C
PA446	232	PI	3	0,04%	99,48%	C
PA596	233	PI	3	0,04%	99,52%	C
PA597	234	PI	3	0,04%	99,56%	C
PA603	235	PI	3	0,04%	99,60%	C

PA645	236	PI	3	0,04%	99,64%	C
PA647	237	PI	3	0,04%	99,68%	C
PA648	238	PI	3	0,04%	99,72%	C
PA587	279	EP	3	0,04%	99,75%	C
PA620	280	EP	3	0,04%	99,79%	C
PA55	239	PI	2	0,03%	99,82%	C
PA344	240	PI	2	0,03%	99,84%	C
PA502	241	PI	2	0,03%	99,87%	C
PA570	242	PI	2	0,03%	99,90%	C
PA624	281	EP	2	0,03%	99,92%	C
PA345	243	PI	1	0,01%	99,94%	C
PA637	244	PI	1	0,01%	99,95%	C
PA651	245	PI	1	0,01%	99,96%	C
PA654	246	PI	1	0,01%	99,97%	C
PA655	247	PI	1	0,01%	99,99%	C
PA657	248	PI	1	0,01%	100,00%	C
PA57	249	PI	0	0,00%	100,00%	C
PA58	250	PI	0	0,00%	100,00%	C
PA237	251	PI	0	0,00%	100,00%	C
PA506	252	PI	0	0,00%	100,00%	C
PA670	253	PI	0	0,00%	100,00%	C
PA672	254	PI	0	0,00%	100,00%	C
605150031	255	PI	0	0,00%	100,00%	C
605150032	256	PI	0	0,00%	100,00%	C
			7737	100,00%		

## ANEXO IV – MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

##### PARÂMETROS #####

param p;  
param n;  
param r;  
param amr;  
param aen;  
param mb;  
param w;  
param mp{i in 1..p, n in 1..4};  
param mn{j in 1..n, k in 1..3};

##### VARIÁVEIS DE DECISÃO #####

var x{i in 1..Npaletes, j in 1..Nnivel} binary;  
var aan{j in 1..Nnivel}binary;  
var tn{i in 1..Npaletes}binary;

##### VARIÁVEIS #####

var an{j in 1..Nnivel};  
var aaen{j in 1..Nnivel};  
var ar{k in 1..NRacks};  
var d{i in 1..Npaletes}>=0;  
var vm, >= 0;  
var vd, >=0;

##### FUNÇÃO OBJETIVO #####

minimize EL:sum{i in 1..p}d[i]+sum{j in 1..n} aan[j]+sum{i in 1..p, j in 1..n} mp[i,4] \* mn[j,1] \* x[i,j] + w\*sum{i in 1..p}tn[i];

##### RESTRIÇÕES #####

subject to arrumar\_paletes{i in 1..p}: sum{j in 1..n} x[i,j]=1;

subject to max\_larg{j in 1..n}: sum {i in 1..p} mp[i,3] \* x[i,j] <= mn[j,2];

subject to max\_alt{i in 1..p, j in 1..n}: an[j] >= mp[i,2] \* x[i,j];

subject to max\_alt2{i in 1..p, j in 1..n}: aae[n[j]] >= (ceil((mb+mp[i,2])/a mr))\*amr \* x[i,j];

subject to movimento: vm= sum{i in 1..p, j in 1..n} mp[i,4] \* mn[j,1] \* x[i,j];

subject to espaco: vd = sum{i in 1..p}d[i];

subject to desperdicio{i in 1..p, j in 1..n}: x[i,j]=1==>d[i]=an[j] - mp[i,2];

subject to contagem{j in 1..n}: p\*aa[n[j]]>= sum {i in 1..p} x[i,j];

subject to altura\_RACK1{k in 1..r}: ar[k]=sum{j in 1..n:mn[j,3]=k}aae[n[j]];

subject to altura\_RACK2{k in 1..r}: ar[k]<= amr;

subject to agrup\_ref{i in 1..p-1: mp[i,1]=mp[i+1,1]}:-sum{j in 1..n}x[i,j]+sum{j in 1..n}x[i+1,j]<=1;

subject to agrup\_ref0{i in 1..p-1: mp[i,1]=mp[i+1,1]}:-sum{j in 1..n}x[i,j]+sum{j in 1..n}x[i+1,j]<=tn[i];

subject to agrup\_ref1{i in 1..p-1: mp[i,1]=mp[i+1,1]}:-sum{j in 1..n}x[i,j]+sum{j in 1..n}x[i+1,j]>=0;

## ANEXO V – TABELA DE DADOS 1

param p:=452;					31	15	79	1000	93	70	17	33	1000	90
param n:=242;					32	15	79	1000	93	71	18	33	1000	87
param r:=22;					33	15	79	1000	93	72	19	33	1000	87
param amr:=577;					34	15	79	1000	93	73	20	79	1000	86
param aen:=7.5;					35	15	79	1000	93	74	20	79	1000	86
param mb:=9;					36	15	79	1000	93	75	20	79	1000	86
param w:=100;					37	15	79	1000	93	76	20	79	1000	86
param mp:					38	15	79	1000	93	77	20	79	1000	86
	1	2	3	4:=	39	15	79	1000	93	78	21	79	1000	86
1	1	79	1000	176	40	15	79	1000	93	79	21	79	1000	86
2	1	59	1000	176	41	15	79	1000	93	80	21	79	1000	86
3	2	47	1000	167	42	15	79	1000	93	81	21	79	1000	86
4	3	47	1000	166	43	15	79	1000	93	82	21	79	1000	86
5	4	59	1000	157	44	15	79	1000	93	83	22	47	1000	83
6	5	46	1000	148	45	15	79	1000	93	84	23	47	1000	83
7	6	83.2	1000	144	46	15	79	1000	93	85	24	33	1000	80
8	7	33	1000	129	47	15	79	1000	93	86	25	47	1000	78
9	8	79	1000	125	48	15	79	1000	93	87	26	59	1000	78
10	9	33	1000	124	49	15	79	1000	93	88	27	79	1000	73
11	10	33	1000	114	50	16	79	1000	93	89	27	79	1000	73
12	11	33	1000	100	51	16	79	1000	93	90	28	59	1000	72
13	12	79	1000	96	52	16	79	1000	93	91	29	79	1000	68
14	12	79	1000	96	53	16	79	1000	93	92	29	79	1000	68
15	12	79	1000	96	54	16	79	1000	93	93	29	79	1000	68
16	12	79	1000	96	55	16	79	1000	93	94	30	79	1000	66
17	12	79	1000	96	56	16	79	1000	93	95	30	79	1000	66
18	12	79	1000	96	57	16	79	1000	93	96	30	79	1000	66
19	12	79	1000	96	58	16	79	1000	93	97	31	79	1000	65
20	12	79	1000	96	59	16	79	1000	93	98	31	79	1000	65
21	13	79	1000	95	60	16	79	1000	93	99	32	79	1000	64
22	13	79	1000	95	61	16	79	1000	93	100	32	79	1000	64
23	13	79	1000	95	62	16	79	1000	93	101	33	79	1000	62
24	13	79	1000	95	63	16	79	1000	93	102	33	79	1000	62
25	13	79	1000	95	64	16	79	1000	93	103	33	79	1000	62
26	13	79	1000	95	65	16	79	1000	93	104	34	79	1000	61
27	13	79	1000	95	66	16	79	1000	93	105	34	79	1000	61
28	13	79	1000	95	67	16	79	1000	93	106	34	79	1000	61
29	14	33	1000	95	68	16	79	1000	93	107	35	59	1000	59
30	15	79	1000	93	69	16	79	1000	93	108	36	33	1000	58

109	37	47	1000	50	152	64	79	1000	42	195	93	59	1000	25
110	38	42	1000	49	153	65	59	1000	42	196	94	59	1000	25
111	39	79	1000	49	154	66	79	1000	42	197	95	59	1000	25
112	39	79	1000	49	155	66	79	1000	42	198	96	59	1000	25
113	39	79	1000	49	156	66	79	1000	42	199	97	79	1000	24
114	39	79	1000	49	157	67	79	1000	41	200	97	39	1000	24
115	40	59	1000	48	158	67	79	1000	41	201	98	79	1000	24
116	41	59	1000	48	159	67	79	1000	41	202	98	79	1000	24
117	42	33	1000	48	160	68	33	1000	40	203	99	79	1000	24
118	43	33	1000	48	161	69	79	1000	38	204	99	39	1000	24
119	44	33	1000	48	162	70	39	1000	36	205	100	79	1000	24
120	45	39	1000	48	163	71	79	1000	36	206	100	39	1000	24
121	46	39	1000	48	164	71	39	1000	36	207	101	33	1000	24
122	47	79	1000	48	165	72	39	1000	36	208	102	59	1000	24
123	47	79	1000	48	166	73	79	1000	35	209	103	39	1000	24
124	47	59	1000	48	167	73	39	1000	35	210	104	46	1000	23
125	48	61	1000	47	168	74	33	1000	34	211	105	33	1000	23
126	48	33	1000	47	169	75	39	1000	34	212	106	33	1000	23
127	49	42	1000	47	170	76	59	1000	34	213	107	33	1000	23
128	50	46	1000	47	171	77	49	1000	34	214	108	33	1000	23
129	50	46	1000	47	172	78	33	1000	32	215	109	59	1000	23
130	51	33	1000	46	173	79	39	1000	32	216	110	59	1000	22
131	52	79	1000	46	174	80	39	1000	30	217	111	47	1000	22
132	52	39	1000	46	175	81	49	1000	29	218	112	109	1000	21
133	53	39	1000	46	176	82	79	1000	29	219	112	109	1000	21
134	54	79	1000	46	177	83	79	1000	28	220	113	115	1000	20
135	54	79	1000	46	178	83	79	1000	28	221	113	115	1000	20
136	54	79	1000	46	179	83	79	1000	28	222	113	83	1000	20
137	55	39	1000	46	180	83	79	1000	28	223	114	109	1000	20
138	56	79	1000	44	181	84	39	1000	28	224	114	109	1000	20
139	56	79	1000	44	182	85	79	1000	28	225	115	39	1000	19
140	57	79	1000	44	183	85	79	1000	28	226	116	49	1000	19
141	57	79	1000	44	184	86	79	1000	27	227	117	109	1000	18
142	58	59	1000	44	185	86	39	1000	27	228	117	109	1000	18
143	59	79	1000	44	186	87	79	1000	27	229	118	109	1000	18
144	60	33	1000	43	187	87	39	1000	27	230	118	109	1000	18
145	61	59	1000	43	188	88	79	1000	27	231	119	79	1000	18
146	62	79	1000	43	189	89	39	1000	26	232	120	79	1000	18
147	62	79	1000	43	190	90	79	1000	25	233	121	46	1000	17
148	62	59	1000	43	191	90	79	1000	25	234	122	33	1000	17
149	63	79	1000	43	192	91	39	1000	25	235	123	59	1000	17
150	63	79	1000	43	193	92	79	1000	25	236	124	109	1000	17
151	63	79	1000	43	194	92	79	1000	25	237	124	109	1000	17

238	125	109	1000	17	281	158	79	1000	11	324	192	79	1000	9
239	125	49	1000	17	282	159	39	1000	11	325	193	79	1000	9
240	126	33	1000	16	283	160	39	1000	11	326	193	39	1000	9
241	127	119	1000	16	284	161	99	1000	11	327	194	79	1000	9
242	127	119	1000	16	285	161	59	1000	11	328	194	39	1000	9
243	128	109	1000	16	286	162	39	1000	11	329	195	99	1000	9
244	128	99	1000	16	287	163	99	1000	11	330	196	79	1000	9
245	129	33	1000	15	288	164	99	1000	11	331	196	39	1000	9
246	130	33	1000	15	289	164	99	1000	11	332	197	39	1000	8
247	131	33	1000	15	290	164	99	1000	11	333	198	39	1000	8
248	132	59	1000	14	291	165	99	1000	11	334	199	49	1000	8
249	133	59	1000	14	292	165	99	1000	11	335	200	33	1000	8
250	134	33	1000	14	293	165	99	1000	11	336	201	41	1000	7
251	135	33	1000	14	294	165	99	1000	11	337	202	41	1000	7
252	136	33	1000	13	295	165	99	1000	11	338	203	59	1000	7
253	137	33	1000	13	296	165	99	1000	11	339	204	99	1000	7
254	138	79	1000	13	297	166	39	1000	11	340	204	59	1000	7
255	139	49	1000	13	298	167	59	1000	11	341	205	33	1000	7
256	140	49	1000	13	299	168	59	1000	11	342	206	59	1000	6
257	141	109	1000	13	300	169	99	1000	11	343	207	59	1000	6
258	141	99	1000	13	301	170	59	1000	11	344	208	33	1000	6
259	142	33	1000	13	302	171	79	1000	11	345	209	33	1000	6
260	143	59	1000	12	303	172	39	1000	11	346	210	33	1000	6
261	144	39	1000	12	304	173	59	1000	11	347	211	59	1000	5
262	145	79	1000	12	305	174	39	1000	11	348	212	59	1000	5
263	145	79	1000	12	306	175	59	1000	10	349	213	39	1000	5
264	145	79	1000	12	307	176	59	1000	10	350	214	39	1000	5
265	146	79	1000	12	308	177	59	1000	10	351	215	33	1000	5
266	146	79	1000	12	309	178	33	1000	10	352	216	59	1000	5
267	146	79	1000	12	310	179	39	1000	10	353	217	33	1000	5
268	147	39	1000	12	311	180	33	1000	10	354	218	39	1000	5
269	148	39	1000	12	312	181	39	1000	10	355	219	79	1000	5
270	149	39	1000	12	313	182	39	1000	10	356	219	39	1000	5
271	150	109	1000	12	314	183	99	1000	10	357	220	39	1000	4
272	150	99	1000	12	315	184	33	1000	10	358	221	39	1000	4
273	151	79	1000	11	316	185	79	1000	9	359	222	39	1000	4
274	151	49	1000	11	317	185	49	1000	9	360	223	39	1000	4
275	152	33	1000	11	318	186	33	1000	9	361	224	79	1000	4
276	153	39	1000	11	319	187	39	1000	9	362	224	59	1000	4
277	154	99	1000	11	320	188	46	1000	9	363	225	39	1000	4
278	155	79	1000	11	321	189	39	1000	9	364	226	39	1000	4
279	156	79	1000	11	322	190	39	1000	9	365	227	79	1000	4
280	157	79	1000	11	323	191	79	1000	9	366	227	79	1000	4

367	228	39	1000	4	410	260	61	800	23	param mn:			
368	229	59	1000	3	411	261	61	800	23	1	2	3:=	
369	230	59	1000	3	412	262	79	800	15	1	1	3200	1
370	231	33	1000	3	413	262	39	800	15	2	2	3200	1
371	232	39	1000	3	414	263	79	800	15	3	3	3200	1
372	233	39	1000	3	415	263	39	800	15	4	4	3200	1
373	234	39	1000	3	416	264	79	800	12	5	5	3200	1
374	235	39	1000	3	417	265	109	800	11	6	6	3200	1
375	236	33	1000	3	418	265	49	800	11	7	7	3200	1
376	237	59	1000	3	419	266	109	800	11	8	8	3200	1
377	238	59	1000	3	420	266	49	800	11	9	9	3200	1
378	239	59	1000	2	421	267	79	800	11	10	10	3200	1
379	240	79	1000	2	422	268	79	800	10	11	11	3200	1
380	241	79	1000	2	423	268	39	800	10	12	2	3200	2
381	241	79	1000	2	424	269	79	800	10	13	3	3200	2
382	241	79	1000	2	425	269	39	800	10	14	4	3200	2
383	241	79	1000	2	426	270	59	800	10	15	5	3200	2
384	242	39	1000	2	427	271	59	800	10	16	6	3200	2
385	243	79	1000	1	428	272	39	800	7	17	7	3200	2
386	244	33	1000	1	429	273	109	800	7	18	8	3200	2
387	245	39	1000	1	430	273	109	800	7	19	9	3200	2
388	246	39	1000	1	431	273	109	800	7	20	10	3200	2
389	247	39	1000	1	432	273	109	800	7	21	11	3200	2
390	248	39	1000	1	433	273	109	800	7	22	12	3200	2
391	249	59	1000	0	434	273	49	800	7	23	3	3200	3
392	250	59	1000	0	435	274	109	800	7	24	4	3200	3
393	251	79	1000	0	436	274	109	800	7	25	5	3200	3
394	251	79	1000	0	437	274	109	800	7	26	6	3200	3
395	251	79	1000	0	438	274	109	800	7	27	7	3200	3
396	251	79	1000	0	439	274	109	800	7	28	8	3200	3
397	251	79	1000	0	440	274	49	800	7	29	9	3200	3
398	251	79	1000	0	441	275	109	800	7	30	10	3200	3
399	252	39	1000	0	442	275	109	800	7	31	11	3200	3
400	253	59	1000	0	443	276	109	800	5	32	12	3200	3
401	254	59	1000	0	444	276	109	800	5	33	13	3200	3
402	255	79	1000	0	445	277	109	800	5	34	4	3200	4
403	256	79	1000	0	446	277	109	800	5	35	5	3200	4
404	257	109	800	31	447	278	39	800	4	36	6	3200	4
405	257	109	800	31	448	279	59	800	3	37	7	3200	4
406	258	79	800	29	449	280	109	800	3	38	8	3200	4
407	258	79	800	29	450	280	109	800	3	39	9	3200	4
408	259	79	800	29	451	281	109	800	2	40	10	3200	4
409	259	79	800	29	452	281	109	800	2;	41	11	3200	4

42	12	3200	4	85	15	3200	8	128	18	3200	12
43	13	3200	4	86	16	3200	8	129	19	3200	12
44	14	3200	4	87	17	3200	8	130	20	3200	12
45	5	3200	5	88	18	3200	8	131	21	3200	12
46	6	3200	5	89	9	3200	9	132	22	3200	12
47	7	3200	5	90	10	3200	9	133	13	3200	13
48	8	3200	5	91	11	3200	9	134	14	3200	13
49	9	3200	5	92	12	3200	9	135	15	3200	13
50	10	3200	5	93	13	3200	9	136	16	3200	13
51	11	3200	5	94	14	3200	9	137	17	3200	13
52	12	3200	5	95	15	3200	9	138	18	3200	13
53	13	3200	5	96	16	3200	9	139	19	3200	13
54	14	3200	5	97	17	3200	9	140	20	3200	13
55	15	3200	5	98	18	3200	9	141	21	3200	13
56	6	3200	6	99	19	3200	9	142	22	3200	13
57	7	3200	6	100	10	3200	10	143	23	3200	13
58	8	3200	6	101	11	3200	10	144	14	3200	14
59	9	3200	6	102	12	3200	10	145	15	3200	14
60	10	3200	6	103	13	3200	10	146	16	3200	14
61	11	3200	6	104	14	3200	10	147	17	3200	14
62	12	3200	6	105	15	3200	10	148	18	3200	14
63	13	3200	6	106	16	3200	10	149	19	3200	14
64	14	3200	6	107	17	3200	10	150	20	3200	14
65	15	3200	6	108	18	3200	10	151	21	3200	14
66	16	3200	6	109	19	3200	10	152	22	3200	14
67	7	3200	7	110	20	3200	10	153	23	3200	14
68	8	3200	7	111	11	3200	11	154	24	3200	14
69	9	3200	7	112	12	3200	11	155	15	3200	15
70	10	3200	7	113	13	3200	11	156	16	3200	15
71	11	3200	7	114	14	3200	11	157	17	3200	15
72	12	3200	7	115	15	3200	11	158	18	3200	15
73	13	3200	7	116	16	3200	11	159	19	3200	15
74	14	3200	7	117	17	3200	11	160	20	3200	15
75	15	3200	7	118	18	3200	11	161	21	3200	15
76	16	3200	7	119	19	3200	11	162	22	3200	15
77	17	3200	7	120	20	3200	11	163	23	3200	15
78	8	3200	8	121	21	3200	11	164	24	3200	15
79	9	3200	8	122	12	3200	12	165	25	3200	15
80	10	3200	8	123	13	3200	12	166	16	3200	16
81	11	3200	8	124	14	3200	12	167	17	3200	16
82	12	3200	8	125	15	3200	12	168	18	3200	16
83	13	3200	8	126	16	3200	12	169	19	3200	16
84	14	3200	8	127	17	3200	12	170	20	3200	16

171	21	3200	16	214	24	3200	20
172	22	3200	16	215	25	3200	20
173	23	3200	16	216	26	3200	20
174	24	3200	16	217	27	3200	20
175	25	3200	16	218	28	3200	20
176	26	3200	16	219	29	3200	20
177	17	3200	17	220	30	3200	20
178	18	3200	17	221	21	3200	21
179	19	3200	17	222	22	3200	21
180	20	3200	17	223	23	3200	21
181	21	3200	17	224	24	3200	21
182	22	3200	17	225	25	3200	21
183	23	3200	17	226	26	3200	21
184	24	3200	17	227	27	3200	21
185	25	3200	17	228	28	3200	21
186	26	3200	17	229	29	3200	21
187	27	3200	17	230	30	3200	21
188	18	3200	18	231	31	3200	21
189	19	3200	18	232	22	3200	22
190	20	3200	18	233	23	3200	22
191	21	3200	18	234	24	3200	22
192	22	3200	18	235	25	3200	22
193	23	3200	18	236	26	3200	22
194	24	3200	18	237	27	3200	22
195	25	3200	18	238	28	3200	22
196	26	3200	18	239	29	3200	22
197	27	3200	18	240	30	3200	22
198	28	3200	18	241	31	3200	22
199	19	3200	19	242	32	3200	22;
200	20	3200	19				
201	21	3200	19				
202	22	3200	19				
203	23	3200	19				
204	24	3200	19				
205	25	3200	19				
206	26	3200	19				
207	27	3200	19				
208	28	3200	19				
209	29	3200	19				
210	20	3200	20				
211	21	3200	20				
212	22	3200	20				
213	23	3200	20				

## ANEXO VI – TABELA DE DADOS 2

param p:=327;				32	25	47	1000	78	72	65	59	1000	42	
param n:=242;				33	26	59	1000	78	73	68	33	1000	40	
param r:=22;				34	27	79	1000	73	74	69	79	1000	38	
param amr:=577;				35	27	79	1000	73	75	70	39	1000	36	
param aen:=7.5;				36	28	59	1000	72	76	71	79	1000	36	
param mb:=9;				37	31	79	1000	65	77	71	39	1000	36	
param w:=100;				38	31	79	1000	65	78	72	39	1000	36	
param mp:				39	32	79	1000	64	79	73	79	1000	35	
	1	2	3	4:=	40	32	79	1000	64	80	73	39	1000	35
1	1	79	1000	176	41	35	59	1000	59	81	74	33	1000	34
2	1	59	1000	176	42	36	33	1000	58	82	75	39	1000	34
3	2	47	1000	167	43	37	47	1000	50	83	76	59	1000	34
4	3	47	1000	166	44	38	42	1000	49	84	77	49	1000	34
5	4	59	1000	157	45	39	79	1000	49	85	78	33	1000	32
6	5	46	1000	148	46	40	59	1000	48	86	79	39	1000	32
7	6	83.2	1000	144	47	41	59	1000	48	87	80	39	1000	30
8	7	33	1000	129	48	42	33	1000	48	88	81	49	1000	29
9	8	79	1000	125	49	43	33	1000	48	89	82	79	1000	29
10	9	33	1000	124	50	44	33	1000	48	90	83	79	1000	28
11	10	33	1000	114	51	45	39	1000	48	91	84	39	1000	28
12	11	33	1000	100	52	46	39	1000	48	92	85	79	1000	28
13	12	79	1000	96	53	48	61	1000	47	93	85	79	1000	28
14	12	79	1000	96	54	48	33	1000	47	94	86	79	1000	27
15	13	79	1000	95	55	49	42	1000	47	95	86	39	1000	27
16	13	79	1000	95	56	50	46	1000	47	96	87	79	1000	27
17	14	33	1000	95	57	50	46	1000	47	97	87	39	1000	27
18	15	79	1000	93	58	51	33	1000	46	98	88	79	1000	27
19	15	79	1000	93	59	52	79	1000	46	99	89	39	1000	26
20	16	79	1000	93	60	52	39	1000	46	100	90	79	1000	25
21	16	79	1000	93	61	53	39	1000	46	101	90	79	1000	25
22	17	33	1000	90	62	55	39	1000	46	102	91	39	1000	25
23	18	33	1000	87	63	56	79	1000	44	103	92	79	1000	25
24	19	33	1000	87	64	56	79	1000	44	104	92	79	1000	25
25	20	79	1000	86	65	57	79	1000	44	105	93	59	1000	25
26	20	79	1000	86	66	57	79	1000	44	106	94	59	1000	25
27	21	79	1000	86	67	58	59	1000	44	107	95	59	1000	25
28	21	79	1000	86	68	59	79	1000	44	108	96	59	1000	25
29	22	47	1000	83	69	60	33	1000	43	109	97	79	1000	24
30	23	47	1000	83	70	61	59	1000	43	110	97	39	1000	24
31	24	33	1000	80	71	64	79	1000	42	111	98	79	1000	24

112	98	79	1000	24	155	132	59	1000	14	198	175	59	1000	10
113	99	79	1000	24	156	133	59	1000	14	199	176	59	1000	10
114	99	39	1000	24	157	134	33	1000	14	200	177	59	1000	10
115	100	79	1000	24	158	135	33	1000	14	201	178	33	1000	10
116	100	39	1000	24	159	136	33	1000	13	202	179	39	1000	10
117	101	33	1000	24	160	137	33	1000	13	203	180	33	1000	10
118	102	59	1000	24	161	138	79	1000	13	204	181	39	1000	10
119	103	39	1000	24	162	139	49	1000	13	205	182	39	1000	10
120	104	46	1000	23	163	140	49	1000	13	206	183	99	1000	10
121	105	33	1000	23	164	141	109	1000	13	207	184	33	1000	10
122	106	33	1000	23	165	141	99	1000	13	208	185	79	1000	9
123	107	33	1000	23	166	142	33	1000	13	209	185	49	1000	9
124	108	33	1000	23	167	143	59	1000	12	210	186	33	1000	9
125	109	59	1000	23	168	144	39	1000	12	211	187	39	1000	9
126	110	59	1000	22	169	147	39	1000	12	212	188	46	1000	9
127	111	47	1000	22	170	148	39	1000	12	213	189	39	1000	9
128	112	109	1000	21	171	149	39	1000	12	214	190	39	1000	9
129	112	109	1000	21	172	150	109	1000	12	215	191	79	1000	9
130	114	109	1000	20	173	150	99	1000	12	216	192	79	1000	9
131	114	109	1000	20	174	151	79	1000	11	217	193	79	1000	9
132	115	39	1000	19	175	151	49	1000	11	218	193	39	1000	9
133	116	49	1000	19	176	152	33	1000	11	219	194	79	1000	9
134	117	109	1000	18	177	153	39	1000	11	220	194	39	1000	9
135	117	109	1000	18	178	154	99	1000	11	221	195	99	1000	9
136	118	109	1000	18	179	155	79	1000	11	222	196	79	1000	9
137	118	109	1000	18	180	156	79	1000	11	223	196	39	1000	9
138	119	79	1000	18	181	157	79	1000	11	224	197	39	1000	8
139	120	79	1000	18	182	158	79	1000	11	225	198	39	1000	8
140	121	46	1000	17	183	159	39	1000	11	226	199	49	1000	8
141	122	33	1000	17	184	160	39	1000	11	227	200	33	1000	8
142	123	59	1000	17	185	161	99	1000	11	228	201	41	1000	7
143	124	109	1000	17	186	161	59	1000	11	229	202	41	1000	7
144	124	109	1000	17	187	162	39	1000	11	230	203	59	1000	7
145	125	109	1000	17	188	163	99	1000	11	231	204	99	1000	7
146	125	49	1000	17	189	166	39	1000	11	232	204	59	1000	7
147	126	33	1000	16	190	167	59	1000	11	233	205	33	1000	7
148	127	119	1000	16	191	168	59	1000	11	234	206	59	1000	6
149	127	119	1000	16	192	169	99	1000	11	235	207	59	1000	6
150	128	109	1000	16	193	170	59	1000	11	236	208	33	1000	6
151	128	99	1000	16	194	171	79	1000	11	237	209	33	1000	6
152	129	33	1000	15	195	172	39	1000	11	238	210	33	1000	6
153	130	33	1000	15	196	173	59	1000	11	239	211	59	1000	5
154	131	33	1000	15	197	174	39	1000	11	240	212	59	1000	5

241	213	39	1000	5	284	254	59	1000	0	327	281	109	800	2;
242	214	39	1000	5	285	255	79	1000	0	param mn:				
243	215	33	1000	5	286	256	79	1000	0		1	2	3:=	
244	216	59	1000	5	287	257	109	800	31	1	1	3200	1	
245	217	33	1000	5	288	257	109	800	31	2	2	3200	1	
246	218	39	1000	5	289	258	79	800	29	3	3	3200	1	
247	219	79	1000	5	290	258	79	800	29	4	4	3200	1	
248	219	39	1000	5	291	259	79	800	29	5	5	3200	1	
249	220	39	1000	4	292	259	79	800	29	6	6	3200	1	
250	221	39	1000	4	293	260	61	800	23	7	7	3200	1	
251	222	39	1000	4	294	261	61	800	23	8	8	3200	1	
252	223	39	1000	4	295	262	79	800	15	9	9	3200	1	
253	224	79	1000	4	296	262	79	800	15	10	10	3200	1	
254	224	59	1000	4	297	263	79	800	15	11	11	3200	1	
255	225	39	1000	4	298	263	39	800	15	12	2	3200	2	
256	226	39	1000	4	299	264	79	800	12	13	3	3200	2	
257	227	79	1000	4	300	265	109	800	11	14	4	3200	2	
258	227	79	1000	4	301	265	49	800	11	15	5	3200	2	
259	228	39	1000	4	302	266	109	800	11	16	6	3200	2	
260	229	59	1000	3	303	266	49	800	11	17	7	3200	2	
261	230	59	1000	3	304	267	79	800	11	18	8	3200	2	
262	231	33	1000	3	305	268	79	800	10	19	9	3200	2	
263	232	39	1000	3	306	268	39	800	10	20	10	3200	2	
264	233	39	1000	3	307	269	79	800	10	21	11	3200	2	
265	234	39	1000	3	308	269	39	800	10	22	12	3200	2	
266	235	39	1000	3	309	270	59	800	10	23	3	3200	3	
267	236	33	1000	3	310	271	59	800	10	24	4	3200	3	
268	237	59	1000	3	311	272	39	800	7	25	5	3200	3	
269	238	59	1000	3	312	273	109	800	7	26	6	3200	3	
270	239	59	1000	2	313	273	49	800	7	27	7	3200	3	
271	240	79	1000	2	314	274	109	800	7	28	8	3200	3	
272	241	79	1000	2	315	274	49	800	7	29	9	3200	3	
273	242	39	1000	2	316	275	109	800	7	30	10	3200	3	
274	243	79	1000	1	317	275	109	800	7	31	11	3200	3	
275	244	33	1000	1	318	276	109	800	5	32	12	3200	3	
276	245	39	1000	1	319	276	109	800	5	33	13	3200	3	
277	246	39	1000	1	320	277	109	800	5	34	4	3200	4	
278	247	39	1000	1	321	277	109	800	5	35	5	3200	4	
279	248	39	1000	1	322	278	39	800	4	36	6	3200	4	
280	249	59	1000	0	323	279	59	800	3	37	7	3200	4	
281	250	59	1000	0	324	280	109	800	3	38	8	3200	4	
282	252	39	1000	0	325	280	109	800	3	39	9	3200	4	
283	253	59	1000	0	326	281	109	800	2	40	10	3200	4	

41	11	3200	4	84	14	3200	8	127	17	3200	12
42	12	3200	4	85	15	3200	8	128	18	3200	12
43	13	3200	4	86	16	3200	8	129	19	3200	12
44	14	3200	4	87	17	3200	8	130	20	3200	12
45	5	3200	5	88	18	3200	8	131	21	3200	12
46	6	3200	5	89	9	3200	9	132	22	3200	12
47	7	3200	5	90	10	3200	9	133	13	3200	13
48	8	3200	5	91	11	3200	9	134	14	3200	13
49	9	3200	5	92	12	3200	9	135	15	3200	13
50	10	3200	5	93	13	3200	9	136	16	3200	13
51	11	3200	5	94	14	3200	9	137	17	3200	13
52	12	3200	5	95	15	3200	9	138	18	3200	13
53	13	3200	5	96	16	3200	9	139	19	3200	13
54	14	3200	5	97	17	3200	9	140	20	3200	13
55	15	3200	5	98	18	3200	9	141	21	3200	13
56	6	3200	6	99	19	3200	9	142	22	3200	13
57	7	3200	6	100	10	3200	10	143	23	3200	13
58	8	3200	6	101	11	3200	10	144	14	3200	14
59	9	3200	6	102	12	3200	10	145	15	3200	14
60	10	3200	6	103	13	3200	10	146	16	3200	14
61	11	3200	6	104	14	3200	10	147	17	3200	14
62	12	3200	6	105	15	3200	10	148	18	3200	14
63	13	3200	6	106	16	3200	10	149	19	3200	14
64	14	3200	6	107	17	3200	10	150	20	3200	14
65	15	3200	6	108	18	3200	10	151	21	3200	14
66	16	3200	6	109	19	3200	10	152	22	3200	14
67	7	3200	7	110	20	3200	10	153	23	3200	14
68	8	3200	7	111	11	3200	11	154	24	3200	14
69	9	3200	7	112	12	3200	11	155	15	3200	15
70	10	3200	7	113	13	3200	11	156	16	3200	15
71	11	3200	7	114	14	3200	11	157	17	3200	15
72	12	3200	7	115	15	3200	11	158	18	3200	15
73	13	3200	7	116	16	3200	11	159	19	3200	15
74	14	3200	7	117	17	3200	11	160	20	3200	15
75	15	3200	7	118	18	3200	11	161	21	3200	15
76	16	3200	7	119	19	3200	11	162	22	3200	15
77	17	3200	7	120	20	3200	11	163	23	3200	15
78	8	3200	8	121	21	3200	11	164	24	3200	15
79	9	3200	8	122	12	3200	12	165	25	3200	15
80	10	3200	8	123	13	3200	12	166	16	3200	16
81	11	3200	8	124	14	3200	12	167	17	3200	16
82	12	3200	8	125	15	3200	12	168	18	3200	16
83	13	3200	8	126	16	3200	12	169	19	3200	16

170	20	3200	16	213	23	3200	20
171	21	3200	16	214	24	3200	20
172	22	3200	16	215	25	3200	20
173	23	3200	16	216	26	3200	20
174	24	3200	16	217	27	3200	20
175	25	3200	16	218	28	3200	20
176	26	3200	16	219	29	3200	20
177	17	3200	17	220	30	3200	20
178	18	3200	17	221	21	3200	21
179	19	3200	17	222	22	3200	21
180	20	3200	17	223	23	3200	21
181	21	3200	17	224	24	3200	21
182	22	3200	17	225	25	3200	21
183	23	3200	17	226	26	3200	21
184	24	3200	17	227	27	3200	21
185	25	3200	17	228	28	3200	21
186	26	3200	17	229	29	3200	21
187	27	3200	17	230	30	3200	21
188	18	3200	18	231	31	3200	21
189	19	3200	18	232	22	3200	22
190	20	3200	18	233	23	3200	22
191	21	3200	18	234	24	3200	22
192	22	3200	18	235	25	3200	22
193	23	3200	18	236	26	3200	22
194	24	3200	18	237	27	3200	22
195	25	3200	18	238	28	3200	22
196	26	3200	18	239	29	3200	22
197	27	3200	18	240	30	3200	22
198	28	3200	18	241	31	3200	22
199	19	3200	19	242	32	3200	22;
200	20	3200	19				
201	21	3200	19				
202	22	3200	19				
203	23	3200	19				
204	24	3200	19				
205	25	3200	19				
206	26	3200	19				
207	27	3200	19				
208	28	3200	19				
209	29	3200	19				
210	20	3200	20				
211	21	3200	20				
212	22	3200	20				

