



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Manuel Tomé de Andrade e Silva

Simulação e estudo da viabilidade económica  
de um sistema AGV para movimentação de  
resíduos numa empresa fornecedora da  
indústria automóvel





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Manuel Tomé de Andrade e Silva

Simulação e estudo da viabilidade económica  
de um sistema AGV para movimentação de  
resíduos numa empresa fornecedora da  
indústria automóvel

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação dos  
Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias  
Professor Doutor Manuel Lopes Nunes

## DECLARAÇÃO

Nome: Manuel Tomé de Andrade e Silva

Endereço eletrónico: tome\_andrade\_silva@hotmail.com Telefone: 918893951

Número do Bilhete de Identidade: 14148491

Título da dissertação: Simulação e estudo da viabilidade económica e de um sistema AGV para movimentação de resíduos numa empresa fornecedora da indústria automóvel.

Orientador: Professor Doutor Luís Miguel da Silva Dias; Professor Doutor Manuel Lopes Nunes;

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

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

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

Assinatura:\_\_\_\_\_

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelo incentivo e aconselhamento dado ao longo desta fase da minha vida.

Aos Professores Luís Dias e Manuel Nunes pelo apoio e suporte dispensado.

Ao Engenheiro Paul Vieira, pela orientação e boa disposição, proporcionando-me uma experiência de estágio positiva.

Ao Ricardo Almeida e Bruno Alves pelo apoio técnico concedido, sempre prestado com a maior prontidão.

Aos meus colegas também estagiários, Miguel Rodrigues, Renata Miranda, Verá Sá, Sérgio Vicente, João Lopes e Inês Bastos, pela camaradagem e amizade.

Aos membros do departamento de logística da Bosch, colaboradores diretos e indiretos, pela colaboração providenciada sempre que assim lhes foi solicitado.



## RESUMO

Esta dissertação apresenta no seu conteúdo uma análise da viabilidade funcional e económica da implementação de AGVs como meio de transporte de resíduos provenientes de zonas de armazém e produção.

O trabalho realizado permitiu mapear as variáveis que afetam a produção de resíduos, nomeadamente o número de unidades de produto final e intermédio produzidas. Foi, ainda, possível demonstrar e explicar as razões pelas quais as quantidades de resíduos gerados, sobretudo nas áreas de armazém variam ao longo do dia.

A simulação em SIMIO foi a ferramenta utilizada para testar diferentes configurações com AGV face a diferentes cenários de níveis de produção. Estas configurações foram comparadas, recorrendo a métricas como o tamanho do *buffer* necessário, distâncias percorridas, utilização dos recursos e impacto no output de unidades produzidas pela fábrica. Foi demonstrado como futuros aumentos no nível de produção da fábrica afetariam cada uma das configurações e como o sistema atualmente instalado responderá a esses mesmos aumentos. Foi, ainda, demonstrado que a movimentação de resíduos poderia ser feita recorrendo a um menor número de viagens se o seu acondicionamento nos recipientes onde estes são alojados, e dentro dos quais são transportados, fosse devidamente realizado. O trabalho desenvolvido inclui ainda, a análise reativa à tecnologia AGV mais adequada às necessidades da empresa.

A dissertação apresenta uma análise de custos das configurações com AGV propostas, em que cada um dos projetos foi avaliado segundo o seu valor presente, a taxa interna de rentabilidade e o período de recuperação. Ambas as configurações consideradas apresentam-se como economicamente viáveis. No entanto, uma é mais rentável do que outra. Sendo que, aquela que apresenta maiores benefícios monetários é também a que exige alterações mais significativas no sistema atual, e portanto a que possui um nível de risco associado mais significativo. Por fim, para se sintetizar os riscos e as vantagens da implementação de AGVs realizou-se uma análise SWOT.

## PALAVRAS-CHAVE

AGV, Simulação, SIMIO, Análise de Custos



**ABSTRACT**

This dissertation presents an economic and functional viability analysis of the implementation of AGVs, as means of transport of production and warehouse waste.

The work done allowed for the mapping of all the variables that affect waste production, namely the units of end and intermediate product produced. It's shown and explained why the waste generation varies during the day, especially in case of the warehouse residues.

The SIMIO simulation *software* was used to test different AGV configurations against various scenarios of production. These configurations were compared with each other by their performance in the metrics of *buffer* size, total travelled distances, resource utilization, and effect on the output of the plant. It was also shown how future increases in the amount of units produced by the plant will influence the performance of both configurations and that of the currently installed system.

It was identified that the transport of waste could be done resorting to fewer trips, if the waste materials were properly stowed and packed into the vessels, in which they are moved to their final destination.

Among the range of different AGV technologies available in the market, it was chosen the one that fulfills the requirements of the company. The different technologies were assessed by their flexibility, cost, stability and compatibility with currently used methods.

The dissertation presents a cost analysis of the AGV configurations suggested, where financial metrics like the net present value, internal rate of return and payback time were computed. Both suggestions have shown to be profitable, one more than the other, with the more profitable one having higher risks of implementation. A SWOT analysis was also made to summarize the risks and benefits of implementing AGV as a way of transport.

**KEYWORDS**

AGV, Simulation, SIMIO, cost analysis



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos da dissertação.....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 Sistemas AGV.....	5
2.2 A tecnologia e o tipo de AGV adequado para a Bosch.....	16
2.3 Simulação.....	17
2.3.1 A simulação de sistemas de produção e manuseamento de materiais.....	19
2.4 Métodos analíticos de resolução de problemas.....	21
2.5 Análise Custo-Benefício.....	26
3. Apresentação da empresa.....	29
3.1 A Bosch em Portugal.....	31
3.2 Unidade de Braga (BrgP).....	31
3.2.1 Principais clientes.....	31
3.2.2 Secções e Departamentos.....	32
3.2.3 <i>Layout</i> da empresa e fluxo de materiais.....	33
3.2.4 <i>Bosch Production System</i> .....	35
4. Descrição do Problema e da Situação Atual.....	37
4.1 Localização dos pontos de criação de resíduos.....	37
4.2 O <i>Big-Bag</i> .....	40

4.3	Distribuição das atividades de movimentação e acondicionamento de resíduos .....	40
4.4	Quantidade de resíduos gerada .....	44
4.4.1	Demonstração e análise de resultados .....	47
4.5	Problemas e ineficiências encontradas no sistema atual .....	54
5.	Modelação do Sistema Atual .....	56
5.1	Recolha de informação .....	57
5.2	<i>O software</i> de simulação .....	60
5.3	Construção do modelo .....	62
5.3.1	Entidades do modelo .....	62
5.3.2	<i>Transporters</i> .....	64
5.3.3	<i>Buffers</i> , postos de reembalamento, postos de conferência e outros pontos de geração de resíduos.....	68
5.3.4	Animação do Modelo .....	68
5.3.5	Validação do Modelo.....	68
6.	Modelação Do Sistema Com AGV's .....	71
7.	Resultados das Simulações .....	77
7.1	Dimensão do <i>buffer intermédio</i> .....	78
7.2	Distâncias percorridas .....	79
7.3	Perdas por incapacidade do sistema.....	81
7.4	Utilização dos Recursos.....	83
7.5	Qual a melhor alternativa em termos de desempenho? .....	84
8.	Análise De Custos Das Várias Alternativas .....	87
8.1	Configuração 1.....	88
8.2	Configuração 2.....	89
8.3	Análise SWOT do investimento em AGVs.....	90
9.	Conclusões e Trabalho Futuro .....	93
9.1	Limitações do projeto de investigação.....	95
9.2	Sugestões para trabalho futuro .....	96
	Referências Bibliográficas .....	97
	Anexo I – Desenho técnico e Dimensões do <i>Big-Bag em milímetros</i> .....	101

Anexo II – Quantidade média de resíduos gerada por área por hora .....	103
Anexo III– Layout do Armazém.....	105
Anexo IV-Gráfico da utilização de recursos para os vários cenários de produção.....	107



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Da esquerda para a direita, AGV utilizado na montagem de automóvel, AGV utilizado na montagem de um avião .....	7
Figura 2-AGV usado para transportar paletes num armazém .....	8
Figura 3- Exemplo de um sistema FMS .....	9
Figura 4- AGV de Reboque .....	10
Figura 5-Da esquerda para a direita, porta paletes com opção de controlo manual, porta paletes sem controlo manual .....	11
Figura 6- Da esquerda para a direita, flat bed vehicle com elevador, com conveyor e com superfície lisa .....	11
Figura 7- Empilhadora de carregamento lateral; Empilhadora normal; Empilhadora com elevador.....	12
Figura 8- AGVs de carga leve .....	13
Figura 9- Esquema da colocação de código binário junto às guias .....	15
Figura 10- Diagrama de escoamento.....	24
Figura 11-Exemplo de um gráfico de janelas temporais. V1, V2,V3 e V4 são AGVs .....	25
Figura 12-Exemplo de um diagrama de janelas temporais passíveis de serem cumpridas .....	26
Figura 13- Áreas de negócio do grupo Robert Bosch GmbH.....	29
Figura 14-Presença da Bosch a nível global.....	30
Figura 15- Unidades Bosch em Portugal .....	31
Figura 16 Clientes da Bosch Braga .....	32
Figura 17 Departamentos e secções da Bosch Braga .....	33
Figura 18- Layout da unidade produtiva de Braga.....	33
Figura 19-Fluxo de materiais da fábrica de Braga .....	34
Figura 20-As bobinas de componentes elétricos são armazenadas diretamente em estantes. ....	38
Figura 21-Esquema do Armazém 102, Receção, MOE2 e Supermercado SMD .....	39
Figura 22- Fotografia de vários <i>Big-bags</i> à espera de serem enviados para os pontos de criação de resíduos. ....	40
Figura 23-Esquema das movimentações do operador SMD .....	41
Figura 24- Esquema das movimentações do operador do reembalamento .....	42

Figura 25-Recipientes utilizados para a contagem da quantidade de resíduos gerada diariamente nas áreas de Reembalamento, MOE2 e SMD. (Os recipientes na figura encontravam-se junto ao <i>buffer</i> intermédio).....	45
Figura 26-À direita um formulário, à esquerda os recipientes de onde eram levantados os formulários e colocados aquando da realização de uma viagem .....	46
Figura 27- Percentagem de resíduos recolhidos em cada área .....	47
Figura 28- Quantidade média de <i>Big-bags</i> enchidos por hora nas várias áreas de geração de resíduos. ....	49
Figura 29- Gráfico relação nº <i>big-bags</i> vs unidades produzidas .....	50
Figura 30- Ilustração do desvio da recta do modelo linear e os pontos observados.....	51
Figura 31- Gráfico dos valores residuais .....	52
Figura 32- Representação do <i>Buffer</i> intermédio cheio (1) e do armazenamento no corredor (2) .....	54
Figura 33- Imagem de um <i>Big-Bag</i> cheio.....	54
Figura 34-Fases de desmontagem de caixas de cartão.....	56
Figura 35-Esquema das operações realizadas no parque de resíduos.....	59
Figura 36-Alguns objetos presentes na livraria <i>standard</i> .....	60
Figura 37-Exemplo das propriedades que o utilizador pode atribuir ao objeto.....	61
Figura 38-Exemplo de um processo que constitui o objeto <i>Vehicle</i> .....	62
Figura 39-Fluxograma criação de entidades .....	64
Figura 40-Fluxograma que define o comportamento dos <i>transporters</i> Colaborador SMD e Colaborador Reembalamento .....	65
Figura 41-Processo executado sempre que uma entidade Suporte entra no <i>buffer intermédio</i> .....	66
Figura 42- Lógica de seleção de movimentações do <i>transporter</i> empilhador .....	67
Figura 43- Diagrama de funcionamento do AGV (Configuração 1) .....	73
Figura 44-Diagrama de funcionamento do sistema com a 2ª configuração AGV .....	74
Figura 45-Tamanho do <i>buffer intermédio</i> necessário em cada configuração em cada cenário de nível de produção.....	79
Figura 46- Distâncias percorridas pelos Operadores .....	80
Figura 47- Distâncias percorridas colaboradores mais AGV/Empilhador.....	81
Figura 48-Unidades perdidas de produto final .....	82
Figura 49-Taxa de utilização de recursos.....	83
Figura 50-Diagrama de viragem de um AGV que se considerou no estudo .....	84

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Comparação de preço entre os vários tipos de guia. Valores retirados de (Guy Castleberry, 1993) e atualizados à taxa de inflação. ....	16
Tabela 2- Distância das várias alternativas de percurso para colaborador SMD.....	41
Tabela 3- Datas de início e de fim da recolha de dados.....	46
Tabela 4- N° <i>Big-bags</i> enchidos por hora na área de reembalamento.....	48
Tabela 5- Número de viagens feitas para o <i>buffer</i> intermédio.....	53
Tabela 6-Número de viagens para a receção.....	53
Tabela 7-Comparação do número médio de <i>big-bags</i> transportados por turno no mês de Janeiro com os resultados da simulação do modelo atual.....	69
Tabela 8-Comparação do número médio de viagens realizadas por turno no mês de Janeiro, com os dados da simulação do modelo atual.....	69
Tabela 9-Cenários testados.....	77
Tabela 10- <i>Cash-flows</i> para a configuração 1.....	88
Tabela 11- <i>Cash Flows</i> para a configuração 2.....	89



LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

MHS- *Material handling System*

AGVs- *Automated Guided Vehicles*

ASRS- *Automatic Storage and Retrieval Systems*

ERP- *Enterprise resource planning*

FMS- *Flexible manufacturing Systems*

GPSS- *General Purpose Simulation System*

CBA- *Cost Benefit analysis*

TPS- *Toyota production system*

ESD- *Electrostatic discharge*

PCB- *Printed circuit board*

POUP- *Point of use provider*

FIFO- *First-in-First-Out*



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento

Este projeto surge da necessidade de reduzir o congestionamento entre os fluxos de matérias-primas que abastecem as áreas de produção e o fluxo de resíduos proveniente tanto das áreas produtivas, como das áreas de armazém e receção de materiais. Estes resíduos são sobretudo cartão, e vários tipos de plástico, nomeadamente poliestirenos, e filme Pet.

A seleção de um sistema adequado de manuseamento de materiais (*MHS-material handling system*), neste caso, de resíduos, é uma decisão muito importante. Na situação em estudo pretende-se que seja flexível e compatível com os meios de transporte atualmente utilizados (Gotting, 2000; Mahadevan & Narendran, 1993).

Os AGVs, sigla inglesa para *Automated Guided Vehicles*, são veículos que possuem sistemas de navegação internos que lhes fornecem uma capacidade de orientação automática. As rotas de circulação são enviadas por rádio frequência (sem fios), ou em alguns casos por ligação física à rede de computadores da fábrica (HAMMOND, 1986). No âmbito deste estudo os AGVs foram avaliados como um possível substituto para a empilhadora manualmente operada, que presentemente é responsável pela movimentação dos resíduos desde as áreas de geração até a um parque de tratamento e separação de detritos, que existe no exterior das instalações. Os AGVs têm vindo a atrair a atenção da indústria devido à redução de custos, aumento da eficiência operacional, redução de inventários, flexibilidade na incorporação de mudanças futuras e aumento da segurança e consistência nos sistemas de manuseamento de materiais (Ganesharajah, Hall, & Sriskandarajah, 1998). Um AGV nesta situação particular terá como vantagens a redução dos custos de transporte e manuseamento de materiais e o aumento da fiabilidade e consistência das movimentações. Estes veículos seguem rigorosamente as rotas programadas não fazendo interrupções (a menos que sejam necessárias para evitar acidentes e colisões), o que por seu turno aumenta a eficiência do transporte. Os AGVs têm comumente um bom desempenho quando implementados em ambientes cujo padrão de movimentação é repetitivo (Vis, 2006), algo que se verifica no caso em estudo, e razão pelo qual este projeto foi iniciado. Os AGVs não foram a única solução ponderada no estudo de viabilidade, tendo sido preliminarmente analisada pela empresa a possibilidade de implementação de um sistema de *overhead conveyor*. No entanto, devido às características do transporte e à pouca flexibilidade das infraestruturas necessárias para essa solução, essa opção foi abandonada. Esta constatação é

reforçada na literatura. Gotting (2000) refere que os sistemas de overhead *conveyor* são justificáveis, apenas para um transporte massificado e contínuo. Devido às características dos AGVs, a sua utilização na indústria adequa-se sobretudo à movimentação de produtos ou matérias-primas. No entanto, a sua utilização é comum em situações menos óbvias, como por exemplo em prisões, hospitais, hotéis e escritórios, onde transportam desde artigos de lavandaria, refeições, equipamento hospitalar e equipamento de escritório (Castleberry, 1991).

O estudo e o dimensionamento de sistemas de AGV está estritamente associado a métodos de investigação operacional. É frequente encontrar na literatura estudo de casos em que os métodos de investigação operacional foram utilizados para analisar diversos problemas de implementação destes sistemas, desde do cálculo do número de veículos, até às rotas de deslocamento e locais de *pick-up* e *drop-off*. Gaskins e Tanchoco (1987) utilizaram um modelo de programação linear para determinar as rotas de deslocamento dos veículos. Além disso, Goetz e Egbelu (1990) utilizaram primeiramente um algoritmo heurístico para simplificar o problema e só depois modelaram o problema em programação inteira.

A simulação é uma técnica de investigação operacional que tornará possível uma análise do modelo de transporte com AGVs. Outros métodos poderiam ser utilizados, um estudo analítico, por exemplo, poderia ser utilizado para o cálculo do número ótimo de AGVs. No entanto, a complexidade dos modelos e a sua variabilidade no tempo inviabiliza o uso destas técnicas. Normalmente estes modelos têm de ser simplificados para serem passíveis de serem resolvidos analiticamente, exigindo um compromisso de análise. De acordo com o referido, a simulação é uma ferramenta poderosa em situações de modelos complexos e estocásticos (Miranda, 2009).

A análise económica de custo-benefício torna-se imperativa numa situação de tomada de decisão. Este tipo de análise exige que o analista recolha meticulosamente todos os custos e benefícios do projeto, e avalie o seu verdadeiro valor tendo em conta o ambiente económico em questão (Nas, 1996). A análise de viabilidade económica de sistemas MHS (*Material Handling Systems*) tem tido uma crescente procura, uma vez que, os custos de manuseamento de materiais representam entre 30 a 50% dos custos totais de produção (Dai & Lee, 2012). A automação desempenha um papel importante nos sistemas MHS, e tem vindo a substituir a mão-de-obra em praticamente todos os tipos de atividades, sendo que as operações de transporte e o manuseamento de materiais não são exceção. Com os recentes investimentos e criação de novas empresas na área da inteligência artificial é de esperar que os robots venham a desempenhar tarefas que até ao momento eram unicamente executadas por humanos. Alguns estudos mais recentes presentes na literatura mostram que existe interesse, no caso

específico dos AGV, em utilizar estas tecnologias em ambientes não estruturados e complexos, que requerem que o planeamento seja feito em tempo real e que o veículo tenha de tomar decisões no momento, de modo a fazer face a complexidades que possam surgir (Chen, Zhao, Liang, & Mei, 2014). Apesar destes sistemas automáticos ou robotizados requererem um maior investimento inicial, a flexibilidade, a fiabilidade e qualidade das atividades por estes desempenhadas é perentoriamente superior. Além do referido, quando se fala de produção em grande escala, em que o valor dos equipamentos pode ser amortizado por grandes quantidades de unidades produzidas, os sistemas automáticos serão uma boa solução.

### 1.2 Objetivos da dissertação

O objetivo desta dissertação foi estudar a viabilidade económica e funcional da implementação de um sistema de veículos autónomos para a movimentação de resíduos. Este objetivo surge da necessidade de reduzir o congestionamento provocado pelo fluxo de resíduos, que afeta o fluxo de matéria-prima que abastece as áreas de produção.

Existiu a preocupação em melhorar as práticas já existentes no que toca à separação, manipulação e acondicionamento de resíduos. Estas melhorias permitirão reduzir o número de movimentações necessárias para extrair uma mesma quantidade de detritos. De certa forma, mesmo que o estudo demonstre que a utilização de *AGVs* é inviável, o estudo do processo, e as fases da atuação do projeto irão permitir recolher informação que induza a melhorias sistemáticas da situação atual.

### 1.3 Metodologia de Investigação

Devido às características e restrições de cada fase do projeto foi necessário optar por diferentes estratégias de investigação em cada etapa. Na primeira etapa foi realizado um estudo exploratório, com o intuito de compreender a situação atual, e averiguar possíveis progressos ao método em utilização. A segunda etapa consistiu numa fase descritiva para modelar com rigor a situação atual. Em ambas as fases, a estratégia utilizada foi o estudo de caso. O conhecimento gerado neste tipo de investigação é geralmente muito específico (Saunders, Thornhill, & Lewis, 2009), não sendo suficientemente abrangente ao ponto de poder ser utilizado de forma genérica. A terceira etapa incluiu uma investigação documental à bibliografia existente sobre *AGVs*, para conhecer o estado da arte e a evolução da tecnologia ao longo do tempo e recolher propostas comerciais de fornecimento de *AGVs*. O resultado

foi a recolha de documentação que permitiu optar por um tipo de AGV e técnica de controlo mais adequada. Na última etapa efetuou-se uma análise custo-benefício da solução desenvolvida.

### 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação inicia-se com a introdução e o enquadramento ao problema, onde são explicadas as razões que motivaram o início deste projeto. No segundo capítulo é realizada uma análise crítica da literatura, onde é apresentado o estado da arte relativamente à implementação de sistemas AGV, que tipos de tecnologia são utilizados, e para que fins. Escolhem-se ainda quais as tecnologias AGV mais apropriadas para o universo Bosch e apresentam-se razões que justificam essa opção

No capítulo 3 apresenta-se a empresa e descreve-se o fluxo de materiais da fábrica.

Segue-se a descrição do problema e da situação atual. Neste capítulo o sistema de movimentação de resíduos é escrutinado, sendo referidos os colaboradores afetos ao processo, as suas atividades, as rotas percorridas, a quantidade de resíduos produzidos e duração das atividades.

O estudo seguiu-se com a modelação do processo atual e do sistema com a utilização de AGVs, capítulo 5 e 6, respetivamente.

De seguida são comparadas as várias configurações com AGV recorrendo a métricas como a utilização do equipamento e as distâncias percorridas. O trabalho continua com a análise de custo de cada uma das propostas e termina com a exposição das conclusões e considerações finais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão da bibliografia acerca dos temas abordados. Esta dissertação exigiu o cruzamento interdisciplinar de conhecimento, nomeadamente da investigação operacional, simulação e engenharia económica. Ao longo da dissertação foram abordadas outras áreas, por forma a dar suporte às informações apresentadas, a saber a estatística e a logística.

### 2.1 Sistemas AGV

Os sistemas AGV existem desde de 1953 e resultaram da modificação de um veículo de reboque. O inventor utilizou fios condutores de eletricidade que serviam de guia para o veículo. Assim, nasceu o primeiro tipo de navegação. Em 1973, a fábrica da Volvo em Kalmar, Suécia, implementou cerca de 280 AGVs que asseguravam o transporte dos automóveis pelas várias estações de montagem. A fábrica da Volvo foi a primeira aplicação em larga escala desta tecnologia (Ullrich, 2014).

Desde então, estes veículos têm evoluído significativamente. Um dos fatores preponderantes desta evolução foi o aumento da capacidade de cálculo dos microprocessadores. Atualmente, estes veículos utilizam sistemas de navegação mais sofisticados, não exigindo guias físicas nos pavimentos. No entanto, estes tipos de navegação só são possíveis devido aos modernos computadores de bordo, que são capazes de processar grandes quantidades de informação e atuar em concordância. Este desenvolvimento levou a que os AGVs deixassem de estar presos ou restringidos a guias e que agora possam movimentar-se livremente, sendo possível alterar as rotas regularmente (Ullrich, 2014).

Castlebury (1991) refere que os principais benefícios dos sistemas AGV são:

- **Flexibilidade.** Os sistemas mais modernos são altamente flexíveis, os AGVs podem ser reprogramados numa questão de horas, sendo compatíveis com sistemas ERP e ASRS. Conseguem cumprir com sistemas de produção com um escalonamento altamente variável e atualmente existem no mercado AGVs capazes de desempenhar uma grande variedade de trabalhos.
- **Real Time Control.** Todas as atividades realizadas pelos veículos são monitorizadas e guardadas no momento da sua realização, isto traduz-se em informações atualizadas sobre inventários, e WIP.
- **Redução dos Custos de Mão-de-Obra.** Os custos de mão-de-obra direta são eliminados. Para além disso, como estes veículos cumprem os planos de movimentação com elevada precisão é

de esperar que as estações de trabalho tenham um maior tempo produtivo, uma vez que, não necessitam de esperar desnecessariamente devido a atrasos.

- **Qualidade e Segurança.** Os AGVs são reconhecidos pela sua fiabilidade, diminuindo a ocorrência de acidentes, evitando o dano nos equipamentos e produtos.
- **Custos Energéticos.** Os AGVs só fazem as movimentações estritamente necessárias, sendo mais eficientes do que os veículos manualmente operados no que toca à utilização de energia. Em adição, os AGVs podem operar em ambientes mais frios no Inverno e mais quentes no Verão. Em alguns casos podem até operar em ambientes sem luz.
- **Ergonomia.** Os AGVs libertam os operadores de atividades penosas e desgastantes, dando a possibilidade para que estes ocupem e desempenhem funções mais gratificantes, como monitorizar os AGV e trabalhar para antever problemas. Funções que requerem trabalhadores multifacetados e proactivos.

Existem três aplicações comuns para a tecnologia AGV, sistemas de montagem, sistemas de armazém e sistemas de produção flexíveis.

## Sistemas de montagem

Nestes sistemas o veículo *AGV* carrega produtos de pequenas ou grandes dimensões, que são montados em cima do *AGV*. Ao longo do percurso são sequencialmente inseridos componentes e executadas operações até o produto estar completo. Em 1991, os *AGV* utilizados na montagem representavam entre 60% a 75% da totalidade dos *AGVs* na indústria (Castleberry, 1991). Estes sistemas de montagem com *AGVs* são, hoje em dia, utilizados primordialmente na indústria automóvel, indústria aeronáutica e espacial, devido à dimensão dos produtos por estas empresas manufaturados. Estes sistemas de montagem com *AGVs* vêm substituir a solução convencional com *conveyors*, que se apresenta muito inflexível, uma vez que não permite a alteração de percursos sem que seja necessário incorrer em grandes alterações físicas às estruturas instaladas. Com os *AGVs* uma alteração das guias ou uma reprogramação das rotas resolve esta situação. Outra grande vantagem dos *AGVs* é a possibilidade de customização que esta tecnologia permite. De acordo com as especificações do cliente as rotas dos *AGVs* irão passar apenas pelas estações de trabalho e montagem que dizem respeito às opções do comprador, eliminando deslocações e tempos de espera desnecessários. As baterias dos *AGVs* são carregadas em cada estação de trabalho enquanto os colaboradores executam as tarefas de montagem, não havendo períodos de inatividade por este motivo. Em adição, estes dispositivos podem possuir capacidades que os tornam bastante ergonómicos, uma vez que a altura das plataformas pode ser ajustada, e podem ter vários ângulos de inclinação para aumentar o conforto dos trabalhadores (Figura 1).



Figura 1- Da esquerda para a direita: *AGV* utilizado na montagem de automóvel, *AGV* utilizado na montagem de um avião

### Sistemas de armazém

Os AGV são usados normalmente em armazéns com *Automatic Storage and Retrieval Systems*(ASRS). Os AGVs nestas situações são utilizados para transportar materiais do armazém para as áreas de produção, ou entre vários pontos de armazenamento. A maior parte dos AGV comunicam com os sistemas ASRS e *enterprise resource planning* (ERP), daí que sempre que tenha de haver movimentação de materiais os veículos são ativados automaticamente, tornando o sistema semiautónomo, onde a intervenção será apenas necessária se ocorrerem erros (Figura 2).



Figura 2-AGV usado para transportar paletes num armazém

### Sistemas de produção flexíveis

Os *Flexible Manufacturing Systems* (FMS) são sistemas *high-tech* no que toca às tecnologias de produção. Estes consistem em conjuntos de robots ou máquinas, dispostas em células de produção (Toni & Tonchia, 1998), e controladas por computador que comunicam entre si. Estas máquinas e robôs podem ser programados para produzir uma grande variedade de artigos. Por exemplo, caso haja a introdução de um novo produto, basta que as máquinas sejam reprogramadas para fazer face às suas características. Os FMS são conhecidos por aumentarem a taxa de utilização dos equipamentos e reduzirem o tempo de *work in process*. Neste tipo de sistemas de produção os AGV tratam do transporte dos materiais e produtos entre células de produção. Estes sistemas não requerem uma intervenção intensiva de operadores. Uma linha ou célula de produção poderá funcionar com 1 a 4 colaboradores e é expectável que uma máquina possa trabalhar sem intervenção de um operador durante longos períodos de tempo. Nestes sistemas é vital que haja uma manutenção preventiva, para

aumentar a longevidade das ferramentas utilizadas, evitar tempos de paragem por avarias, e manter a qualidade dos produtos produzidos (Figura 3).

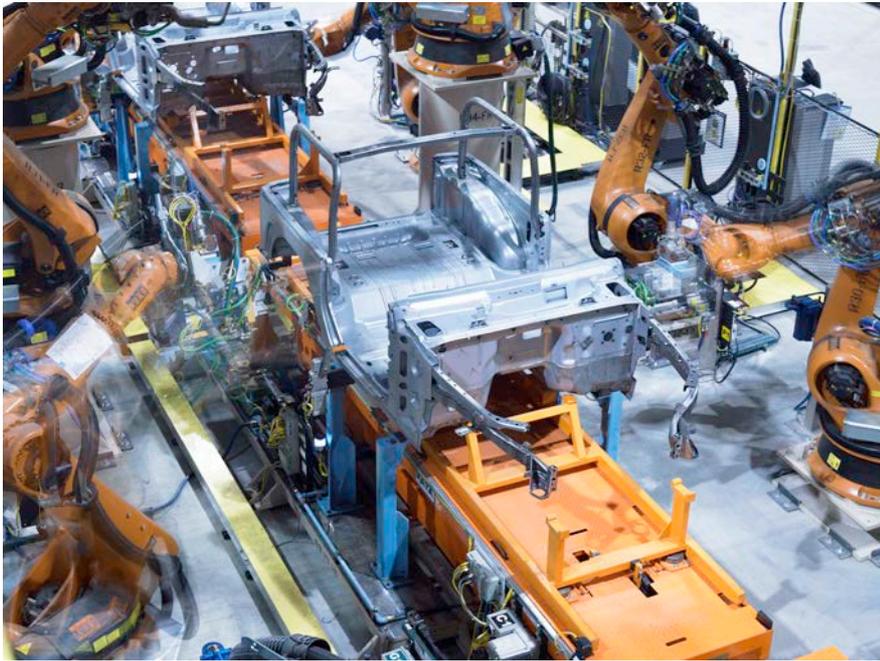


Figura 3- Exemplo de um sistema FMS

### Tipos de veículos

Segundo Castlebury (1991) grande parte dos vendedores classifica estes veículos em 6 categorias, de acordo com o tipo de tarefa que vão desempenhar, nomeadamente:

- Veículos de reboque;
- Porta paletes;
- *Flat bed vehicles*, (veículos onde o produto é transportado em cima do AGV, que possui uma superfície semelhante à de um porta-aviões);
- Empilhadores: empilhador convencional, empilhador com grua;
- Veículos de carga leve e veículos de transporte modular;
- Veículos de transporte especial. Estes podem ter variadas funções e são feitos à medida dos clientes. São utilizados em situações em que uma solução *standard* não é aceitável;

### Veículos de Reboque

Os AGVs de reboque são veículos com uma unidade central motorizada, à qual são atrelados vários reboques. Estes veículos são utilizados geralmente para transportar grandes cargas, que vão desde os 3.500 kg até aos 20.000kg (JBTCorporation). Estes veículos são comuns para movimentações entre estações de trabalho ou pontos de armazenamento. Dependendo do fornecedor, este tipo de equipamento pode incluir a opção de piloto manual, o que permite a deslocação para zonas remotas fora das guias e, conseqüentemente, o que aumenta ainda mais a flexibilidade do veículo. A carga pode ser manualmente introduzida nos reboques pelos operadores, utilizando empilhadores ou outro tipo de equipamentos. O carregamento manual dos reboques pode atrasar o sistema, se o AGV tiver que esperar por operadores livres sempre que chega a uma estação de trabalho. O carregamento e descarregamento do AGV pode também ser efetuado atrelando e desatrelando reboques à medida que seja necessário (Figura 4).



Figura 4- AGV de Reboque

### Porta Paletes

Este tipo de AGV é utilizado para transportar carga em paletes ao nível do solo. Os veículos podem ser carregados automaticamente ou manualmente. Quando o veículo é automaticamente carregado, este sai da guia e acopla-se à paleta, no modo manual um operador é responsável por guiar o veículo até à paleta e fazer a acoplagem. Depois terá que libertar o veículo que seguirá viagem. A principal razão pela qual o modo manual de descarregamento e carregamento continua a ser o mais utilizado é porque o carregamento automático exige maior complexidade do equipamento, devido à precisão necessária para a realizar a manobra de acoplagem às paletes. Isto torna o equipamento mais

oneroso. Além disso, no modo manual, é possível retirar os veículos para qualquer área fora das guias, o que dá ao colaborador a flexibilidade de alocar as cargas em qualquer parte do armazém (Figura 5).



Figura 5-Da esquerda para a direita: porta paletes com opção de controlo manual, porta paletes sem controlo manual

### *Flat bed vehicles*

Estes são os tipos de AGV mais comumente encontrados na indústria, uma vez que são ideais para transportar grandes quantidades de materiais em curtas distâncias. Estes veículos são interessantes quando o espaço é uma restrição. É perceptível que estes veículos possuem uma manobrabilidade superior aos veículos de reboque, uma vez que não possuem reboques, e, portanto, o raio de viragem é inferior. A superfície destes veículos pode ser customizada de acordo com as necessidades do transporte a efetuar, daí a sua vasta aceitação por parte das empresas. As camas de carga, tradução literal para *load beds*, podem ter várias configurações. Entre as mais utilizadas destacam-se os *conveyors* elétricos, os elevadores, e os mecanismos vaivém (Figura 6).



Figura 6- Da esquerda para a direita: *flat bed vehicle* com elevador, com conveyor e com superfície lisa

## Empilhadores

Os AGV empilhadores são em tudo semelhantes aos empilhadores normais. Estes são utilizados para movimentar paletes, tanto ao nível do solo como em altura, o que permite que estes veículos possam operar em conjunto com uma grande variedade de estruturas, como *conveyors* e estantes. Estes veículos são capazes de transportar cargas até 2.000 kg e elevar paletes até uma altura de 6 metros. Em função, dos fornecedores estas características vão variando. Devido à complexidade das tarefas realizadas por estes AGV, estes equipamentos são dos mais caros por requererem maior *hardware* e controlo *onboard* (Figura 7).

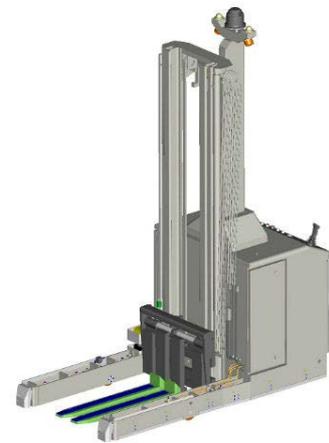


Figura 7- Empilhadora de carregamento lateral; Empilhadora normal; Empilhadora com elevador

### Veículos de carga leve e veículos de transporte modular

O desenvolvimento de veículos de carga leve resultou do sucesso da utilização dos AGVs na indústria. Este sucesso suscitou o interesse na utilização destes sistemas para aplicações não industriais. Neste contexto, veículos de pequenas dimensões, baixo custo e alta manobrabilidade são utilizados para o transporte de artigos e produtos de pequenas dimensões. Já os veículos de transporte modular consistem em veículos de reboque de pequenas proporções, aos quais são atrelados trolleys, cestos, bandejas e outras cargas. É possível encontrar estes equipamentos em hotéis, hospitais, escritórios e estabelecimentos prisionais, desempenhando o transporte de uma grande variedade de artigos. Na grande maioria dos casos, estes veículos têm uma acoplagem automática às estruturas a serem rebocadas, não necessitando de um operador para os assistir no processo (Figura 8).



Figura 8- AGVs de carga leve

### Sistemas de Navegação

Para que seja possível a orientação dos AGV através do perímetro da fábrica é fundamental que exista um sistema que forneça ao veículo informações posicionais, isto é, do caminho a seguir e da sua posição atual. Existem atualmente 4 sistemas de navegação:

- Navegação passiva;
- Navegação tridimensional;
- Navegação em grelha;
- Navegação indutiva;

#### Navegação passiva

Este método usa normalmente tecnologia de reconhecimento ótico, nomeadamente identificação do contraste e a estimulação de materiais através da emissão de energia luminosa.

O primeiro tipo de guia utiliza uma fita fluorescente que é colada ao pavimento. Os veículos estão depois equipados com uma fonte de luz ultravioleta que vai iluminando a fita à medida que se deslocam. Através de um sensor fotossensível o veículo vai controlando o movimento do AGV, de forma a averiguar se o veículo está, ou não, a seguir a fita fluorescente. Caso haja um desvio, o sistema de controlo a bordo do veículo emite correções para o sistema de direção, que faz movimentar as rodas para a posição adequada. Este tipo de navegação é sensível às características da iluminação da fábrica e do tipo de pavimento. Pavimentos diferentes têm características reflexivas distintas que podem exigir calibrações desiguais. É compreensível que as fitas sejam objeto de desgaste e percam a sua fluorescência ao longo do tempo, com isso o veículo perde a capacidade de ler as guias e será incapaz de se orientar, sendo que nestas situações o AGV desliga-se automaticamente.

O segundo método é em tudo semelhante. Neste, em vez de uma fita adesiva que é colada ao chão tem-se uma tinta com partículas fluorescentes, que é usada para pintar as guias no piso. Um feixe de energia luminosa, com comprimento de onda compreendido, entre 1 nm e 380 nm, é então emitido com o intuito de estimular as partículas fluorescentes da tinta (Mitchell, 1998). Esta tecnologia é mais vantajosa do que a fita adesiva, na medida em que não é sensível a fontes de luz externas nem aos vários tipos de pavimentos.

As fitas metálicas também podem ser utilizadas como guias passivas. Desta forma, em vez de sensores fotossensíveis os veículos possuem sensores que detetam o metal. As fitas metálicas, regularmente feitas de aço inoxidável, tem uma durabilidade superior contra a ação de agentes de limpeza e à abrasão provocada pela grande intensidade de tráfego. A fita metálica não necessita de estar exposta à superfície, podendo estar por baixo de tintas ou outros acabamentos do pavimento. Apesar das muitas vantagens, a fita metálica pode chegar a ser duas vezes mais cara (preço/metro). Como o nome indica, as guias passivas não fornecem informação em tempo real ao veículo. Daí que, para que o sistema de controlo de frota, o ERP ou o ASRS comuniquem com o veículo, seja necessário outro meio de comunicação, normalmente por rádio frequência, infravermelhos, ou internet *wireless*. No entanto, é possível transmitir ordens a estes veículos através de código binário que pode estar presente nas guias sob a forma de tiras perpendiculares à guia principal. Estas ordens podem ser para fazer soar um alarme, para parar o veículo, entre outras funcionalidades suportadas pelo fornecedor dos AGVs (Figura 9).

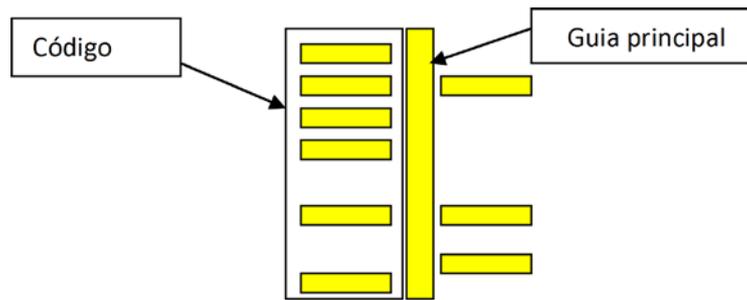


Figura 9- Esquema da colocação de código binário junto às guias

### Sistemas de posicionamento 3D

Estes sistemas calculam a sua posição através de pontos de referência espalhados pelo *layout* da fábrica. Os sistemas mais comuns são a navegação a laser, inercial e de reconhecimento de imagens:

- **Navegação a laser**, com este tipo de tecnologia os veículos emitem um feixe laser para alvos, estrategicamente localizados. Os alvos refletem a radiação emitida, e o microprocessador do veículo, cruzando as informações recolhidas dos lasers com o mapa e a planta da fábrica calcula a posição do veículo. Esta metodologia é baseada na atualmente em uso pelos sistemas de GPS, a triangulação. Neste caso, em vez de satélites têm-se alvos refletivos.
- **Navegação inercial**, utilizada largamente no mundo militar é uma tecnologia que com o auxílio de giroscópios e acelerómetros calcula a posição do veículo. Os AGV possuem mapas e *layouts* das fábricas. Partindo de uma posição inicial conhecida e guardando os dados da direção, velocidade do deslocamento e tempo decorrido (dados recolhidos pelos giroscópios e acelerómetros), é possível calcular a posição atual em relação à posição inicial. Para evitar erros de cálculo, apesar de não ser estritamente necessário, são colocados *transponders* ao longo dos percursos para servirem como pontos de referência.
- **Navegação com reconhecimento de imagens** consiste na constante análise de imagens para receber feedback do ambiente. O sistema irá reconhecer posições através da análise de sequências de imagens, para além disso dependendo do desenvolvimento dos *softwares* de reconhecimento, os veículos serão capazes de detetar situações de perigo e tomar decisões espontâneas para evitar o risco de acidente.

Qualquer uma das soluções de navegação 3D não necessita de guias no pavimento, o que pode ser extremamente benéfico se as rotas estiverem sujeitas a alterações frequentes, ou existam restrições

físicas nas instalações de guias. Em indústrias sensíveis a campos magnéticos e elétricos, as guias passivas e a navegação indutiva poderão ser um problema.

### Sistemas de navegação em grelha

Este sistema é uma variação dos sistemas óticos. A área de trabalho do AGV é pavimentada com um formato de tabuleiro de xadrez. Os veículos possuem uma versão digital da área de trabalho, também constituída por um padrão em grelha e com as posições de *pick-up* e *drop-off*. O veículo desloca-se pela área de trabalho com um sistema de *dead-reckoning*, ocasionalmente o veículo calcula a sua posição, através de identificadores que existem ao longo da área de trabalho.

### Navegação Indutiva

A maioria dos sistemas AGV utiliza a navegação indutiva, este fenómeno deve-se sobretudo ao facto desta tecnologia ter sido a primeira a ser utilizada para o efeito, e durante anos ser a única opção disponível. Neste tipo de navegação fios elétricos são colocados no chão. Correntes elétricas de várias frequências atravessarão estes fios, induzindo a criação de um campo magnético no meio envolvente. Este campo magnético é detetado pelos AGVs, que através das variações detetadas no campo magnético ajustarão a sua posição. Serão necessárias várias frequências para guiar os veículos em cruzamentos e intersecções entre guias. A desvantagem deste tipo de guia é a necessidade de abrir e cortar o pavimento para colocar os fios elétricos, isto torna a reconfiguração de rotas um trabalho moroso e dispendioso.

Tabela 1- Comparação de preço entre os vários tipos de guia. Valores retirados de (Guy Castleberry, 1993) e atualizados à taxa de inflação.

Preço/metro dos vários tipos de guia		
Guias óticas	Guia Metálica	Guia Indutiva
19,04 €	37,88 €	94,79 €

## 2.2 A tecnologia e o tipo de AGV adequado para a Bosch

Na secção anterior foram apresentados todos os tipos de AGVs atualmente no mercado e as tecnologias que lhe estão associadas. A empresa pretende uma tecnologia que forneça flexibilidade para futuras mudanças do sistema, que seja estável, que não ponha em causa sistemas já instalados e que não seja demasiado custosa.

A tecnologia mais estável e com mais garantias dadas até ao momento é navegação indutiva e tem vindo a ser usada há mais de 50 anos. No entanto, a indústria eletrónica é muito sensível a campos magnéticos e elétricos externos, pois estes podem afetar tanto os produtos como o bom funcionamento dos equipamentos. Apesar dos riscos de ocorrência de avarias relacionadas com o efeito destes campos ser diminuta, é um risco que não é necessário correr, uma vez que existe um grande nicho de equipamentos que utilizam outro tipo de tecnologias. Em relação à flexibilidade só existe um tipo de tecnologia que permite a alteração de rotas sem a alteração física das infraestruturas da fábrica, são os sistemas de posicionamento 3D. Nestes sistemas as alterações às rotas são feitas através de alterações a nível do *software* que controla o AGV. É sabido que desta vantagem advém um custo de equipamento maior, mas que acaba por compensar ao longo da vida dos equipamentos, porque os custos de manutenção e alteração de infraestruturas são mais baixos.

Dentro da tecnologia de sistemas de posicionamento 3D destacam-se a navegação a laser, a inercial, e o reconhecimento de imagens. As primeiras duas são tecnologias estáveis, já a última encontra-se em fase de desenvolvimento, e poucos são os equipamentos que podem depender somente dessa tecnologia para a navegação, se bem que das três é aquela com maior potencial futuro.

Depois desta reflexão chegou-se à conclusão que as melhores tecnologias seriam a navegação laser e a navegação inercial.

A navegação laser está suscetível ao sucesso da reflexão dos raios lasers nos targets, exigindo espaços abertos. Em espaços com armazenamento de materiais em altura os targets poderão estar obstruídos. Para além disso, irregularidades no pavimento como rachaduras no chão ou rampas irão influenciar a direção e a altura à qual o laser parte do veículo aumentando a probabilidade de os lasers não atingirem os targets. O sistema de navegação por laser é suscetível a sabotagem, se as pessoas deliberadamente obstruírem os targets ou o sensor laser a bordo do veículo.

A navegação inercial não possui estes problemas, mas existem menos fornecedores a vender este tipo de tecnologia. No entanto, a navegação inercial apresenta-se como a tecnologia mais apropriada aos métodos da Bosch.

## 2.3 Simulação

Segundo Banks (1998) a simulação é a imitação do modo operativo de um processo, ou sistema real, ao longo do tempo. Para simular é necessário criar um modelo que represente com verosimilhança o

sistema real, isto é, que replique as suas características e funções. O modelo corresponde ao processo real, a simulação é o resultado da operação do modelo ao longo do tempo.

A simulação é utilizada com uma grande variedade de propósitos, nomeadamente resolver problemas e treinar pessoas. Inicia-se com a formulação do problema e culmina com a apresentação da simulação e dos resultados do estudo. Inclui ainda as fases de formulação, análise, modelação e experimentação (Balci, 1998).

A simulação computacional, que será o tipo de simulação utilizada neste trabalho de investigação surgiu durante a II Guerra Mundial na sequência do Projeto Manhattan. Stanislaw Ulam, Von Neumann e Nicholas Metropolis foram pioneiros na utilização do método de Monte Carlo num computador eletrónico para resolver problemas relacionados com o *design* da bomba de hidrogénio, problemas esses intratáveis analiticamente (Cooper, Eckhardt, & Shera, 1989).

A rápida proliferação do computador para uso geral a partir dos anos 50, originou o aparecimento de novas técnicas de simulação e a sua aplicação nas mais variadas disciplinas. Em 1960, Keith Douglas Tocher desenvolveu aquele que foi o primeiro programa de simulação para uso geral, o *General Simulation Program* (GSP), como uma ferramenta para simular uma fábrica constituída por um conjunto de máquinas (Wilson, Goldsman, & Nance, 2010). Tocher foi também o 1º autor de um livro no tópico, intitulado, *The Art of Simulation*, publicado pela primeira vez em 1963.

Geoffrey Gordon, como gestor de uma equipa responsável pelo desenvolvimento de ferramentas de simulação, que constituía parte da divisão *Advanced Systems development* da IBM, introduziu o *General Purpose Simulation System* (GPSS) (Wexelblat, 1981). Com o GPSS era possível modelar problemas de teleprocessamento<sup>1</sup>, como o controlo de tráfico urbano, interceção de chamadas telefónicas e o processamento de reservas de voo. Gordon dava especial importância aos diagramas de blocos, porque temia que programar fosse uma tarefa demasiado exigente para engenheiros (Wilson et al., 2010).

Seguiram-se outros sistemas de simulação, o SIMSCRIPT criado por Harry Markowitz, detentor de um prémio Nobel, e Bernard Hausner foi implementado como um *preprocessor*<sup>2</sup> para o FORTRAN. O SIMSCRIPT foi desenvolvido com o intento de poder ser utilizado por utilizadores sem experiência em programação. O SIMSCRIPT encontra-se atualmente na versão III, que suporta animação 3D.

---

<sup>1</sup> Sistemas de Teleprocessamento são sistemas de processamento de dados à distância, em que, um computador está ligado a terminais, ou mesmo a um outro computador, através de um meio de comunicação.

<sup>2</sup> *Preprocessor* é um termo inglês que define um programa que processa a sua informação de entrada e produz um *output* que será utilizado como *input* para outro programa.

Os principais avanços na área da Simulação na década de 60 foram impulsionados por duas grandes empresas, a IBM e RAND Corp. Apesar de tudo os programas criados nestas duas instituições possuíam as seguintes falhas:

- Gestão da memória do computador, recurso escasso na época;
- Criação de um sistema de modelação que fosse de fácil construção e revisão;
- Criação de um mecanismo de avanço temporal que fosse eficiente;
- Gestão dos ficheiros que continham as entidades do sistema;

Estes problemas foram em grande parte ultrapassados. Atualmente, existem *softwares* de simulação de fácil utilização, com processos de modelação intuitivos e sistemas de análise de dados automáticos que geram relatórios de dados, de acordo com as especificações do utilizador. Destes, destacam-se os mais “populares” como o ARENA e SIMUL8 (Dias, Pereira, Vik, & Oliveira, 2011).

### 2.3.1 A simulação de sistemas de produção e manuseamento de materiais

O dimensionamento destes sistemas é uma área que tem grande potencial para a aplicação de técnicas de simulação. Rohrer (1998) aponta que as principais razões para este facto são:

- A motivação das empresas em se tornarem competitivas;
- O elevado nível de automação das indústrias;
- A vontade de testar novas metodologias de produção, como o *just-in-time*;
- Os sistemas de produção serem normalmente muito complexos para a utilização de métodos analíticos.

A estas razões pode ainda acrescentar-se o facto de a simulação reduzir o risco de investimento em infraestruturas e poder ser utilizada para testar vários cenários e prever os seus resultados. No caso específico dos sistemas de movimentação de materiais, a simulação é frequentemente utilizada para escolher o tipo de equipamento mais adequado e calcular a capacidade a instalar. No caso específico dos AGV a modelação acaba por ser mais simples, uma vez que é mais fácil simular o comportamento destes veículos do que simular o comportamento altamente imprevisível dos humanos. Representar as decisões humanas através de *software* pode ser demasiado dispendioso, e muitas vezes não produzir resultados fiáveis.

Existem inúmeros artigos que documentam a aplicação de ferramentas de simulação para resolver problemas práticos na indústria. Jefferson, Rangaswami & Stoner (1996) simularam um sistema de movimentação de materiais de grande escala, que consistia num sistema ASRS com guias

empilhadoras, um sistema AGV e *conveyors* a ligar o fluxo de materiais entre os dois sistemas. Bakst, Hoffner, e Jacoby (1996) estiveram envolvidos no processo de melhoria de uma linha de reboque da Random House, uma das maiores editoras de livros a nível mundial. O objetivo era atualizar o sistema atual, testar novos *layouts* e perceber se as soluções propostas cumpriam com os objetivos definidos pela empresa para o projeto. Entre outros indicadores foram avaliados o tempo em trânsito das paletes desde a origem até ao destino final, e quantos carrinhos seriam necessários para o sistema. Um exemplo cada vez menos vulgar de simulação é a replicação dos sistemas em modelos reais, à escala, isto é, modelos físicos de pequenas dimensões criados para imitar o funcionamento daquilo que se pretende simular. Este tipo de técnicas era uma das poucas alternativas quando se queria simular e apresentar visualmente a simulação resultante. Só recentemente, é que foram criadas ferramentas que permitem com eficiência e qualidade a representação tridimensional da simulação em computador. Hurley, Coffman, Dixon & Walacavage (1987) através da simulação física replicaram à escala de 1/35, um centro de maquinagem onde AGVs eram responsáveis pelo transporte de materiais entre os vários centros de maquinagem. Existiam motores e cilindros pneumáticos que tinham a função de providenciar as movimentações do sistema. O controlo dos atuadores era feito através de programas de computador que registavam informações recolhidas pelos sensores e controlavam os atuadores em concordância. A recolha de dados para análise foi feita por sensores que iam registando informação em ficheiros que foram posteriormente tratados e analisados quantitativamente.

Ao longo deste capítulo foram sendo apresentadas inúmeras **vantagens** da simulação, nomeadamente:

- A possibilidade de estudar o comportamento de um sistema sem ter de o construir;
- A possibilidade de levar a cabo a análise de cenários (*What if analysis*);
- A simulação não requer que o sistema seja alterado no mundo real (dessa forma não existirão tempos de paragem para testar novas abordagens, caso se trate de um sistema já existente);
- É possível simular anos de atividade de um sistema em poucos minutos;
- Simular exige um absoluto domínio e compreensão do sistema real (daí, que resulte muitas vezes numa extensão do entendimento dos sistemas e dos processos que o constituem).
- É possível tratar qualquer tipo de problema, em que a complexidade do sistema não é tanto um entrave, mas mais uma motivação para a escolha da simulação em detrimento de métodos analíticos.

Existem, no entanto, desvantagens evidentes destas técnicas, a saber:

- Existem fenômenos que ainda não compreendemos. A simulação só é passível de ser concretizada se houver um entendimento profundo do objeto de simulação. Não é possível, por exemplo, simular a ocorrência de terremotos ou maremotos.
- A simulação exige muito tempo. Quanto maior a complexidade do modelo, e o grau de precisão pretendido, mais tempo será necessário e mais dispendiosa será a simulação.
- Pode exigir um elevado poder de computação. Para simulações do gênero da que será apresentada neste trabalho este problema não se porá. Contudo, existem problemas que poderão exigir supercomputadores. A NASA recorre a supercomputadores para simular o processo de formação das galáxias (Hardman, 2015).

## 2.4 Métodos analíticos de resolução de problemas

Os métodos analíticos de resolução de problemas foram introduzidos na indústria no contexto da investigação operacional. Sucintamente, a investigação operacional é a utilização de modelos matemáticos para a resolução de problemas operacionais. De certa forma, a investigação operacional representa a colocação dos conhecimentos da ciência ao serviço das mais variadas instituições.

Esta disciplina utiliza métodos analíticos, como a análise matemática, os algoritmos e heurísticas de otimização para a resolução de problemas. Curiosamente, muitas das aplicações destas técnicas são utilizadas em problemas de transportes. Como grande parte das áreas de estudo relacionadas com a indústria, também a utilização da investigação operacional proliferou durante a Segunda Grande Guerra.

Relativamente à utilização destas técnicas no dimensionamento de Sistemas AGV existem várias aplicações práticas de métodos analíticos:

- **Definição do *layout* dos departamentos**, que é normalmente estabelecido através de heurísticas. O método CRAFT é uma das possibilidades para abordar este problema (Francis, Jr., & White, 1991).
- **Definição do percurso de escoamento**. Esta etapa comporta a definição dos corredores por onde o fluxo de materiais vai fluir, em que direções e onde serão definidos os pontos de *pick-up* e *drop-off*. Os objetivos serão minimizar as movimentações sem carga, maximizar a utilização do equipamento (aumentar o número de postos que são servidos pelo mesmo equipamento), e minimizar o congestionamento. Gaskins e Tanchoco (1987) apresentam um modelo de programação inteira que permite, para além de

definir quais os sentidos de circulação num dado trajeto, saber quais os trajetos que podem ser dispensados. Este modelo parte do princípio que o *layout* dos departamentos já se encontra definido, e a função objetivo é minimizar as distâncias percorridas com carga entre as estações de trabalho. Um parâmetro importante que não é tido em consideração no modelo destes dois autores é o tempo de deslocação sem carga.

- **Definição do tamanho das frotas dos veículos.** Numa situação muito simples, sabendo o tempo total de deslocação que será necessário para um dado período de tempo é possível calcular o número de veículos necessários. Contudo, raras são as situações em que os problemas podem ser abordados com este grau de simplicidade. Encontrar este tempo de deslocação é uma tarefa exigente, uma vez que é necessário calcular o tempo despendido com carga e sem carga. As abordagens vão depender do tipo de procura em questão, que pode ser determinística ou estocástica. Uma das primeiras tentativas para resolver este problema surgiu por intermédio de Maxwell e Muckstadt (1982). Os autores calcularam o tempo de deslocação com carga, que pode ser conhecido através das informações das distâncias entre locais de *pick-up* e *drop-off*, os tempos de carga e de descarga, e número de cargas a movimentar. O cálculo foi realizado da seguinte forma:

- $V_{ij}$  corresponde ao número de cargas a movimentar por turno do ponto  $i$  para o ponto  $j$ ;
- $T'_{ij}$  é o tempo total necessário para carregar transferir e descarregar os materiais do ponto  $i$  para o ponto  $j$ ;
- O número de horas de deslocação com carga necessárias para fazer as movimentações do sistema é dado pela Equação 1.

$$\sum_{ij} v_{ij} * T'_{ij}$$

Equação 1

Falta agora contabilizar o tempo necessário para as viagens sem carga, isto é, após descarregar o AGV num ponto é necessário deslocar o veículo até um novo ponto de carga. Esta viagem é feita em vazio. Entende-se que o tempo despendido em viagem será tanto menor quanto mais se coordenarem as viagens, para que após um ponto de

descarga, o veículo seja redirecionado para a estação de carga mais próxima. Este é um problema clássico de transportes onde os pontos de descarga são as origens e as estações de carga os destinos, e onde se pretende minimizar o tempo de deslocação entre estações. Depois de se resolver este problema temos então as viagens que são realizadas em vazio e consequentemente o tempo despendido nas mesmas. O cálculo do número de AGVs é realizado da seguinte forma:

- $X_{ij}$  é o número de viagens em vazio a serem realizadas entre o ponto  $i$  e o ponto  $j$ . Valor calculado através da resolução do problema de transportes.
- $\sum_{ij} X_{ij} * T'_{ij}$  Corresponde ao valor total requerido para as viagens sem carga.
- Se considerarmos que um AGV tem um tempo útil de trabalho por turno de 430 minutos, então o número mínimo de AGVs é dado pela Equação 2

$$\frac{(\sum_{ij} X_{ij} * T'_{ij} + \sum_{ij} V_{ij} * T'_{ij})}{430}$$

Equação 2

Esta abordagem comporta várias restrições e condições que foram impostas para simplificar o processo de modelação do sistema. Por esse motivo os autores consideraram que em cada corredor os veículos podem deslocar-se num único sentido e que não pode existir mais que um veículo a percorrer o mesmo corredor ao mesmo tempo. Este é um dos *trade-offs* da modelação através de métodos analíticos. Muitas vezes não podemos modelar o sistema exatamente como ele é na realidade, uma vez que, a complexidade do problema pode aumentar, tornando o problema intratável.

Com as restrições impostas, nomeadamente o facto de não poder existir mais que um veículo a percorrer o mesmo corredor ao mesmo tempo, existe um problema de escalonamento das viagens para que os veículos não se sobreponham. Por este motivo, Maxwell & Muckstadt (1982), desenvolveram um algoritmo que regula as ordens de despacho das viagens.

Mais tarde outros autores abordaram o problema da definição do tamanho das frotas. Destes destacam-se Egbelu (1987), e Malmborg (1991), ambos partem e complementam a metodologia proposta por Maxwell & Muckstadt (1982). Todos os modelos propostos pelos autores mencionados consideram a procura como determinística.

- **Regras de despacho.** Como já foi referido anteriormente existem restrições impostas aos sistemas, que podem exigir que conflitos entre os AGVs tenham de ser evitados. Apesar de atualmente existirem tecnologias que permitem de forma reativa fazer face a possíveis conflitos, este facto não inviabiliza que se tente ao máximo prevenir em vez de reagir. Nos métodos reativos os veículos têm a capacidade de saber se estão próximos de outros AGVs. Se isto se verificar eles estão programados para esperar até que já não haja possibilidade de conflito.

Para sistemas AGV, de pequenas dimensões, com um número reduzido de veículos e centros de trabalho, o problema do escalonamento dos despachos é relativamente simples. Bartholdi & Platzman (1989) e Akturk & Yilmaz (1996) propuseram modelos matemáticos para a solução deste problema. No entanto, estes modelos não são eficientes quando utilizados para dimensionar sistemas de elevada complexidade e um grande número de veículos. Tanchoko, um nome que aparece recorrentemente quando se pesquisa na área, juntamente com Chang propuseram um algoritmo de despacho baseado em janelas temporais. O procedimento proposto por Chang & Tanchoco (1991), utiliza o algoritmo dos caminhos de custo mínimo de Dijkstra para a escolha dos trechos que compõem o trajeto mais curto entre duas estações de trabalho. O percurso de escoamento é representado graficamente por nodos e faixas (Figura 10). Os nodos podem representar estações de trabalho, intersecções, parques de paragem de veículos e pontos de carregamento de baterias. As faixas correspondem aos corredores e caminhos entre os vários nodos. As deslocações vão sendo programadas e registadas num gráfico de janelas temporais. Intervalos de tempo serão reservados para cada nodo, nenhum outro veículo pode reservar uma janela temporal, caso esta já esteja ocupada. Um exemplo de uma janela temporal pode ser visto na Figura 11.

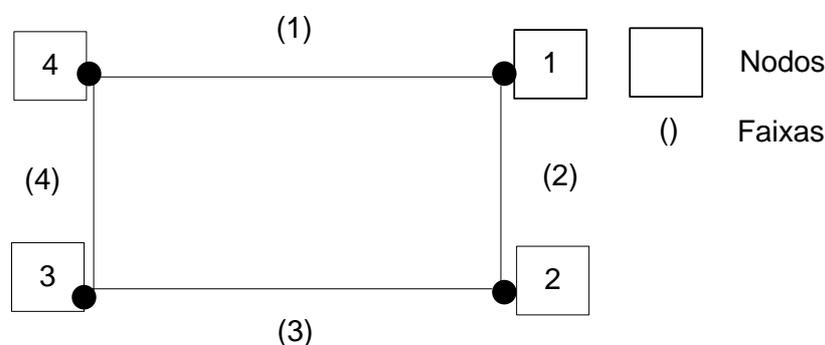


Figura 10- Diagrama de escoamento

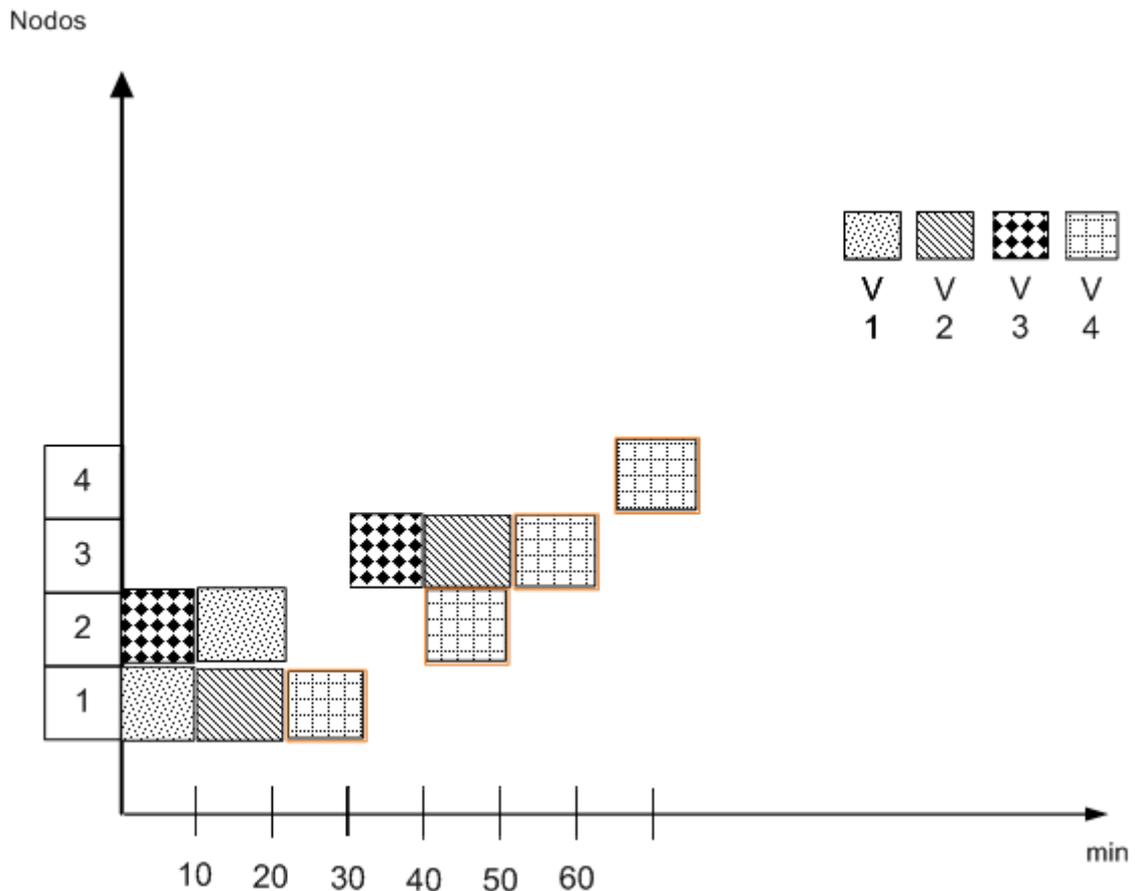


Figura 11-Exemplo de um gráfico de janelas temporais. V1, V2,V3 e V4 são AGVs

Por exemplo, considere-se na Figura 11, o caso do veículo 4. Este veículo necessita de visitar o nodo 2, o nodo 3 e o nodo 4, por esta ordem e partindo do nodo 1. Ele entra no nodo 1 aos 20 minutos e sai aos 30, durante cerca de 10 minutos ele irá viajar pela faixa 2 (Figura 11) e só irá entrar no nodo 2 aos 40 minutos. Vários problemas podem existir na utilização desta metodologia, nomeadamente, o tempo de viagem na faixa 2 pode ser superior, ou inferior a 10 minutos. No 1º caso, isso significaria que o veículo não iria chegar a tempo de cumprir a janela temporal. No segundo, existiriam duas alternativas possíveis, o veículo ou teria de andar a uma velocidade inferior, ou então esperar na faixa (2), ou nodo 1. Por outras palavras, apesar de termos janelas temporais passíveis de serem reservadas, isso não significa que estas possam ser cumpridas. Isto aumenta a complexidade do problema e exige que mais passos sejam inseridos no algoritmo para salvaguardar estas conjeturas. Com estes dados, é possível construir um diagrama que liga as janelas temporais que podem ser cumpridas partindo de outras janelas temporais (Figura 12).

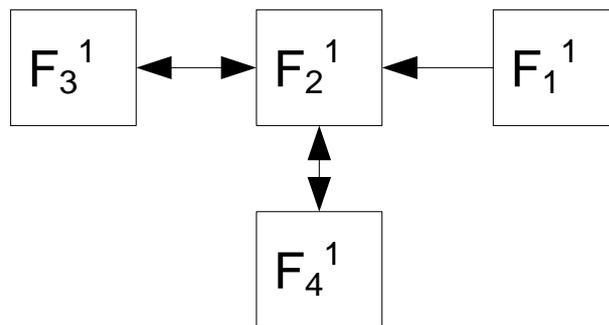


Figura 12-Exemplo de um diagrama de janelas temporais passíveis de serem cumpridas

Na nomenclatura  $F_n^k$ , o “F” representa que se trata de uma janela temporal livre, o “n” o nodo dessa janela temporal, o k o número indentificador da janela temporal. Por Exemplo, o  $F_3^1$  pode ser entendido como a 1ª janela temporal livre do nodo 3. É óbvio que estes índices serão atualizados ao ritmo de reserva de novas janelas temporais. A título de exemplo, a seta unidirecional entre  $F_1^1$  e  $F_2^1$  mostra que um veículo que tenha reservado  $F_1^1$  poderá cumprir e conseqüentemente reservar  $F_2^1$ .

Concluindo, existe um grande número de problemas no *design* de sistemas AGV, que podem e têm sido abordados através de métodos analíticos de resolução de problemas. Contudo, a opinião de vários autores indica que estes métodos deixam de ser eficientes quando a complexidade e o número de veículos nos sistemas é muito elevada (Ganesharajah et al., 1998). Nesses casos, os métodos analíticos podem servir de ponto de partida. A simulação é a ferramenta que deverá ser utilizada em seguimento. Note-se, que a ordem pela qual foram apresentados os problemas não é necessariamente aquela pela qual estes devem ser resolvidos. Existem opiniões diversas relativas à ordem pela qual estes problemas devem ser resolvidos, que vão desde a integração de todas as etapas até à análise isolada de cada uma. Não obstante o processo é visto pela comunidade científica como iterativo, no qual as etapas vão sendo revisitadas numa lógica de otimização.

## 2.5 Análise Custo-Benefício

A análise custo-benefício, *Cost-Benefit Analysis* (CBA), é uma técnica utilizada para determinar as vantagens e as desvantagens de um projeto, ou escolher de entre várias alternativas a melhor (Mishan & Quah, 2007). Para além de revelar as vantagens e as desvantagens de um projeto, a CBA também as quantifica com o recurso à utilização de uma unidade comum, normalmente monetária. Desta forma, é possível identificar se num projeto as vantagens ultrapassam quantitativamente as suas desvantagens, ou em caso da avaliação de múltiplos projetos qual o projeto em que os benefícios superam as desvantagens.

Segundo Boardmanas (2010) as principais etapas da realização de uma Análise de Custo-Benefício são:

- Listar todos os projetos a ser avaliados;
- Listar os *stakeholders*;
- Selecionar quais os elementos a medir nos vários projetos e medi-los;
- Prever os resultados do projeto ao longo de um período temporal considerado relevante;
- Converter todos os custos e benefícios para uma unidade comum;
- Aplicar a taxa de juro;
- Calcular o valor atual;
- Realizar a análise de sensibilidade;
- Tomar uma decisão de acordo com os resultados obtidos.

Neste trabalho, esta análise irá ser utilizada para averiguar a viabilidade financeira das propostas de melhoria apresentadas. Na literatura encontra-se a utilização deste método de análise para os mais variados tipos de investimentos.

Fenies, Gourgand & Tchernevt (2006), elaboraram artigo muito interessante que combina conhecimento multidisciplinar. Neste artigo eles propõem-se a criar um modelo matemático para dimensionar um percurso de escoamento que para além de tentar minimizar o tempo despendido em viagens, inclui também na sua função objetivo parâmetros relacionados com o custo de construção. A intenção do modelo é encontrar uma solução que encontre um equilíbrio entre o desempenho do *layout* do percurso de escoamento e o seu custo de construção. Para além deste estudo, os autores incluem ainda no artigo resultados de uma simulação realizada com recurso à linguagem SLAM II. Esta simulação foi realizada para testar os *layouts* obtidos anteriormente em relação ao desempenho dos AGVs. Foram simulados sistemas com diferentes quantidades de AGVs e com diferentes regras de despacho.



### 3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Bosch é uma empresa de origem alemã fundada em 1886, em Estugarda, por Robert Bosch. A empresa começou como uma oficina de mecânica e engenharia elétrica e atualmente está presente nos ramos da tecnologia automóvel, tecnologia industrial, bens de consumo, construção e eficiência energética (sistemas de segurança para edifícios, sistemas de aquecimento para residências).

Em 2013 a Bosch atingiu um volume global de vendas de 46.1 mil milhões de euros (Bosch Car Multimedia Portugal, S.A., 2014). Sendo que 66% desse valor proveio do ramo da tecnologia automóvel, e os restantes 34% da combinação dos ramos da tecnologia industrial, bens de consumo, construção e eficiência energética.

<b>Bosch Group</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 46,1 billion euros in sales</li> <li>→ 281,000 associates</li> </ul>		
<b>Automotive Technology</b>	→ One of the world's largest suppliers of automotive technology	66 % share of sales	
<b>Industrial Technology</b>	→ Leading in drive and control technology, packaging, and process technology	34 % share of sales	
<b>Energy and Building Technology</b>	→ Leading manufacturer of security technology and global market leader for residential heating systems		
<b>Consumer Goods</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Leading supplier of power tools and accessories</li> <li>→ Leading supplier of household appliances</li> </ul>		

Figura 13- Áreas de negócio do grupo Robert Bosch GmbH

Este valor descreve genericamente a dimensão deste grupo, que está presente nos 5 continentes, englobando 360 subsidiárias em 50 países, e com um agregado de 281 000 colaboradores. A Figura 14 revela a presença da Bosch a nível global.

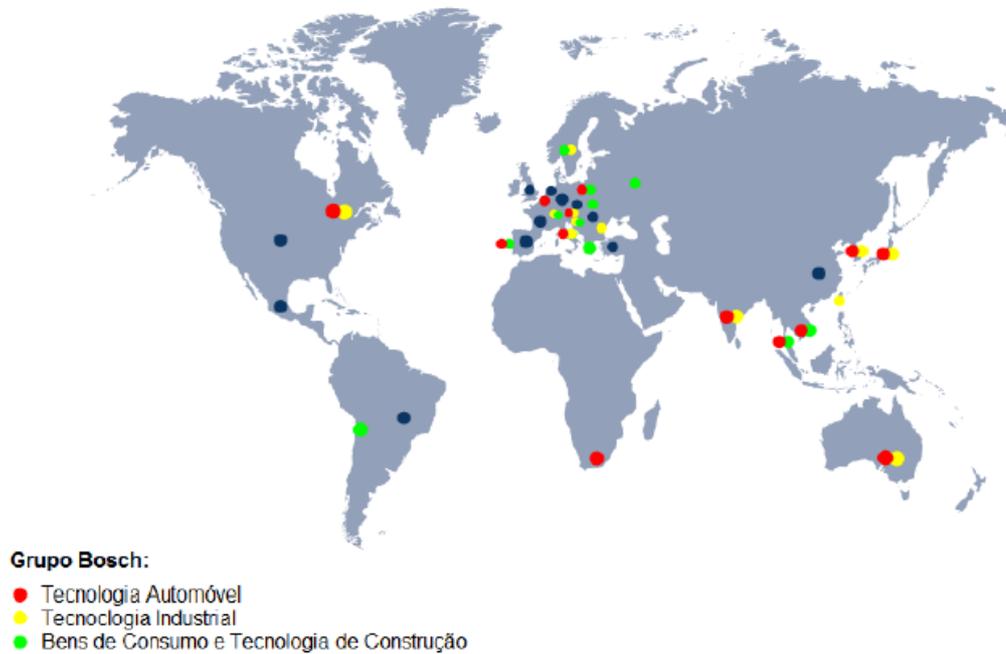


Figura 14- Presença da Bosch a nível global

Refira-se que a Bosch é também líder mundial na criação de novas tecnologias. Em média, são registadas 19 novas patentes por dia em nome da empresa. Daí que, nos últimos 10 anos a, Bosch tenha investido cerca de 35 mil milhões de euros em I&D.

### 3.1 A Bosch em Portugal



Figura 15- Unidades Bosch em Portugal

A Bosch está presente em Portugal desde 1911. Neste momento possui 4 unidades produtivas, em Braga, Abrantes, Aveiro e Ovar, nas áreas de car multimedia, termotecnologia, e sistemas de segurança, respetivamente. Possui ainda escritórios em Lisboa, responsáveis pelas vendas, formação, e serviços de pós-venda.

### 3.2 Unidade de Braga (BrgP)

A unidade de Braga é a principal fábrica da divisão Car Multimedia da Bosch e centra a sua atividade no fabrico de autorrádios, sistemas de navegação e painéis de instrumentos para a indústria automóvel. Numa escala menor também é responsável pela produção de sensores de ângulo de volante e unidades de controlo climático.

#### 3.2.1 Principais clientes

Os clientes da Unidade de Braga estendem-se pelas áreas de negócio presentes na planta, nomeadamente, a tecnologia automóvel, e o controlo climático.

No ano de 2013, a Bosch Braga, sendo a maior exportadora de Portugal, produziu 1.3 M autorrádios, 1 M de sistemas de navegação, 4M de sensores de ângulo de volante, 1.8 M de outros produtos, designadamente, os sistemas de controlo climático, que são aplicados em vários produtos de uso doméstico.



Figura 16 Clientes da Bosch Braga

### 3.2.2 Secções e Departamentos

A Bosch Braga está segmentada em duas grandes áreas, a Comercial (PC), e a Técnica (PT). Na área comercial estão incluídos os departamentos de pós-venda (ASA), serviços informáticos locais (CI/FSI1), contabilidade financeira (CFA), logística (LOG), recursos humanos (HRL), compras (PUR), e compras avançadas (PUE). Na área técnica existem os departamentos de *deployment business excellence (DBE)*, desenvolvimento (ENG), saúde segurança e ambiente (HSE), produção: processo SMT (MOE1), produção: montagem final (MOE2), gestão da qualidade de compras (PUQ), gestão da qualidade e métodos (QMM), e funções técnicas (TEF, MFI-A).

Área Técnica

DBE	ENG	HSE	MOE1	MOE2	PUQ	QMM	TEF
<p><i>Deployment Business Excellence</i></p> <p><b>DBE1</b> - BPS (Sistema de Produção Bosch)</p> <p><b>DBE2</b> - Planning Guideline</p> <p><b>DBE3</b> - Projectos, EFQM, Change Management</p>	<p>Desenvolvimento</p> <p><b>EPM</b> - Gestão de Projectos</p> <p><b>COS</b> - Produção de Amostras</p> <p><b>ENG1</b> - Avaliação Eléctrica de Amostras</p> <p><b>ENG10</b> - Gestão de Alterações</p> <p><b>EED</b> - Desenvolvimento Eléctrico</p> <p><b>END</b> - Desenvolvimento Mecânico</p>	<p>Saúde, Segurança e Ambiente</p>	<p>Produção: Processo SMT</p> <p><b>MOE11</b> - Produção de SMT (<i>Surface-Mount Technology</i>)</p> <p><b>MOE12</b> - Qualidade SMT</p> <p><b>MOE18</b> - Manutenção SMT</p>	<p>Produção: montagem final</p> <p><b>MOE2</b> - Produção: montagem final.</p> <p><b>MOE21-25</b> - Montagem final de equipamentos produzidos</p> <p><b>MOE27</b> - Qualidade da Produção</p>	<p>Gestão da Qualidade de Compras</p>	<p>Gestão da Qualidade e Métodos</p> <p><b>QMM1</b> - Qualidade do Produto</p> <p><b>QMM6</b> - Fiabilidade</p> <p><b>QMM7</b> - Qualidade Preventiva</p> <p><b>QMM9</b> - Assistência a Clientes</p>	<p>Funções Técnicas</p> <p><b>CoC/AVT</b> - Coordenação do grupo CoC</p> <p><b>CoC - Assembly</b> - Centro de Competências de Produção</p> <p><b>TEF1</b> - Planeamento da Montagem Final e Gestão de Tempos</p> <p><b>TEF2</b> - Planeamento Geral</p> <p><b>TEF7</b> - Processo e Tecnologia de Inspeção e Ensaio</p> <p><b>TEF8</b> - Manutenção da Produção</p> <p><b>TEF9</b> - Manutenção da Fábrica</p>

Área Comercial

ASA	CI/FSI1	CFA	LOG	HRL	PUR	PUE
<p>Serviço pós-venda e produção de aparelhos de substituição e reparações</p>	<p>Serviços Informáticos Locais</p> <p><b>CI/FSI11</b> - Redes e Sistemas Técnicos</p> <p><b>CI/FSI12</b> - Sistemas de Informação</p>	<p>Contabilidade Financeira</p> <p><b>CFA1</b> - Controlling e Gestão de Relatórios</p> <p><b>CFA2</b> - Contabilidade Financeira</p> <p><b>CFA3</b> - Coordenação WIPL, PP05, Benchmarking, Controlo Interno e Projectos Especiais</p> <p><b>ICO</b> - Coordenação da Informação (e Organização)</p>	<p>Logística</p> <p><b>LOG1</b> - Gestão de encomendas dos clientes e planeamento de produção</p> <p><b>LOG2</b> - Gestão do fluxo de material e logística interna</p> <p><b>LOG3</b> - Aprovisionamento</p> <p><b>LOG-TM</b> - Gestão de transporte</p> <p><b>LOG-P</b> - Gestão de projectos logísticos</p>	<p>Recursos Humanos</p> <p><b>HRL1</b> - Controlo de Presenças e Salários</p> <p><b>HRL2</b> - Recrutamento e Desenvolvimento Organizacional</p> <p><b>HRL3</b> - Formação</p>	<p>Compras</p>	<p>Compras Avançadas</p>

Figura 17 Departamentos e secções da Bosch Braga

3.2.3 Layout da empresa e fluxo de materiais



Figura 18- Layout da unidade produtiva de Braga

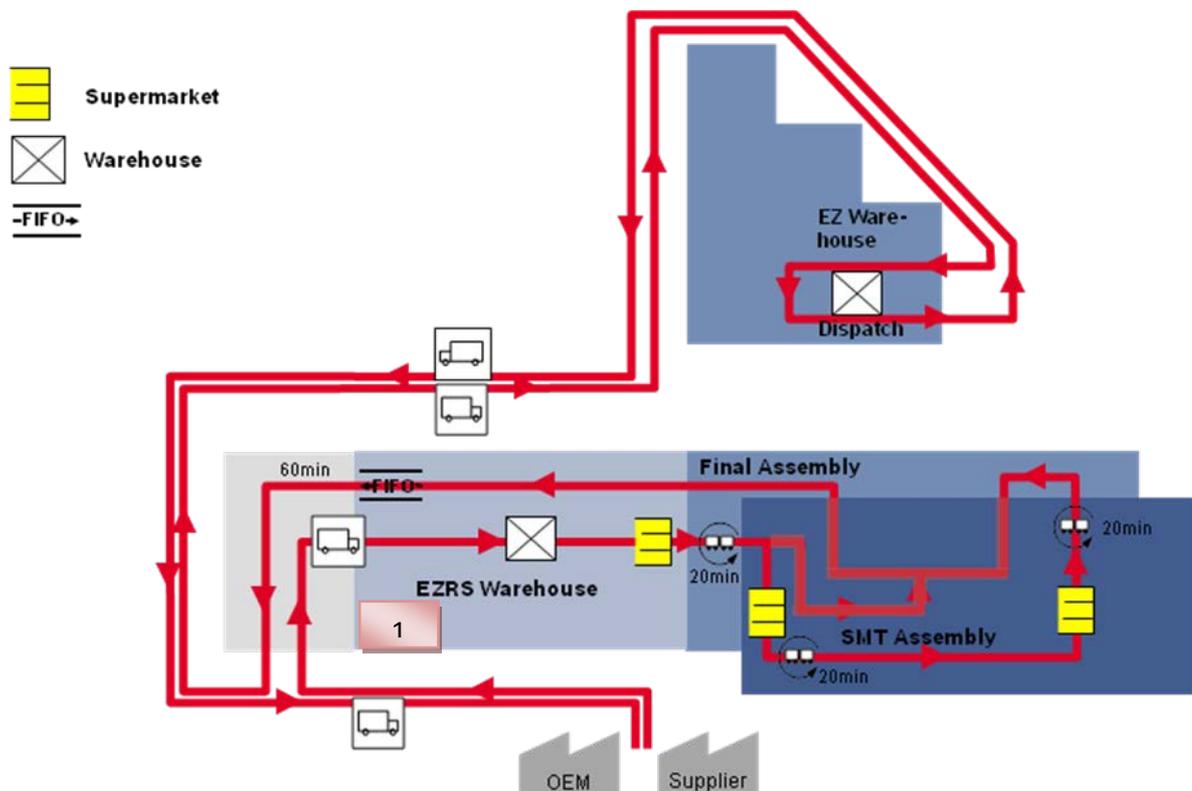


Figura 19-Fluxo de materiais da fábrica de Braga

Como se pode observar na Figura 19, o armazém de matérias-primas está em série com a área de produção de forma a tornar o fluxo de materiais o mais direto possível. O local assinalado como nº1 é o armazém de matérias-primas, onde são recebidos os materiais. Nesta fase os camiões descarregam as matérias, e de seguida existe um controlo de qualidade à entrada do armazém para a averiguar a qualidade do material recebido e a acuidade das quantidades entregues, é feito também o lançamento dos produtos no SAP e a consequente etiquetagem. Posteriormente estes são armazenados, ou enviados diretamente para a zona de reembalagem. A área de reembalagem surge da existência de fornecedores que enviam os seus produtos acondicionados em caixas de cartão e com plásticos de proteção. Todavia por questões de segurança e controlo da qualidade as matérias-primas só podem entrar nas áreas de produção em caixas próprias para o efeito. Nestes postos é realizada a transferência para os *containers* internos. Normalmente, estes *containers* circulam entre os fornecedores e a Bosch, mas por uma questão de custos, para os fornecedores que se encontrem a grandes distâncias, não é viável o envio destas caixas até aos fornecedores. O que significa que a empresa ainda recebe produtos embalados em caixas de cartão. Na área de reembalamento os

produtos são lidos, e de acordo com os *kanbans* serão reembalados e enviados para os *point of use provider* (POUP), ou supermercados. Os envios são feitos através de *milkruns* que executam um ciclo de distribuição a cada 20 minutos. Os POUP são postos de abastecimento, de dimensões inferiores aos supermercados, que têm a vantagem de estarem mais próximos das linhas que abastecem. Nesta etapa os materiais serão distribuídos pelos POUP da montagem final (MOE2) ou abastecerão o supermercado SMD, que por sua vez abastece MOE1 (área de inserção automática). Os componentes enviados para o MOE2 são maioritariamente componentes mecânicos, que serão montados manualmente por colaboradores nas diversas linhas. Os componentes enviados para o MOE1, são componentes eletrónicos que serão usados para produzir as placas de circuito impresso, designadas internamente por PCB'S (*printed circuit boards*).

O MOE2 é um cliente interno do MOE1, daí que as placas de circuito impresso após concluídas fiquem num supermercado de produto intermédio (WIP), sendo depois enviadas para o MOE 2, através de um *milkrun* com um ciclo de também 20 minutos. Note-se que este *milkrun* é processado através de um elevador, uma vez que o MOE2 está no piso 0 e o MOE1 no piso 1. Com a produção concluída o produto acabado volta novamente ao armazém de matéria-prima, onde fica em espera para ser enviado para o armazém de produto acabado. Este envio é feito segundo uma lógica FIFO, e acontece em intervalos de 60 minutos através de um *milkrun* externo.

#### 3.2.4 *Bosch Production System*

A Bosch tem o seu próprio sistema de produção que se apresenta como uma versão própria e adaptada do *Toyota Production System* (TPS), um dos sistemas de produção *lean* mais relevantes. Um sistema de produção próprio surge da necessidade de adaptar as metodologias *lean* ao modelo de negócios e à visão da empresa. Uma vez que a Bosch enfrenta uma forte competição a nível mundial é necessário que a empresa se diferencie com o objetivo de reagir mais rápido, e ao mesmo tempo ser eficiente e flexível. O resultado é uma resposta aos requisitos dos seus clientes superior à da concorrência.

O *Bosch Production System* (BPS) é baseado em oito princípios que orientam as funções do processo de satisfação das encomendas, e que tornam este processo sustentável e livre de desperdícios.

- **Princípio *Pull*:** os processos logísticos e produtivos só se iniciam se existir uma encomenda interna ou externa, a produção está sincronizada com o ritmo de encomenda (*takt*). O resultado é uma redução dos inventários e prazos de entrega.

- **Orientação por processos:** orientação por processos significa manter uma perspectiva e abordagem holística dos problemas. A preocupação recai na melhoria global dos processos e não de funções individuais. Os colaboradores estão treinados para pensar em termos da cadeia de valor.
- **Prevenção de defeitos:** os erros são evitados e quando acontecem são detetados nas fases iniciais dos processos. O objetivo desta metodologia é almejar os Zero Defeitos. Prevenir imperfeições é, partindo desta filosofia, melhor do que corrigi-las. Não é comum encontrar produtos a ser reprocessados na Bosch.
- **Flexibilidade:** capacidade de adaptação rápida à alteração dos requisitos impostos pelos clientes. Isto traduz-se em tempos de *set-up* reduzidos, e alterações no nivelamento da produção para a introdução de novos clientes.
- **Standardização:** estabelecimento de procedimentos *standard* que representam as melhores práticas até ao momento. Estes processos estão sujeitos a melhorias contínuas. A existência de métodos de trabalho padronizados aumenta a visibilidade dos desvios que possam ocorrer, e facilita a atuação para resolver ou melhorar estes processos e eliminar enviesamentos.
- **Transparência:** os procedimentos utilizados pela Bosch são auto-explanatórios e simples. Desta forma, qualquer desvio em relação à situação alvo fica imediatamente visível. A Transparência significa também que todos os colaboradores têm conhecimento das suas tarefas e objetivos, e que a informação necessária para a realização do seu trabalho está disponível de forma clara e simples.
- **Melhoria contínua:** a estagnação não é vista como uma opção, mas antes como um retrocesso na evolução da empresa. Os *standards* da empresa não são vistos como um objetivo final, mas sim tomados como a base para novos *standards* e melhorias.
- **Responsabilidade pessoal:** cada colaborador tem consciência das suas tarefas e da responsabilidade inerente às mesmas e deve desempenha-las de forma independente. Apesar de os colaboradores fazerem parte da rede global da Bosch todos eles têm a responsabilidade de dar um contributo competente e independente.

#### 4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DA SITUAÇÃO ATUAL

O trabalho de investigação realizado teve como principal objetivo a melhoria do processo de movimentação de resíduos de produção e de embalagem. Como já foi exposto anteriormente a Bosch possui fornecedores, que estão fisicamente espalhados pelo mundo. Devido às exigências do método produtivo dos produtos fabricados na fábrica de Braga, as matérias-primas têm de entrar nas áreas de produção acondicionadas em caixas anti-estáticas. Este cuidado garante que os produtos não sofram danos por via de descargas elétricas não planeadas. Estes *containers* são reutilizáveis, e para além de servirem o propósito de manter a qualidade dos produtos fabricados, são também uma das bandeiras da sustentabilidade dos métodos de transporte e acondicionamento utilizados pela Bosch. A sustentabilidade é levada muito a sério pela empresa e é fundamental para o *Bosch Production System*. As embalagens são, então, retornáveis, ou seja, depois de servirem o seu propósito dentro da fábrica serão novamente devolvidas aos fornecedores, que por sua vez irão realizar futuras entregas de matéria-prima nas mesmas. Esta metodologia permite que a quantidade de resíduos gerados na fábrica seja massivamente reduzida. Este vaivém de embalagens retornáveis é recorrente para fornecedores europeus. Todavia, para fornecedores cujas distâncias tornam economicamente inviável a circulação dos *containers* entre fornecedores e a fábrica, a única solução será o modo tradicional de envio das matérias-primas. Este método comporta a utilização de embalagens de cartão que isolam as matérias do meio ambiente. O Esferovite e o plástico são igualmente utilizados para dar estrutura e proteção aos produtos dentro das embalagens de cartão. Como as restrições de qualidade não podem ser revogadas, a empresa vê-se obrigada a fazer a transferência das matérias-primas das suas embalagens em cartão para os *containers* ESD. Chega-se então ao problema que se pretende resolver, melhorar o sistema de movimentação de resíduos.

##### 4.1 Localização dos pontos de criação de resíduos

Os resíduos são gerados em 4 áreas distintas, MOE2, Armazém SMD, Reembalamento e Receção.

MOE 2 é área de montagem final. Nesta área produtiva são montados essencialmente 2 produtos, sistemas multimédia e sensores de ângulo de volante. Esta é uma zona de inserção manual de componentes. Os resíduos, cartão e plástico provêm de atividades de embalagem e corte de placas.

O armazém SMD é o supermercado de matérias-primas que abastece o MOE 1, que é a zona de inserção automática. O MOE1 é constituído por um conjunto de máquinas cuja principal função é

soldar componentes elétricos em placas, produzindo aquilo que se designa de PCBs. Aqui, os resíduos provêm de um processo de desembalagem. Não existe a transferência das matérias-primas para a embalagem ESD. As bobines de componentes elétricos são retiradas das caixas de cartão e enviadas diretamente para estantes (Figura 20).



Figura 20-As bobines de componentes elétricos são armazenadas diretamente em estantes.

É na área de reembalamento onde a maior parte dos resíduos é gerada e onde um conjunto de postos de trabalho existe para lidar exclusivamente com o reembalamento das matérias-primas. Nestes postos de reembalamento é feita a transferência dos materiais para os *containers* ESD. A área de reembalamento abastece os POUP do MOE2, que, por sua vez, abastecem as linhas de produção. As matérias vão sendo reembaladas de acordo com os planos de produção.

Na área de recepção, os materiais são inspecionados e conferidos. A geração de resíduos, maioritariamente filme de plástico e cartão, ocorre devido a processos de re-paletização, e remoção de mecanismos de proteção, que apesar de serem necessários durante o processo de transporte, dentro

do

armazém

tornam-se

dispensáveis.

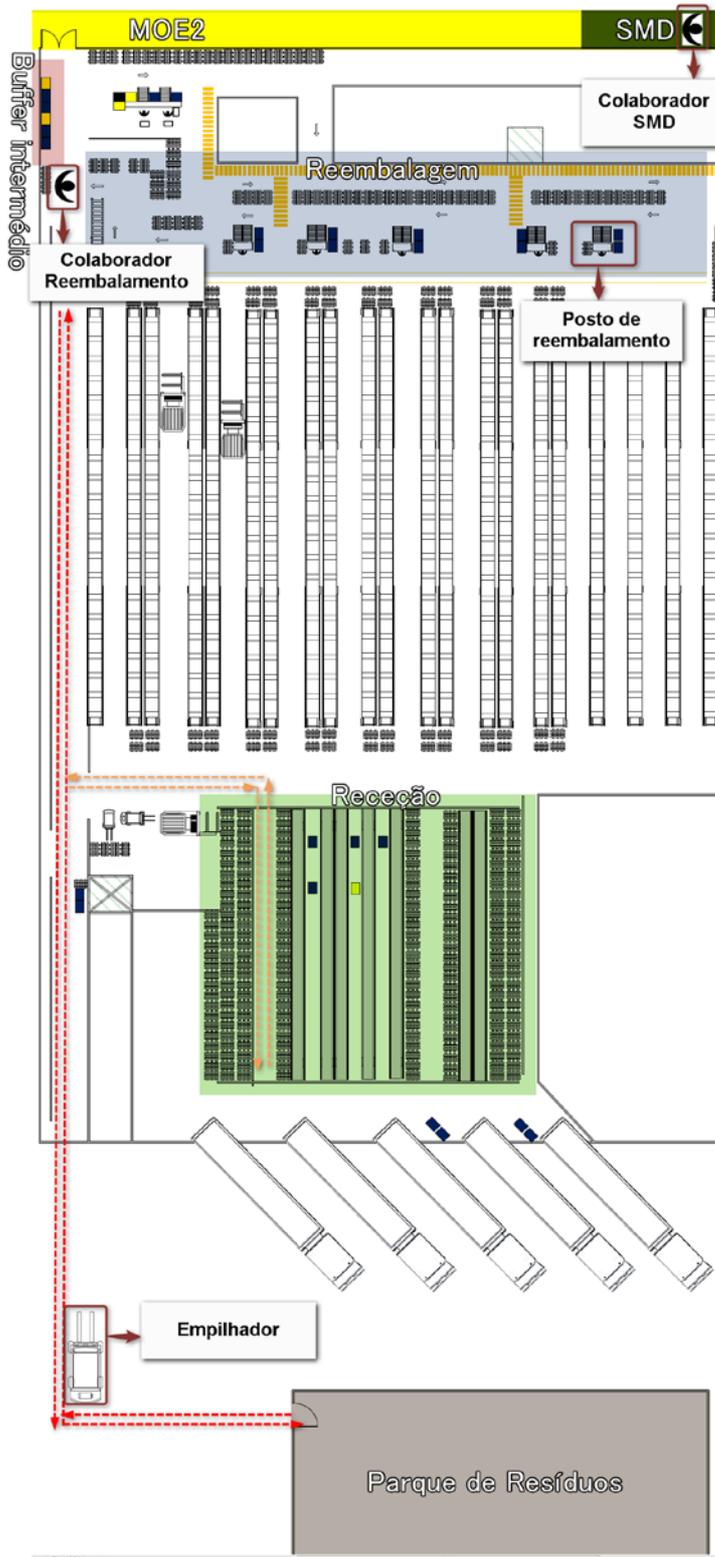


Figura 21-Eschema do Armazém 102, Recepção, MOE2 e Supermercado SMD

Na Figura 21 é possível observar as várias áreas de armazém, os vários colaboradores afetos ao processo e as rotas realizadas pelo empilhador, a vermelho e a laranja. Este layout não se encontra à escala, as áreas de MOE2 e SMD foram reduzidas para que o *layout* pudesse ser representado numa só página.

#### 4.2 O *Big-Bag*

A terminologia *big-bag* é atribuída pela empresa aos sacos onde os resíduos são recolhidos e transportados (Figura 22). Estes sacos estão sobre um suporte metálico com rodas, que lhes permitem uma fácil mobilidade com baixo esforço. A estrutura metálica tem uma área de base com cerca de 1 metro quadrado, e o saco tem um volume aproximado de 851dm<sup>3</sup>. Existem *big-bags* de várias cores, de acordo com os vários tipos de resíduos (Ver Anexo I – Desenho técnico e Dimensões do *Big-Bag em milímetros*)



Figura 22- Fotografia de vários *big-bags* à espera de serem enviados para os pontos de criação de resíduos.

#### 4.3 Distribuição das atividades de movimentação e acondicionamento de resíduos.

Atualmente existem no primeiro, segundo e terceiro turno, 3 colaboradores responsáveis pela movimentação dos resíduos com responsabilidades repartidas.

O primeiro colaborador, que será denominado de aqui em diante de Colaborador SMD, é responsável pela movimentação dos *big-bags* do armazém SMD, para o *Buffer* intermédio de *big-bags* (Figura 23).

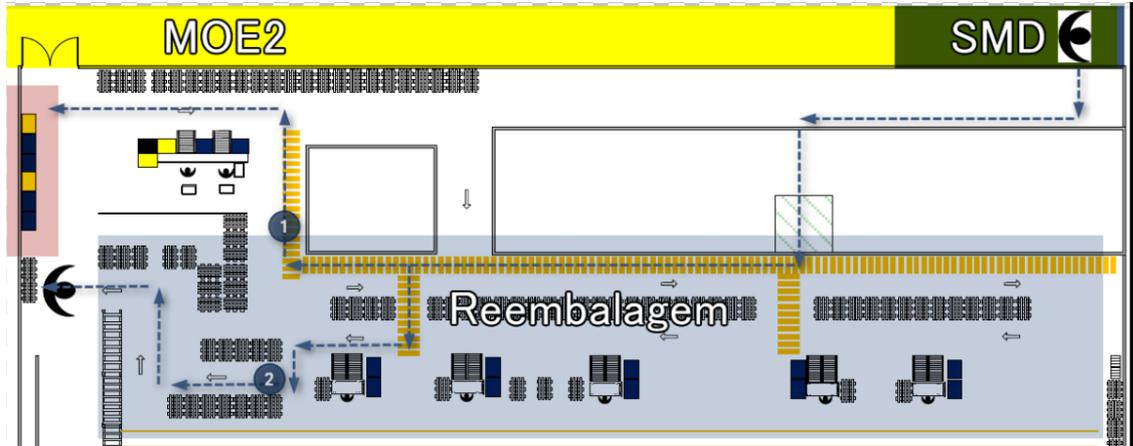


Figura 23-Esquema das movimentações do operador SMD

Note-se que uma parte do percurso é realizada de elevador e que existe flexibilidade no trajeto efetuado por este colaborador. Não existe uma rota *standard* definida. O caminho é escolhido pelo operador no momento da travessia. Este elege o trajeto que lhe parecer mais rápido. A rapidez vai depender da distância a percorrer e do congestionamento dos vários caminhos possíveis. Seguindo esta ordem de ideias, se todos os caminhos estiverem livres e descongestionados o percurso eleito será o mais curto (Tabela 2).

Tabela 2- Distância das várias alternativas de percurso para colaborador SMD

Distância das várias alternativas de percurso (metros)	
1	2
53.1	56.8

O segundo colaborador, o colaborador reembalamento, é responsável por recolher os *big-bags* da área de reembalagem e do MOE 2. Este trabalhador vai recolhendo os *big-bags* à medida que estes são enchidos. Nesta situação, como os *big-bags* estão espalhados pelo *shop-floor*, é impossível definir uma distância de deslocamento para efetuar a recolha, uma vez que tanto podem ser 10 metros como 50 metros, dependendo da localização do *big-bag*. Neste caso, a distância mínima até ao *big-bag* mais próximo é de 4 metros e a distância máxima até ao *big-bag* mais distante é de 91 metros. (Figura 24)

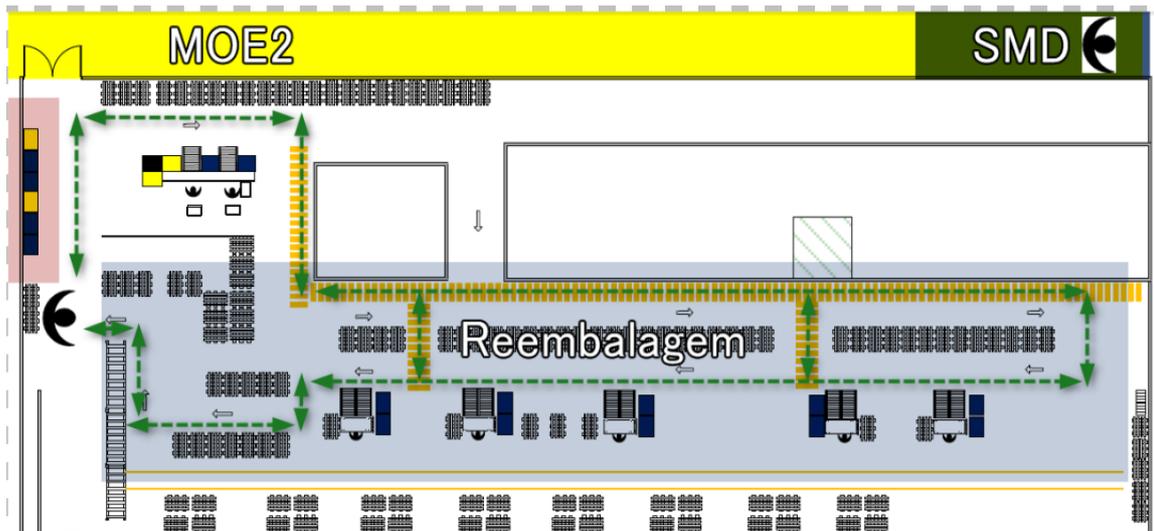


Figura 24- Esquema das movimentações do operador do reembalamento

Os *big-bags* recolhidos pelo colaborador reembalamento e SMD são armazenados num *buffer*, que tem uma capacidade máxima de seis *big-bags*. Este *buffer* tem a particularidade de armazenar tanto *big-bags* cheios como vazios, não havendo limite para a quantidade de um tipo de *big-bag* em detrimento do outro, ou seja, podemos ter situações limite onde estão seis *big-bag* cheios, ou seis *big-bags* vazios, ou uma situação intermédia. Como o *buffer* tem uma capacidade de armazenamento finita é necessário transferir os *big-bags* para um local onde possam ser esvaziados para que mais tarde voltem a ser utilizados.

A transferência dos *big-bags* do *buffer* para o parque de resíduos é realizada por um empilhador que atrela os *big-bags* em grupos de três e faz a movimentação. Este empilhador realiza dois circuitos distintos : o 1º a vermelho na Figura 21, onde se remove os *big-bags* do *buffer* intermédio e o segundo percurso é feito junto á área de receção, a laranja na Figura 21. Como se pode observar na Figura 21, na receção não existe *buffer*, nem nenhum colaborador responsável pela movimentação dos sacos até a um ponto de armazenamento intermédio. Por este motivo, o operador do empilhador é obrigado a descer do veículo, verificar quais os sacos que se encontram cheios, deslocar-se até estes e transportá-los até junto do empilhador. De seguida o funcionário atrela os carrinhos ao empilhador e prossegue até ao parque de resíduos. Estes percursos são mutuamente exclusivos, o empilhador não pode realizar os dois percursos num mesmo ciclo. A título de exemplo serão apresentados percursos permitidos e percursos proibidos.

**Percursos permitidos:**

- a) *Buffer* → Parque de Resíduos → *Buffer*

- b) Receção → Parque de Resíduos → Receção
- c) *Buffer* → Receção → Parque de Resíduos → Receção
- d) Receção → *Buffer* → Parque de Resíduos → *Buffer*

**Percursos proibidos:**

- a) *Buffer* → Receção → Parque de Resíduos → *Buffer* → Receção
- b) Receção → *Buffer* → Parque de Resíduos → Receção → *Buffer*

**Legenda:**

Percurso feito com *big-bags* cheios →

Percurso feito com *big-bags* vazios →

Percurso feito sem *big-bags* →

Com estes exemplos pretende-se demonstrar que cada ciclo tem início com a recolha de *big-bags*, seguindo-se com transporte destes até ao parque de resíduos, onde o operador os deixa e atrela *big-bags* vazios. O ciclo encerra-se com o retorno ao local inicial, onde o operador deixa uma quantidade de *big-bags* vazios igual àquela que foi retirada de início. Portanto, se o operador recolheu 3 *big-bags* cheios de uma localização, tem obrigatoriamente que entregar nessa localização a mesma quantidade de *big-bags* vazios, sendo assim o ciclo é terminado. Apesar dos circuitos serem mutuamente exclusivos, isso não significa que o empilhador não se possa deslocar do *buffer* para a área de receção. Isso pode ocorrer se o fizer sem *big-bags*, o que pode acontecer, por exemplo por não existirem *big-bags* para serem recolhidos do *buffer*. Pode parecer contraintuitivo que quando se pretende diminuir o número de viagens não se admita a passagem por vários pontos de recolha. Mas na receção não existem zonas em que o empilhador possa inverter o sentido de marcha com os *big-bags* atrelados. Desta forma, se este viesse carregado de *big-bags* do *buffer* intermédio ele teria dificuldades em realizar uma viragem em “U”, para se encaminhar para o parque de resíduos.

Neste processo existem ainda mais dois colaboradores que se encontram no parque de resíduos, os quais, daqui em diante, serão referidos como colaboradores Semural, uma vez que Semural é a empresa a que pertencem. Estes estão encarregados de separar os resíduos dos *big-bags* de acordo com o seu tipo e operar as máquinas compactadoras de resíduos.

#### 4.4 Quantidade de resíduos gerada

Uma componente essencial para a avaliação da viabilidade de um sistema de AGV é perceber a ordem de grandeza das quantidades a serem movimentadas diariamente e perceber as variáveis que afetam o *output* de resíduos.

O intuito do seguinte estudo é quantificar o número resíduos gerados em cada área em análise (MOE2, Reembalagem, Armazém SMD e Receção), incluindo máximos e mínimos horários de criação de resíduos. Resumindo, para além de se procurar valores médios interessa perceber quais as horas de produção de resíduos mais intensas por forma a dimensionar um sistema capaz de satisfazer essas horas e comportar folgas para futuras expansões.

A quantidade de viagens atualmente necessária para movimentar as quantidades de resíduos foi também registada.

A contagem das quantidades de resíduos foi realizada pelos colaboradores que movimentam os *big-bags* até ao *buffer* intermédio, caso se tratasse de um *big-bag* proveniente de SMD, MOE2 ou reembalagem. A contagem foi realizada pelo operador do empilhador se fosse um *big-bag* vindo da área de receção.

Junto ao *buffer* e à receção foram colocadas 8 e 6 caixas, respetivamente, como se pode ver na Figura 25.

Sempre que um colaborador recolhia um *big-bag* de uma das áreas, o que lhe era pedido é que levantasse um cartão de um dos recipientes, cartão, esferovite e plástico, conforme o tipo de resíduos presente no *big-bag*, e o colocasse no recipiente correspondente ao local de origem do *big-bag*. Cada cartão representa um *big-bag*, logo o número de cartões presente em cada um dos recipientes (SMD, Repacking, MOE2), será igual ao número de *big-bags* levantados daquela área durante o período em análise.



Figura 25-Recipientes utilizados para a contagem da quantidade de resíduos gerada diariamente nas áreas de Reembalamento, MOE2 e SMD. (Os recipientes na figura encontravam-se junto ao *buffer* intermédio)

Junto a estes recipientes foram também colocados mais dois para a contagem do número de ciclos (viagens do empilhador) efetuados para a zona do *buffer* e receção. Esta tarefa foi realizada pelo operador do empilhador, que sempre que fazia uma viagem retirava um formulário do recipiente, “recolhas-formulários” e colocava-o no recipiente de “recolhas”(Figura 26). O operador tinha ainda de preencher o formulário com o número de *big-bags* recolhido em cada viagem. Esta informação permitiu calcular a eficiência de cada deslocação. As figuras aqui apresentadas correspondem apenas à zona do *buffer* intermédio, mas o procedimento foi exatamente o mesmo para a receção, com a diferença que na receção só foram necessários 6 recipientes ao invés de 8. Isto porque só existe uma área de proveniência, a receção e, portanto, apenas um recipiente para esse efeito.

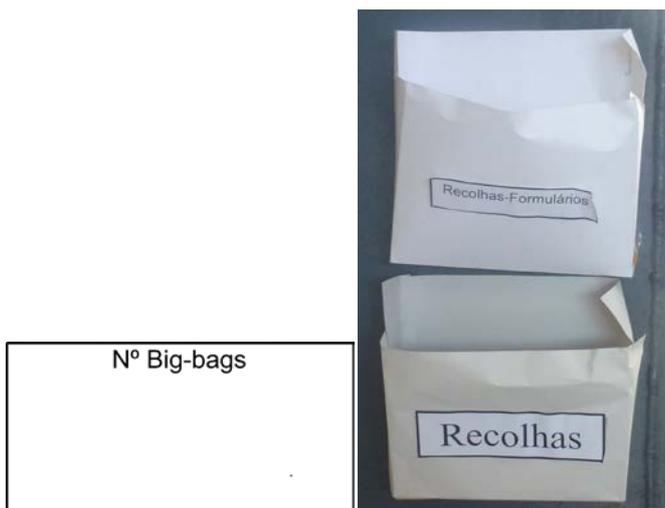


Figura 26-À direita um formulário, à esquerda os recipientes de onde eram levantados os formulários e colocados aquando da realização de uma viagem

A duração da recolha de dados encontra-se indicada na Tabela 3:

Tabela 3- Datas de início e de fim da recolha de dados

Tipo de estudo		Data início	Data fim
Quantidade de Resíduos	Número de Viagens		
SMD, Reembalamento, MOE 2		7-01-2015	30-01-2015
	SMD, Reembalamento, MOE 2, Receção	19-01-2015	30-01-2015
Receção	Receção	19-01-2015	30-01-2015

A recolha de dados tinha sido planeada para ser realizada em simultâneo, mas devido à divisão de responsabilidade entre departamentos, isto não se verificou. Daí que a contagem da quantidade de resíduos de SMD, *Repacking* e MOE2, tenha sido iniciada primeiro. Só depois foi dada a autorização para iniciar as contagens das viagens e dos resíduos criados na receção.

Os dados foram recolhidos de hora-a-hora. Iniciando-se às 9:00 e terminando às 17:00. Em todas as horas as quantidades de *big-bags* eram registadas. Com estes dados foi possível mapear o processo de criação de resíduos.

#### 4.4.1 Demonstração e análise de resultados

Para se ter uma perspetiva global de qual é a importância de cada área para a criação de resíduos, apresentaram-se os dados num gráfico circular (Figura 27).

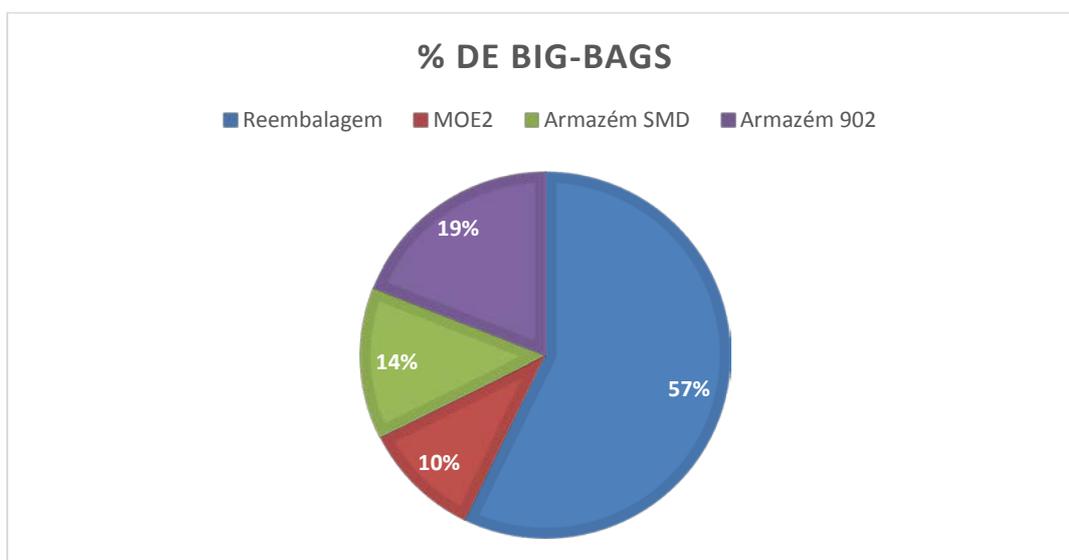


Figura 27- Percentagem de resíduos recolhidos em cada área

Como já era expectável a quantidade de resíduos produzida na área de reembalagem representa mais de metade da quantidade total. O MOE2 é uma parcela minoritária representando cerca de 10%, algo compreensível, uma vez que se trata de uma área de produção, e, como já foi referido anteriormente, o uso de embalagem não ESD é extremamente restrito nas áreas de produção.

Após o tratamento da informação, nomeadamente a remoção de outliers e deteção de erros de leitura, foi possível elaborar tabelas para cada uma das áreas de geração de resíduos (Anexo II – Quantidade média de resíduos gerada por área por hora)

Tabela 4- Nº *Big-bags* enchidos por hora na área de reembalamento

Horas	Média Horária (Nº <i>Big-Bag</i> )	Porcentagem	Intervalo entre cada <i>Big-Bag</i> (mins)
<b>09:00</b>			
<b>10:00</b>	13	16%	4,6
<b>11:00</b>	12	15%	5,0
<b>12:00</b>	6	8%	10,0
<b>13:00</b>	11	14%	5,5
<b>14:00</b>	14	18%	4,3
<b>15:00</b>	9	11%	6,7
<b>16:00</b>	9	11%	6,7
<b>17:00</b>	6	8%	10,0
<b>Total</b>	80	100%	

A análise da Tabela 4 permite identificar dois períodos onde se verificam picos de geração de resíduos. Estes períodos são das 9:00 às 10:00 e das 13:00 às 14:00. Existe também um período em que a quantidade de resíduos é reduzida, nomeadamente das 11:00 às 12:00. Este valor tem uma razão lógica, uma vez que, os colaboradores fazem a pausa para almoço das 11:00 até às 11:30. Durante esse período a área de reembalamento pára, daí que a quantidade de *big-bags* ao meio-dia seja baixa. Na realidade, a medição feita às 12:00, representa apenas meia hora de trabalho, das 11:30 às 12:00. Depois, por razões óbvias, no período que se segue do meio-dia às 13:00 e das 13:00 às 14:00 a quantidade de resíduos gerada volta a aumentar, resultado da maior atividade nesta área após o tempo de paragem.

Na Figura 28 apresenta-se a evolução das quantidades de *big-bags* enchidos ao longo do dia nas diferentes áreas. O reembalamento é a única zona em que existe variabilidade significativa, as restantes áreas possuem um comportamento praticamente constante.

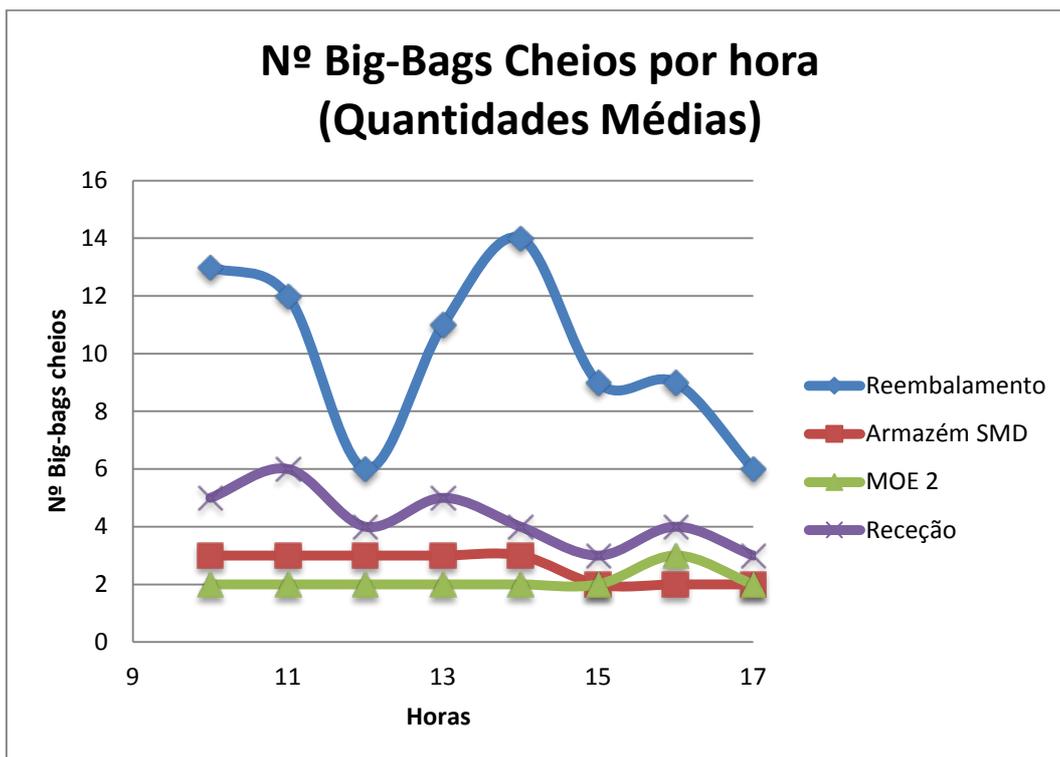


Figura 28- Quantidade média de *Big-Bags* enchidos por hora nas várias áreas de geração de resíduos.

A análise realizada até ao momento teve como objetivo identificar se existiam picos de criação de resíduos, algo conferido pelos resultados da observação. A área de reembalamento é de facto afetada por flutuações ao longo do dia.

Além da variabilidade durante de cada dia, também se estudou a variabilidade de dia-para-dia. Assim, foram analisadas razões que previssem e explicassem tal comportamento. A primeira possibilidade testada foi que a quantidade de resíduos gerada diariamente é influenciada pelas unidades de produto produzidas.

Do modo a averiguar esta possibilidade, cruzaram-se os dados da produção com os dados dos resíduos gerados. Uma vez que, a recolha de dados das quantidades de resíduos não se iniciou ao mesmo tempo em todas as áreas, e como para fazer uma análise deste género é necessário o somatório das quantidades de resíduos provenientes de todas as zonas utilizaram-se apenas os 7 dias de informação em que o estudo esteve a decorrer em todas as áreas em simultâneo. Que, como se pode observar na Tabela 3 (pág. 46), esse período decorreu do dia 19-01-2015 a 30-01-2015.

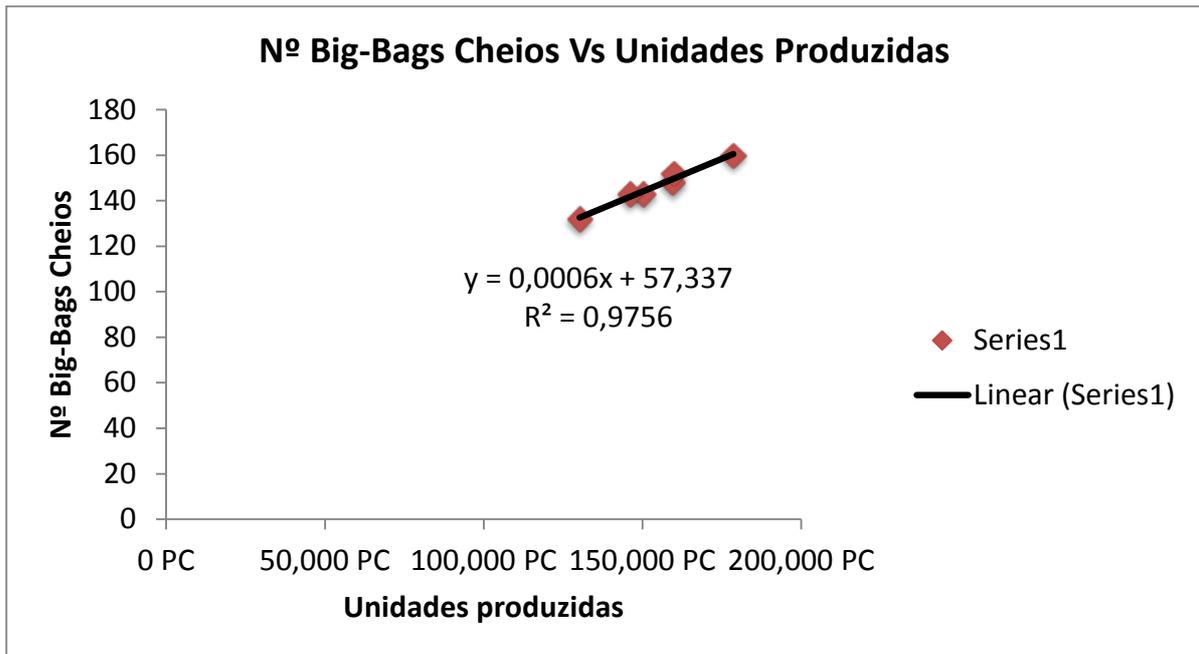


Figura 29- Gráfico relação nº big-bags vs unidades produzidas

O resultado do cruzamento dos dados é apresentado no gráfico da Figura 29. Aparentemente existe uma relação linear entre o número de *big-bags* enchidos e as unidades produzidas diariamente. Através de uma regressão linear obteve-se a reta que minimiza o quadrado dos desvios entre os pontos observados na recolha de informação e a reta originada.

A reta obtida é:

$$y = 0.0006x + 57.337 \quad \text{Equação 3}$$

É necessário averiguar se esta reta é uma boa aproximação e é representativa da relação entre estas duas variáveis, sendo para isso será utilizado o indicador  $R^2$ , este indicador mede qual é a percentagem da variação da variável resposta que é explicada pelo modelo linear encontrado (Equação 4)

$$R^2 = \frac{\text{Variação explicada pelo modelo linear}}{\text{Variação Total}} \quad \text{Equação 4}$$

As seguintes equações, assim como a Figura 30, são aqui apresentadas para explicar como se efetua o processo o cálculo do indicador  $R^2$ .

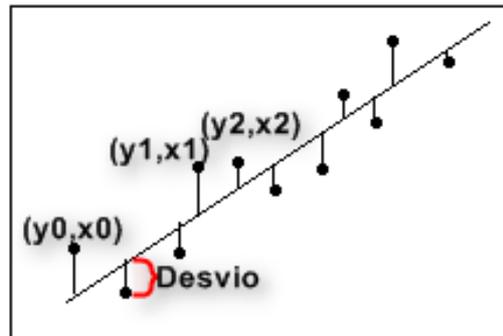


Figura 30- Ilustração do desvio da reta do modelo linear e os pontos observados.

$$\text{Variação explicada pelo modelo linear} = \sum \text{Desvio}^2 \quad \text{Equação 6}$$

$$\bar{y} = \frac{y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad \text{Equação 5}$$

$$\text{Variação Total} = \sum (y_0 - \bar{y})^2 + (y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2 \quad \text{Equação 7}$$

Posto isto, obtém-se um valor para  $R^2$  de 0,9756. Isto é, aproximadamente 97 % da variação da variável resposta é explicada pela reta. Aparentemente a reta é um bom estimador da relação entre o nº de resíduos criados e a produção.

No entanto, será importante observar o gráfico dos valores residuais (Figura 31). Os valores residuais representam o desvio entre os pontos da reta e os pontos observados, isto é, compara-se os valores observados do número de *big-bags* para as respetivas unidades produzidas, com os valores calculados através da reta para as mesmas unidades produzidas. Neste gráfico pretende-se que não haja tendências. A observação de padrões pode significar que a reta preveja sistematicamente abaixo ou acima dos valores observados na realidade. A título de exemplo, se todos os pontos na Figura 31 estivessem acima de  $Y=0$ , isto significaria que a reta prevê valores sempre acima dos observados, havendo um enviesamento dos resultados calculados. Se isto se sucedesse, e quiséssemos utilizar a reta como um estimador, seria necessário aplicar uma correção para mitigar o enviesamento. Porém,

isto não ocorre e têm-se valores residuais aleatoriamente dispersos acima e abaixo do zero do eixo das ordenadas.

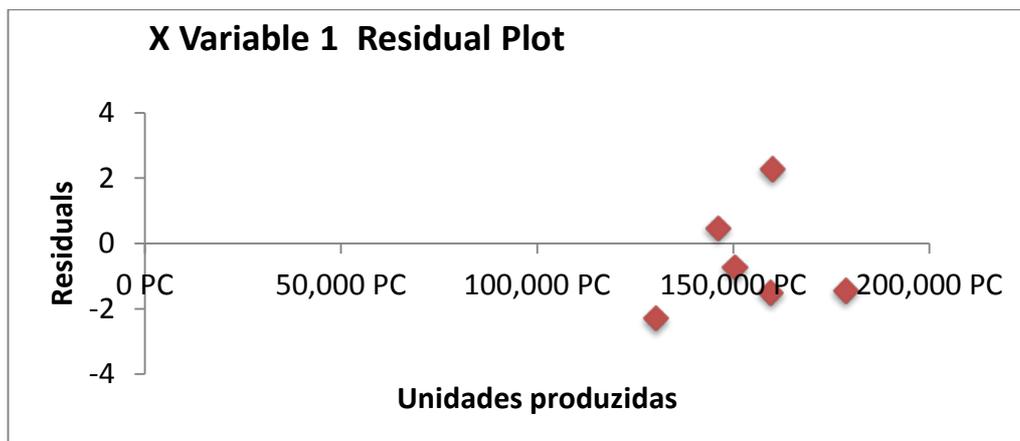


Figura 31- Gráfico dos valores residuais

Analisando cuidadosamente o gráfico da Figura 29 (pág. 50) existe pelo menos um comportamento que ressalta e que merece alguma análise. O gráfico interceta o eixo das ordenadas no ponto  $y=57$ . Por outras palavras, mesmo quando não existem unidades produzidas num determinado dia existem resíduos a serem processados. Este fenómeno é explicado pelo facto de existirem materiais que são reembalados ou retirados das suas caixas de cartão e colocados em supermercados, dias antes da sua utilização pela produção. Isto é, nem todos os materiais são reembalados ou desembalados no mesmo dia em que serão utilizados na produção.

A compreensão da relação unidades produzidas versus nº *big-bags* cheios servirá como ferramenta de previsão que ajudará no cálculo da capacidade necessária e servirá para antecipar futuras alterações ao processo que possam ser necessárias, caso haja um aumento das quantidades produzidas. Esta relação será também utilizada nas simulações que serão apresentadas nos capítulos que se seguem. Até ao momento foram apresentadas as quantidades de resíduos geradas, mas durante o estudo também se registou a quantidade de viagens realizadas até ao *buffer* intermédio e receção para transportar estes resíduos (Tabela 5 e Tabela 6).

Tabela 5- Número de viagens feitas para o *buffer* intermédio

Número de Viagens para o <i>buffer</i> intermédio			
Horas	Média Horária	Percentagem	Eficiência Viagem
<b>09:00</b>			
<b>10:00</b>	6,9	18%	103%
<b>11:00</b>	6,4	16%	95%
<b>12:00</b>	3,7	10%	90%
<b>13:00</b>	5,7	15%	93%
<b>14:00</b>	5,9	15%	95%
<b>15:00</b>	3,4	9%	93%
<b>16:00</b>	4,4	11%	87%
<b>17:00</b>	2,6	7%	96%
<b>Total</b>	39,0	100%	94%

Tabela 6-Número de viagens para a receção

Número de Viagens para a receção			
Horas	Média Horária	Percentagem	Eficiência Viagem
<b>09:00</b>			
<b>10:00</b>	1,5	15%	89%
<b>11:00</b>	1,9	19%	98%
<b>12:00</b>	1,0	10%	79%
<b>13:00</b>	1,4	14%	85%
<b>14:00</b>	1,0	10%	96%
<b>15:00</b>	0,5	5%	92%
<b>16:00</b>	1,1	11%	70%
<b>17:00</b>	1,5	15%	64%
<b>Total</b>	9,9	100%	84%

O número de viagens pode parecer reduzido, mas esses valores são enganadores. Primeiro, porque como já foi explicado na secção 4.3 cada viagem do empilhador exige duas movimentações, uma com *big-bags* cheios até ao parque de resíduos e outra com *big-bags* vazios até ao local inicial de geração dos mesmos. A segunda razão tem a ver com as tarefas externas ao processo de movimentação de resíduos que o empilhador poderá ocasionalmente realizar.

Incluiu-se neste estudo uma medida de eficiência que avalia o aproveitamento da capacidade de transporte do empilhador em cada viagem. Isto é, o empilhador pode transportar 3 *big-bags* em cada movimentação, podem ocorrer situações excecionais em que este transporte menos, ou mais. Quando o empilhador transporta mais do que 3 *big-bags* está a desrespeitar as suas instruções de trabalho, uma vez que o número máximo de transporte foi estabelecido para 3, por razões de segurança, relacionadas com a estabilidade dos atrelados e a restrição de espaço. Esta situação, apesar de não ocorrer de acordo com as boas práticas estabelecidas pode ocorrer pontualmente, daí que as viagens

realizadas para o *buffer* intermédio entre as 9:00 e as 10:00 horas tenham uma eficiência média de 103% (Tabela 5).

Verifica-se também que os valores da eficiência estão sempre muito próximos de 100%, praticamente todas as viagens são feitas com a carga máxima, indicando que na situação da produção aumentar possa existir um problema, que poderá ser resolvido de duas formas: ou se fazem mais viagens, ou então será necessário aumentar a quantidade de *big-bags* transportada em cada movimentação.

#### 4.5 Problemas e ineficiências encontradas no sistema atual

O principal problema encontrado neste processo é o aproveitamento do volume dos *big-bags*. Nos pontos de reembalamento os operadores encarregados de transferir as matérias-primas das caixas de cartão para as caixas ESD, não desmontam as caixas. Este facto faz com que os *big-bags* transportem um volume maior de ar do que resíduos, como se pode observar na Figura 33. Este problema tem repercussão no número de viagens que o empilhador efetua, e no tamanho do *buffer* intermédio. Muitas vezes, como já não existe espaço no *buffer* intermédio os *big-bags* são levados para o corredor e esperam pelo empilhador junto às estantes (Figura 32).

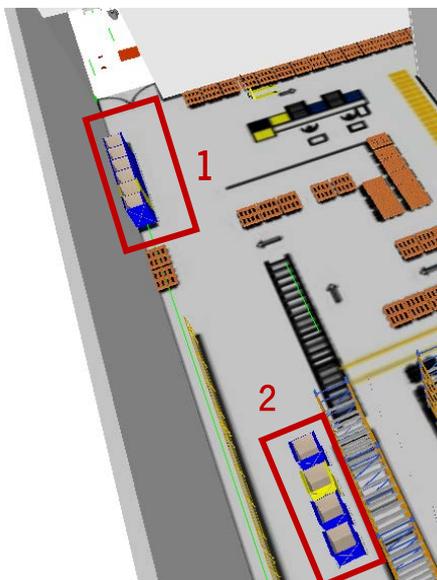


Figura 32- Representação do *Buffer* intermédio cheio (1) e do armazenamento no corredor (2)



Figura 33- Imagem de um *Big-Bag* cheio

No sentido de compreender melhor a dimensão do problema mediu-se o peso dos *big-bags* cheios que chegaram ao parque de resíduos. O valor médio encontrado foi de cerca de 10 kg.

Segundo Robertson e Gordon (2012), o cartão tem uma gramagem de cerca de 224 g/m<sup>2</sup>, uma vez que, um *big-bag* tem cerca 0.7744 m<sup>2</sup> de área, um pedaço de cartão que cobrisse a área da base do *big-bag* pesaria cerca 173.5 gramas. A altura de um saco *big-bag* é de 1.1m. Se cada pedaço de cartão medir 3mm de espessura, isto significa que em 1.1m poderíamos colocar 367 folhas de cartão com 3mm de espessura empilhadas umas em cima das outras. Assim, podemos calcular o peso teórico de um *big-bag* completamente cheio (Equação 8).

$$\text{Peso em kg} = \frac{173.5 * 367}{1000} = 63.61 \text{ kg} \quad \text{Equação 8}$$

Para testar este valor experimentou-se encher um *big-bag* com as caixas devidamente desmontadas e acondicionadas. O resultado experimental foi de 53,354 kg, uma diferença percentual de 17 % em relação ao valor teórico. Algo expectável porque é impossível acondicionar as caixas perfeitamente alinhadas, e existirão sempre espaços vazios dentro do *big-bag*. Para além disso, no cálculo teórico considerou-se a espessura média de uma folha de cartão como 3mm, este valor pode não corresponder exatamente à realidade. No entanto, é perceptível o elevado desaproveitamento da capacidade do *big-bag*. Um *big-bag* pode transportar cerca 5 vezes mais do que atualmente transporta. Na Figura 34 pode-se observar as fases de desmontagem das caixas. Os operadores que trabalham nos postos de reembalamento realizam apenas 1<sup>a</sup> e a 2<sup>a</sup> fase. O somatório das fases 3,4 e 5 têm uma duração estimada de menos de 20 s. Sendo que uma caixa desmontada ocupa 1% do volume de um *big-bag* contra os 5% ocupados por uma caixa não desmontada. A atividade de desmontagem não é incluída nos *standards* de trabalho dos postos de reembalamento porque atualmente não existem folgas para que a desmontagem das caixas seja possível com a capacidade instalada. Ao fazerem a desmontagem das caixas cada operação de reembalamento demoraria mais 20 segundos, e, portanto o número de caixas reembaladas por unidade tempo diminuiria, atrasando a produção. Uma forma de tornar esta melhoria possível seria aumentar a capacidade na área de reembalamento e diminuir a capacidade do sistema de movimentação de resíduos. O ideal seria mesmo transitar a capacidade poupada com o aumento da utilização do *big-bag* no sistema de movimentação de resíduos para o processo de reembalagem.

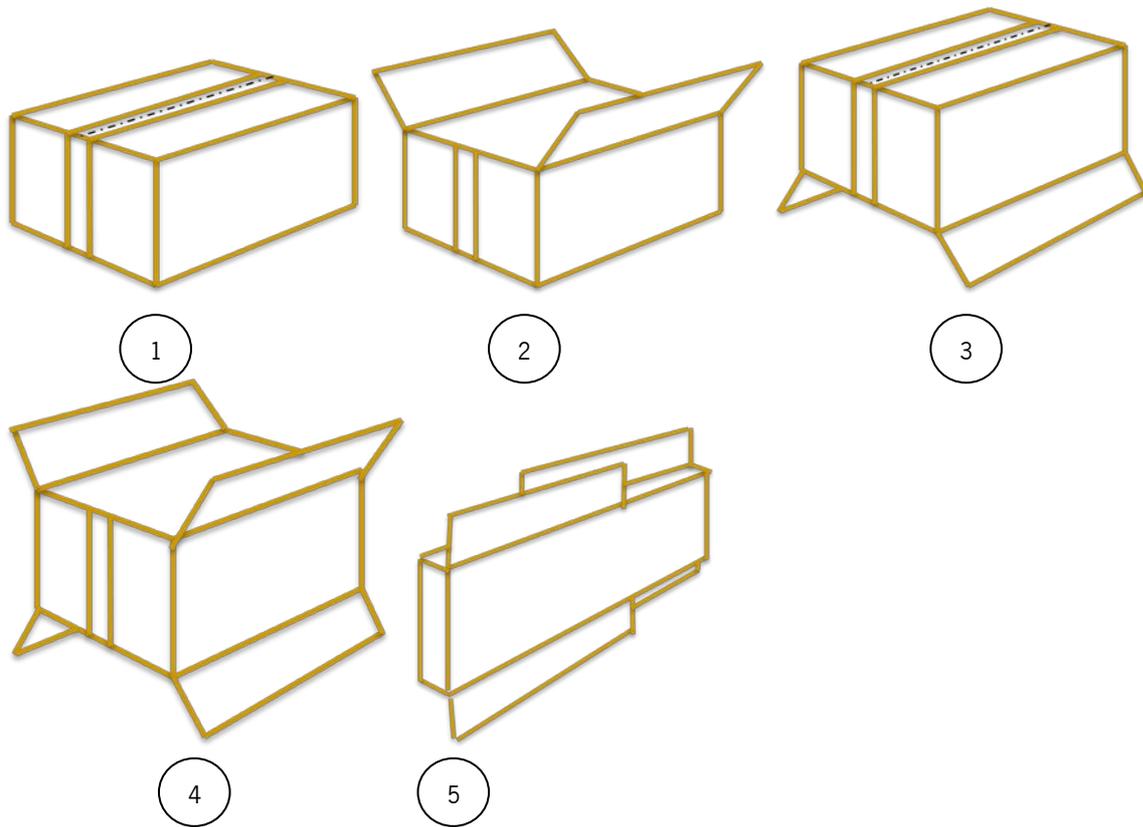


Figura 34-Fases de desmontagem de caixas de cartão

## 5. MODELAÇÃO DO SISTEMA ATUAL

Apesar do objetivo deste trabalho ser a utilização da simulação como ferramenta de estudo da viabilidade funcional da utilização de AGVs, decidiu-se simular inicialmente o estado atual ao invés de partir imediatamente para a simulação com AGVs. Esta abordagem parte do princípio que os modelos com AGVs possam ser criados através da adaptação do modelo do sistema atual. Para além disso, simular o estado atual permite a validação do modelo comparando-o com os dados de observações diretas do processo. Tendo o modelo do sistema atual validado, em teoria, significará que os modelos resultantes da sua adaptação, pelo menos nas partes que permanecerem inalteradas estarão também validados.

No sentido de se ter um modelo fiável é preciso registar e observar todas as informações do processo que possam influenciar o seu funcionamento. No caso do processo de movimentação de resíduos as variáveis a serem observadas foram:

1. Quantidade de *big-bags* enchidos por tipo (cartão, plástico e esferovite), e por área de origem (MOE2,SMD,Reembalamento, Receção) (Capítulo 4.4);
2. Número de viagens efetuadas pelo empilhador e número de *big-bags* transportados em cada viagem (Capítulo 4.4);
3. Dimensões do armazém;
4. N° de pontos de criação de resíduos;
5. Velocidade média do Empilhador;
6. N° *big-bags* no sistema;
7. Duração das tarefas de esvaziamento dos *big-bags*.

### 5.1 Recolha de informação

Como se pode constatar os resultados da recolha de informação relativos ao ponto 1 e 2 já foram apresentados no capítulo 4.4.

O passo seguinte foi identificar as dimensões do armazém. Este processo passou por atualizar as plantas dos armazéns existentes e construir um *layout* à escala que servisse de base para o cálculo das distâncias percorridas pelo empilhador e pelo colaborador do Reembalamento e do SMD. Foram incluídas no *layout* as posições de todos os pontos de criação de resíduos. Estas posições são

representadas por quadrículas de cor azul, amarela e preta, de acordo com os tipos de resíduos, cartão, plástico e esferovite, respetivamente.

Para medir a velocidade média do empilhador cronometrou-se o tempo que o operador demorava a realizar os ciclos. Foram realizadas 40 observações, o suficiente para se obter um nível de confiança de 95%, sabendo a distância média de cada ciclo e o tempo médio para a realização desse percurso, obteve-se uma velocidade média de 2 m/s, cerca de 7.2 km/hora.

Existem aproximadamente 63 *big-bags*, 33 dos quais junto às zonas de criação de resíduos e os restantes no parque de detritos. Existe uma quantidade considerável de *big-bags* vazios no parque de resíduos, para que quando o empilhador chegue ao parque com *big-bags* cheios possa imediatamente atrelar *big-bags* vazios e seguir viagem. Caso contrário o empilhador teria de esperar que os colaboradores da Semural realizassem o esvaziamento, constringendo a atividade dos postos de reembalamento e dos postos de conferência.

Por último, foram cronometradas as atividades de esvaziamento dos *big-bags*. Existem 2 postos de trabalho no parque de resíduos: o de esvaziamento dos *big-bags* de cartão, e o de esvaziamento dos de plástico e esferovite. Existe ainda uma atividade de *set-up* que consiste na movimentação dos *big-bags* do local onde esses são deixados pelo empilhador até aos postos de esvaziamento. Este trabalho é realizado pelo colaborador responsável pelo esvaziamento dos *big-bags* de cartão. A duração da atividade de *set-up* dependerá da existência, ou não, de um ou mais *big-bags* de plástico, isto porque se houver um *big-bag* de plástico tem de haver um maior deslocamento, uma vez que o local de esvaziamento dos *big-bags* de plástico se encontra mais distante do local de descarga dos *big-bags*. Na Figura 35 podemos ver esquema das atividades realizadas no parque de resíduos. Se apenas se encontrar um colaborador no parque de resíduos este dará prioridade aos *big-bags* de cartão, por serem mais rápidos de esvaziar e para que hajam sempre *big-bags* vazios quando o empilhador chegar.

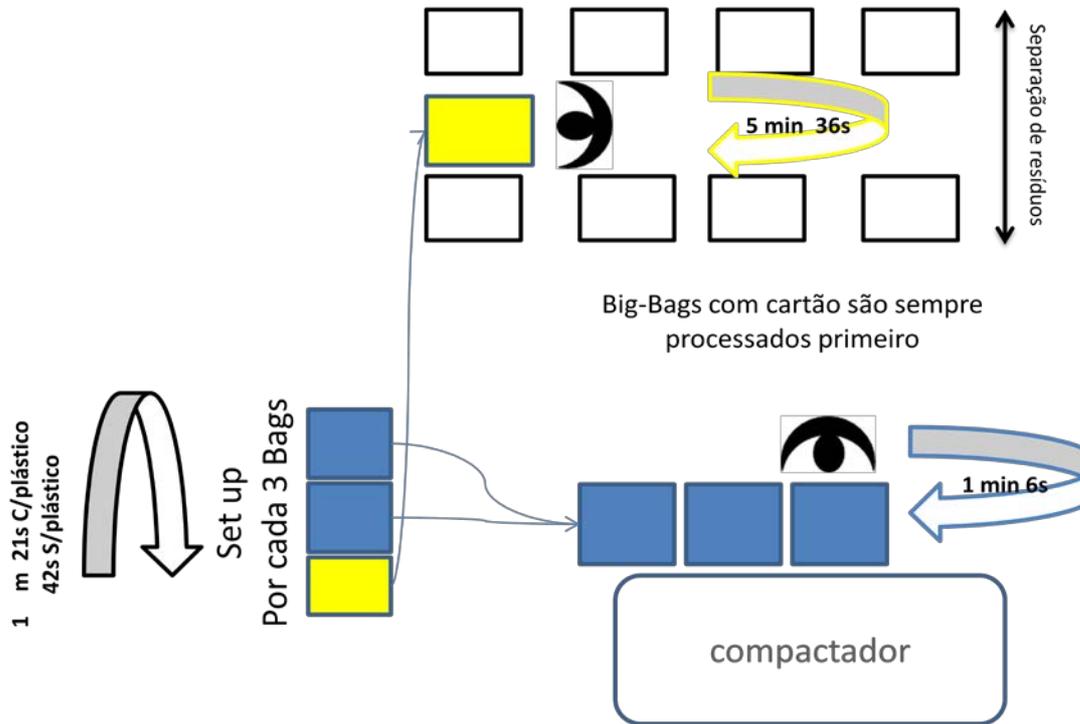


Figura 35-Esquema das operações realizadas no parque de resíduos

Para se obterem dados com 95% de nível de confiança foi necessário fazer 24 observações para a atividade de *set-up*, 10 para o esvaziamento dos *big-bags* de plástico e 79 para o esvaziamento dos *big-bags* de cartão.

O cálculo do número de observações foi realizado recorrendo à Equação 9.

$$N' = \left( \frac{Z \cdot s}{\epsilon \cdot m} \right)^2 \quad \text{Equação 9}$$

**Legenda:**

- N'- Número de observações necessárias
- Z- Valor de Z para o nível de confiança de 95%, que é de 1.96
- ε- Nível de significância (5%);
- m- Média da amostra
- S- Desvio padrão da amostra

Este método pressupõe que a variação na duração destas atividades segue uma distribuição normal  $N(\mu, \sigma)$ , onde a maior parte dos valores lidos estarão próximos da média, ou seja, entre  $\mu - \sigma$  até  $\mu + \sigma$ , e uma percentagem inferior abaixo e acima deste intervalo.

## 5.2 O *software* de simulação

A ferramenta de simulação utilizada neste trabalho é denominada de SIMIO. Trata-se de um *software* de simulação, orientado a objetos e com capacidades 3D. Este *software* permite uma rápida criação de modelos através da utilização de uma livraria *standard* que contém vários objetos. Estes objetos têm um conjunto de comportamentos que noutros *softwares* de simulação teriam de ser criados e modelados pelo utilizador. (Figura 36)

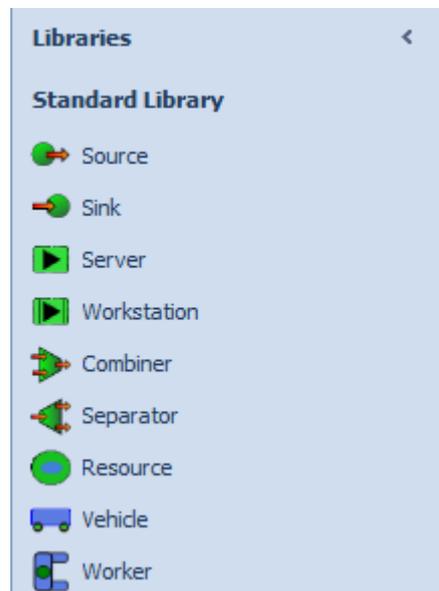


Figura 36-Alguns objetos presentes na livraria *standard*

A título de exemplo, o objeto “*serve*”, representa um posto de trabalho comum em que temos a entrada de entidades, a ocupação de recursos e o processamento dessas entidades. O utilizador tem a capacidade de definir o tipo de posto de trabalho que pretende, alterando as propriedades deste objeto. Na Figura 37 podem observar-se um conjunto de propriedades que estão dispostas por grupos, *process logic*, *buffer capacities*, *state assignments*, entre outros. Estas propriedades estão ao dispor do utilizador e definirão o comportamento do objeto. É ainda possível acrescentar processos que se pretendam que sejam executados quando entidades entrem neste objeto. Estes processos são criados numa forma muito semelhante àquela em que os processos em ARENA são construídos.

<b>Process Logic</b>	
Capacity Type	Fixed
Initial Capacity	1
Ranking Rule	First In First Out
Dynamic Selection Rule	None
Transfer-In Time	0.0
Processing Time	Random.Triangular(.1,.2,.3)
<b>Buffer Capacities</b>	
Input Buffer	Infinity
Output Buffer	Infinity
<b>Reliability Logic</b>	
Failure Type	No Failures
<b>State Assignments</b>	
On Entering	0 Rows
Before Exiting	0 Rows
<b>Secondary Resources</b>	
<b>Financials</b>	
Parent Cost Center	
Capital Cost	0.0
Buffer Costs	
Resource Costs	
<b>Add-On Process Triggers</b>	
<b>Advanced Options</b>	
<b>General</b>	
<b>Animation</b>	
Current Symbol Index	Server.ResourceState
Random Symbol	False
Current Animation Index	
Default Animation Action	MovingAndIdle

Figura 37-Exemplo das propriedades que o utilizador pode atribuir ao objeto

O utilizador tem ainda a opção de arquitetar os próprios objetos. Estes objetos possuem vários processos criados pelo utilizador. Como se pode contemplar na Figura 38, a construção de processos é idêntica à realizada no *software* ARENA.

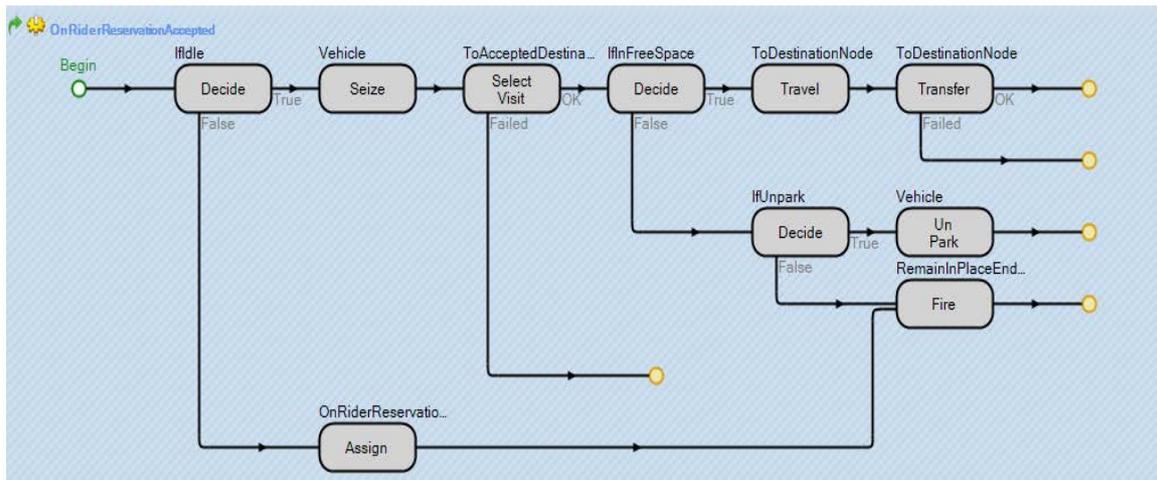


Figura 38-Exemplo de um processo que constitui o objeto *Vehicle*

Resumindo, o *software* SIMIO apresenta duas vantagens significativas. Por um lado, permite uma modelação rápida utilizando objetos previamente construídos e disponibilizados pelos desenvolvedores do *software*, e, por outro lado oferece a flexibilidade para criarmos os nossos próprios objetos e processos, quando necessitarmos de aplicações mais específicas.

### 5.3 Construção do modelo

A construção do modelo será explicada nesta secção sem recorrer a uma linguagem técnica e específica do *software* de simulação. Objetivo é que para quem não conheça o SIMIO, ou não esteja familiarizado com *softwares* de simulação, possa entender a construção do modelo.

#### 5.3.1 Entidades do modelo

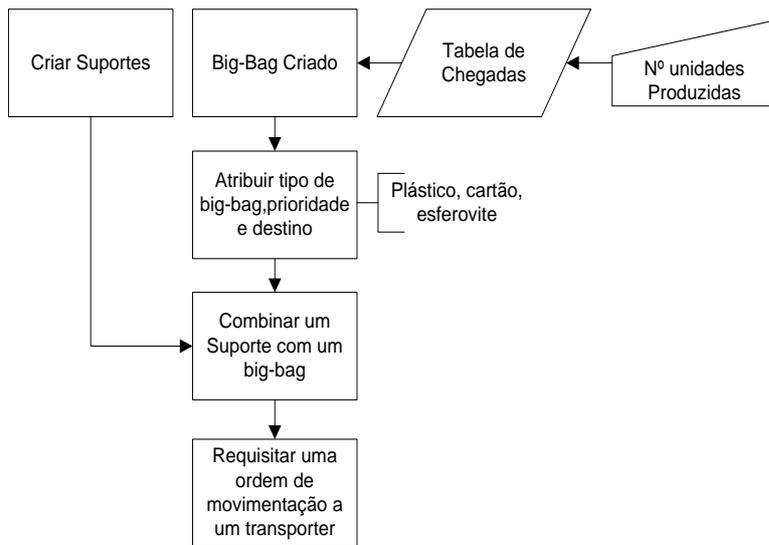
As entidades do sistema serão as seguintes:

- *Big-bags* Reembalamento;
- *Big-bags* MOE2;
- *Big-bags* SMD;
- *Big-bags* Receção;
- Suportes;

Os big-bags são distinguidos de acordo com o seu local de origem para que no final de cada simulação possamos saber quantos big-bags foram gerados em cada área. Os suportes são a entidade que representa um big-bag vazio. No início de cada simulação os vários pontos de geração de resíduos

possuem um determinado número de suportes, sempre que um big-bag é cheio este é combinado com um suporte e fica pronto para ser movimentado. Os big-bags entrarão no sistema de acordo com as tabelas de chegadas.(Anexo II – Quantidade média de resíduos gerada por área por hora)

Estas tabelas serão manipuladas por uma propriedade do sistema que será definida no início de cada simulação pelo utilizador. Esta propriedade representa o número de unidades produzidas. Através da relação encontrada entre o número de *big-bags* e unidades produzidas no gráfico da Figura 29 (pág.50), podemos calcular o número de *big-bags* a ser gerados para quantidades hipotéticas de unidades produzidas e assim testar vários cenários. Depois da criação dos *big-bags* estes serão diferenciados, sendo-lhes atribuída uma característica que os vais identificar como sendo de cartão, plástico ou esferovite. De seguida um suporte e um *big-bag* são combinados e uma viagem é requisitada a um *transporter*.



**Legenda:**

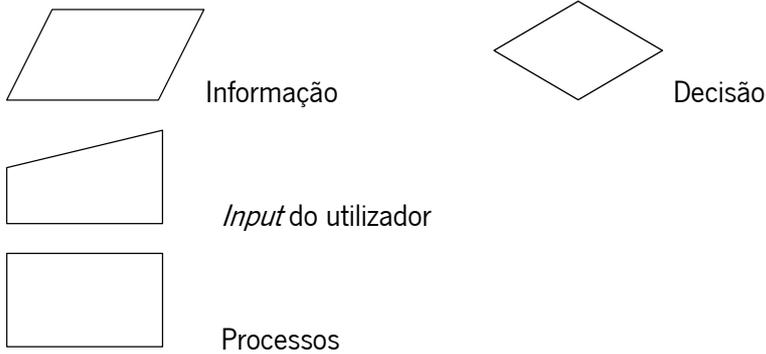


Figura 39-Fluxograma criação de entidades

5.3.2 Transporters

Existem três *transporters* neste modelo, o Empilhador, o Colaborador SMD e o Colaborador Reembalamento. Os *big-bags* cheios nas áreas de reembalamento e MOE2 irão requisitar uma ordem de movimentação ao Colaborador Reembalamento. O Colaborador Reembalamento irá escolher qual a movimentação a realizar primeiro, de acordo com a propriedade das entidades que define a sua prioridade, se ambas tiverem a mesma prioridade então a escolha é realizada pela lógica FIFO. O Colaborador Reembalamento, após aceitar uma ordem de movimentação irá deslocar-se até à localização da entidade que o requisitou, deslocação essa feita pelo percurso mais curto. O *transporter* Colaborador Reembalamento irá recolher a entidade (*big-bag*) e irá transportá-la até ao *buffer*

*intermédio* (Figura 40). Chegada ao *buffer intermédio*, a entidade deixada pelo Colaborador Reembalamento volta a requisitar uma viagem, mas desta vez ao empilhador. O processo é igual para os *big-bags* vindos de SMD com a diferença que a viagem feita do supermercado SMD para o *buffer intermédio* é realizada pelo *transporter* Colaborador SMD. Existe outro tipo de entidade que pode requisitar ambos os colaboradores Reembalamento e SMD, a entidade Suportes. Os suportes são deixados pelo empilhador no *buffer intermédio*. Logo após a sua descarga *no buffer*, se existir algum posto de reembalamento com falta de *big-bags* vazios, então o suporte requisita uma movimentação a um *transporter*. (Colaborador Reembalamento ou SMD). (Figura 41)

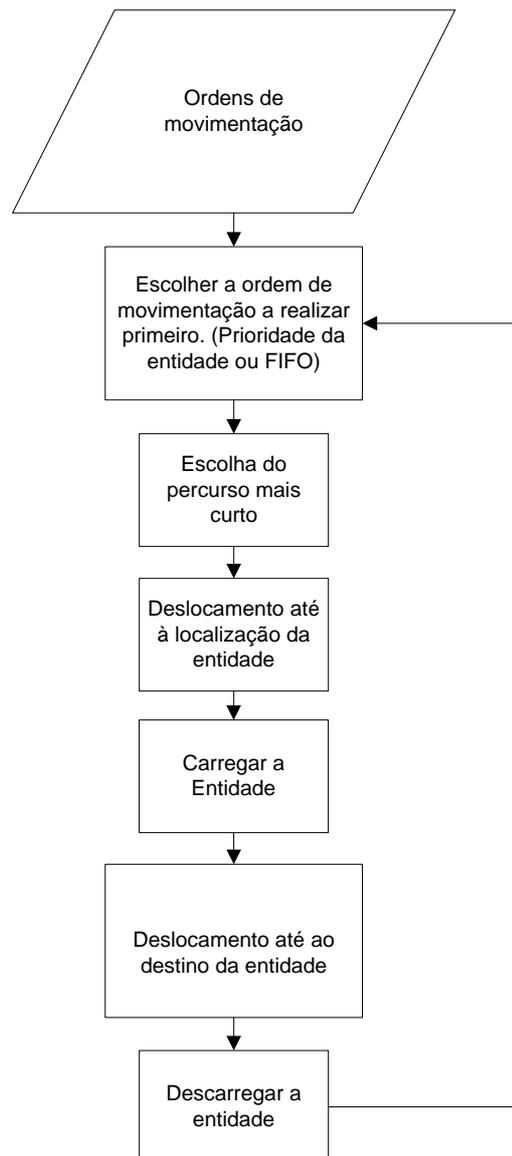


Figura 40-Fluxograma que define o comportamento dos *transporters* Colaborador SMD e Colaborador Reembalamento

Os suportes têm uma prioridade superior á dos *big-bags* cheios, daí que se existirem *big-bags* vazios em falta em algum posto e existirem suportes no *buffer* à espera, os *transporters* darão sempre prioridade à movimentação dos suportes até aos postos de reembalamento onde estes são necessários.

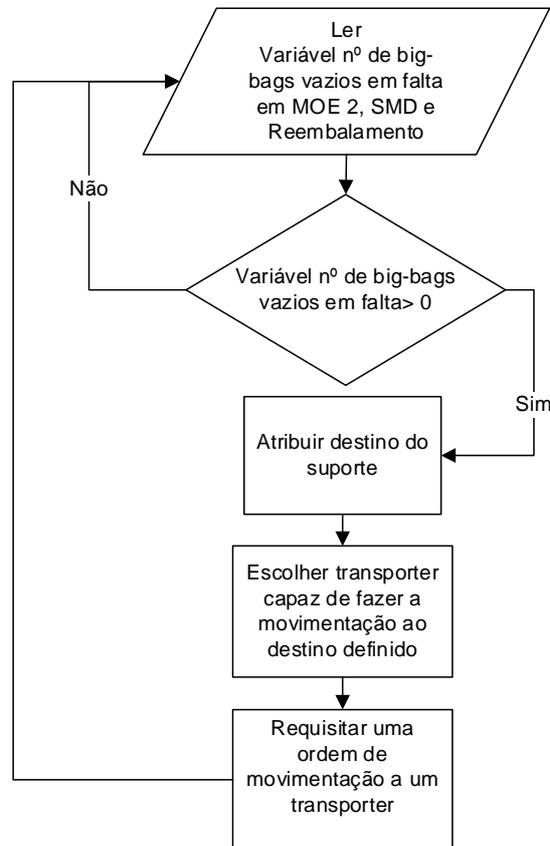


Figura 41-Processo executado sempre que uma entidade Suporte entra no *buffer intermédio*

O comportamento do *transporter* Empilhador é em tudo semelhante ao dos Colaboradores Reembalamento e SMD. Contudo, existe uma pequena diferença, os Colaboradores Reembalamento e SMD, depois de aceitarem uma ordem de movimentação, iniciam a deslocação até ao local onde se encontra a entidade. No caso do Empilhador, devido à não existência de um *standard* de trabalho, o operador que conduz o empilhador vai quer à receção quer ao *buffer* intermédio quando considerar que já existem *big-bags* a serem levantados nestes locais. Na realidade, quando o operador decide ir ao *buffer intermédio* ou à receção, o número de *big-bags* cheios ou vazios que de facto se encontram nestes locais, tanto pode ser 1 como 2, 3, ou qualquer outro número incluindo nenhum. Se bem que, uma deslocação a uma posição onde não exista nenhum *big-bag* para ser levantado raramente acontece. Modelar este comportamento é difícil, por não haver um comportamento repetitivo. Decidiu-se então estabelecer a seguinte lógica: só existe movimentação se o número de entidades à espera no

*buffer* intermédio ou receção for superior ao valor gerado por uma variável aleatória. Os valores dessa variável serão gerados segundo uma distribuição uniforme com parâmetros [1,4]. (Figura 42)

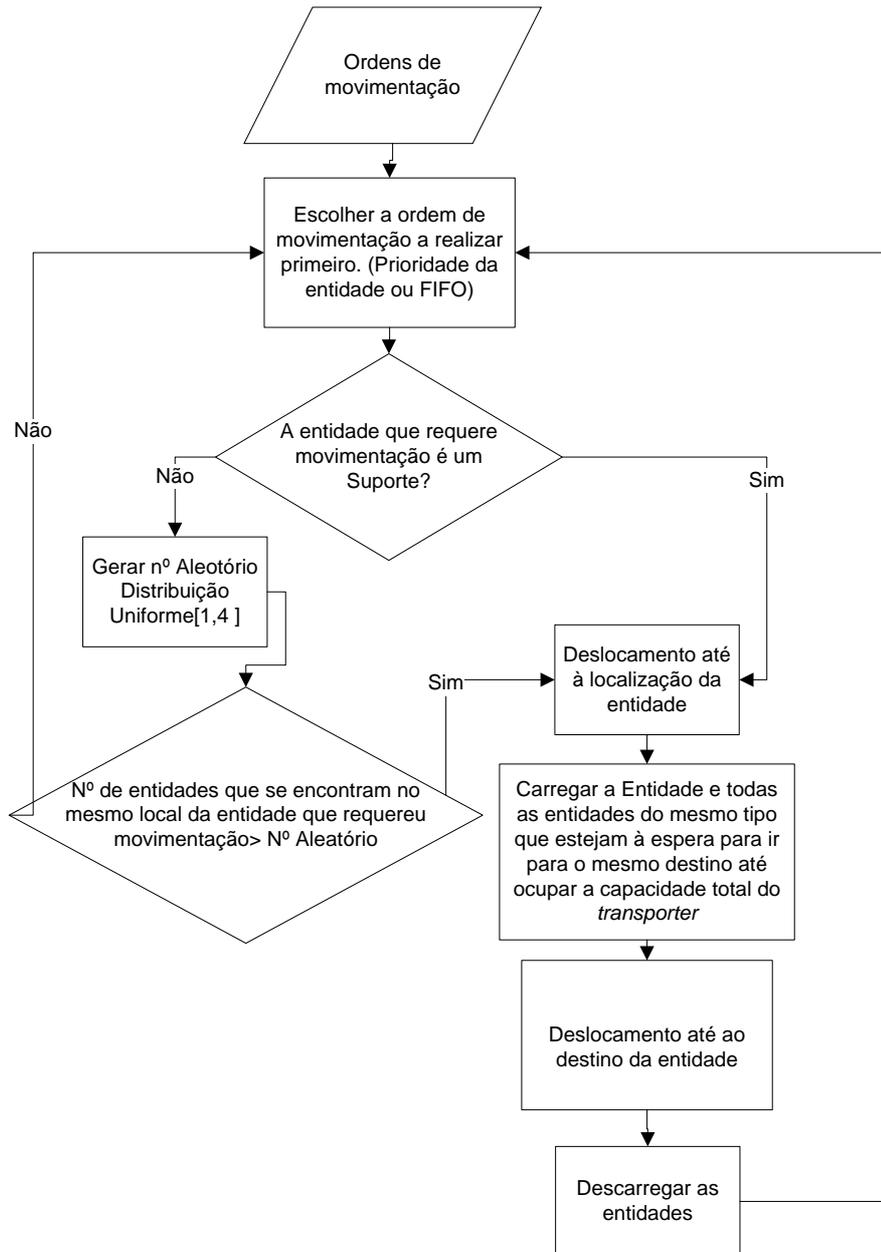


Figura 42- Lógica de seleção de movimentações do *transporter* empilhador

Como se pode observar na Figura 42, se a entidade se tratar de um suporte o empilhador irá imediatamente levá-la sem ter de passar pelo processo de geração da variável aleatória. Os suportes que podem requisitar uma movimentação do empilhador encontram-se no parque de resíduos, e estes só requisitam uma viagem quando houver entrega de *big-bags* cheios nesse local. Desta forma, quando o empilhador deixar *big-bags* cheios no parque de resíduos para os Colaboradores Semural processarem uma mesma quantidade de suportes irá requisitar o empilhador

para uma movimentação. Tendo os suportes prioridade em relação aos *big-bags*, a próxima viagem será sempre realizada com suportes e o número a transportar será igual ao número de *big-bags* cheios que foi entregue no parque de resíduos na viagem anterior.

5.3.3 *Buffers*, postos de reembalamento, postos de conferência e outros pontos de geração de resíduos.

Em cada ponto de geração de resíduos existe um espaço reservado para o armazenamento de *big-bags*. Nestes pontos, *big-bags* vazios esperam até serem enchidos. No Anexo III– *Layout do Armazém*) podem ver-se estes locais representados por quadrículas coloridas, a azul, amarelo e preto.

Estes objetos foram criados pelo utilizador, uma vez que o SIMIO não possui na sua livreria *standard* objetos que representem locais de armazém. Estes objetos comportam informações e características que irão definir o destino das entidades e os *transporters* que estas podem reservar.

5.3.4 Animação do Modelo

O SIMIO permite que os modelos sejam animados com relativa facilidade e rapidez. Este *software* permite, ainda acesso à base de dados 3D *Warehouse*, onde existem milhares de objetos que podem ser importados e usados no modelo. O resultado final culminou na construção de um modelo 3D, à escala, do armazém, onde os processos reais são perfeitamente identificáveis. A animação é uma funcionalidade que ajuda a convencer os agentes de decisão da qualidade da simulação. Sendo possível observar o funcionamento do modelo em 3D é muito fácil perceber se o modelo está, ou não, a fazer o pretendido. Facilita ainda o processo de *debugging* ajudando a perceber a origem de erros e problemas.

5.3.5 Validação do Modelo

A validação do modelo basear-se-á na comparação dos resultados da simulação com valores os resultantes das observações ao sistema real durante o mês de Janeiro. Este método comporta riscos, porque parte-se do princípio que a recolha de dados retrata e representa o comportamento do modelo atual. A qualidade das informações recolhidas através da observação do sistema real prende-se com a dimensão da amostra, neste caso de um mês, e a não existência de erros na medição das variáveis em estudo. É difícil garantir estes dois fatores, mas a dimensão da amostra foi tal quanto o possível.

Uma vez que a medição exigia a cooperação dos colaboradores alocados ao processo é normal que existam restrições quanto à duração do estudo, no final de contas os colaboradores estavam a usar o

seu tempo produtivo para registar informações. Quanto aos erros de medição foram detetadas algumas irregularidades, mas essas foram facilmente detetadas devido ao absurdo de alguns dados recolhidos. Encontraram-se duas situações deste género, essas situações não foram contabilizadas na análise de resultados.

Concluindo, a qualidade do modelo será tanto melhor quanto a qualidade das informações recolhidas. No sentido de validar o modelo, foram analisadas duas variáveis, o número de *big-bags* transportados e o número de viagens realizadas até ao *buffer* intermédio e receção.

Em relação ao número de *big-bags*, na simulação obteve-se que em média por turno são transportados  $149.113 \pm 1.8019$  *big-bags*, contra os 152 observados no sistema real. O número 152 não se encontra entre os limites do valor encontrado na simulação, uma vez que  $149.113 \pm 1.8019$  é igual a 150,91, existindo uma diferença de cerca de 1%. No entanto, um desvio de 1% é perfeitamente aceitável. (Ver Tabela 7). As margens de erro apresentadas foram calculadas para um intervalo de confiança de 95 %. Como se pode observar a margem de erro é muito pequena, uma vez que para cada simulação foram realizadas 800 observações.

Tabela 7-Comparação do número médio de *big-bags* transportados por turno no mês de Janeiro com os resultados da simulação do modelo atual

N° de Big-Bags		
Valor observado	Valor do Modelo	Half Width
152	149,113	1,8019

Tabela 8-Comparação do número médio de viagens realizadas por turno no mês de Janeiro, com os dados da simulação do modelo atual

Número de Viagens			
	Valor Observado	Valor do modelo	Half Width
<i>Buffer</i> intermédio	39	38,7753	0,1542
Receção	9,875	11,5665	0,2616

Relativamente ao número de viagens realizadas até ao *buffer* intermédio e à receção, também aqui os valores estão próximos, existindo erros inferiores a 2 % (Tabela 8). Há que realçar que para tentar replicar o comportamento imprevisível do operador do empilhador, se considerou este apenas realiza a viagem para um destino, se o número de *big-bags* cheios para serem levantados nesse local for

superior ao valor gerado por uma variável aleatória que segue uma distribuição Uniforme (1,4). A escolha da distribuição uniforme com os parâmetros (1,4) foi apenas uma estimativa grosseira para tentar modelar o comportamento do operador. Contudo, de certa forma, estes resultados vêm confirmar a validade dessa estimativa.

O método de validação utilizado nesta secção denomina-se de validação através de dados históricos. Contudo, na realidade ao longo da modelação o método mais utilizado foi o *face validation* que consiste na observação direta do comportamento do modelo por parte de um observador com conhecimento do processo (Sargent, 2011), onde é analisada a lógica conceptual do modelo e se os resultados obtidos nas simulações são razoáveis.

## 6. MODELAÇÃO DO SISTEMA COM AGV'S

Neste capítulo são apresentadas várias configurações para o sistema através da utilização de AGV's.

**A configuração 1** será uma alternativa mais simples, que consistirá em substituir o empilhador por um AGV. Mantendo o resto sistema inalterado.

### Sensores

O primeiro problema que surge quando pretendemos usar uma máquina ou robô num processo, é proceder à comunicação entre o sistema e a máquina, isto é, como vamos informar a máquina que esta deve atuar.

Neste caso, o AGV precisa de ter um feedback relativo à quantidade de *big-bags* no *buffer intermédio* e na receção. Esta informação poderá ser recolhida de várias formas.

A primeira poderá ser feita através de uma “botoneira”, isto é, sempre que um operador carregar num botão, o número de *big-bags* cheios numa dada posição será incrementado e uma ordem de movimentação será comunicada ao AGV. Sempre que o AGV recolher *big-bags* dessa posição, o número de *big-bags* será decrementado de acordo com o número de *big-bags* levantados. Este processo irá permitir uma monitorização do número de *big-bags* criados e movimentados, permitindo controlar o processo.

Outra forma, é através de células de carga. Estas células de carga seriam colocadas nas várias posições disponíveis para o armazenamento dos *big-bags*. A título de exemplo, o *buffer intermédio* possui seis lugares para *big-bags*, cheios ou vazios. Para o *buffer intermédio* serão então necessárias seis células de peso, uma para cada posição. Quando um big-bag cheio é colocado numa posição, uma das rodas do suporte do big-bag entrará em contacto com a célula que irá ler o peso do big-bag. Todos os suportes têm um peso dentro de limites específicos, quando o peso lido exceder esses limites, sabe-se que se trata de um big-bag cheio e uma ordem de recolha será comunicada ao AGV. As informações lidas tanto pelo sensor de peso, e registadas pela botoneira têm de comunicar com o AGV através de rádio frequência, ou wireless. Estas informações, podem ainda ser guardadas no sistema ERP da empresa ou outro *software* criado para o efeito.

## Funcionamento do AGV

Sempre que um *big-bag* cheio é colocado no *buffer* intermédio, ou na receção é requisitada uma viagem ao AGV, que irá seleccionar a tarefa que tiver maior prioridade de acordo com uma lógica *First-In-First-out*.

Sempre que o AGV faça uma movimentação até ao *buffer* intermédio, após recolher os respetivos *big-bags* deverá ser realizada uma avaliação da existência de *big-bags* para serem levantados na receção. Se isto se suceder o AGV deverá deslocar-se à receção, mas só se a quantidade recolhida no *buffer* intermédio for inferior à capacidade de reboque do AGV.

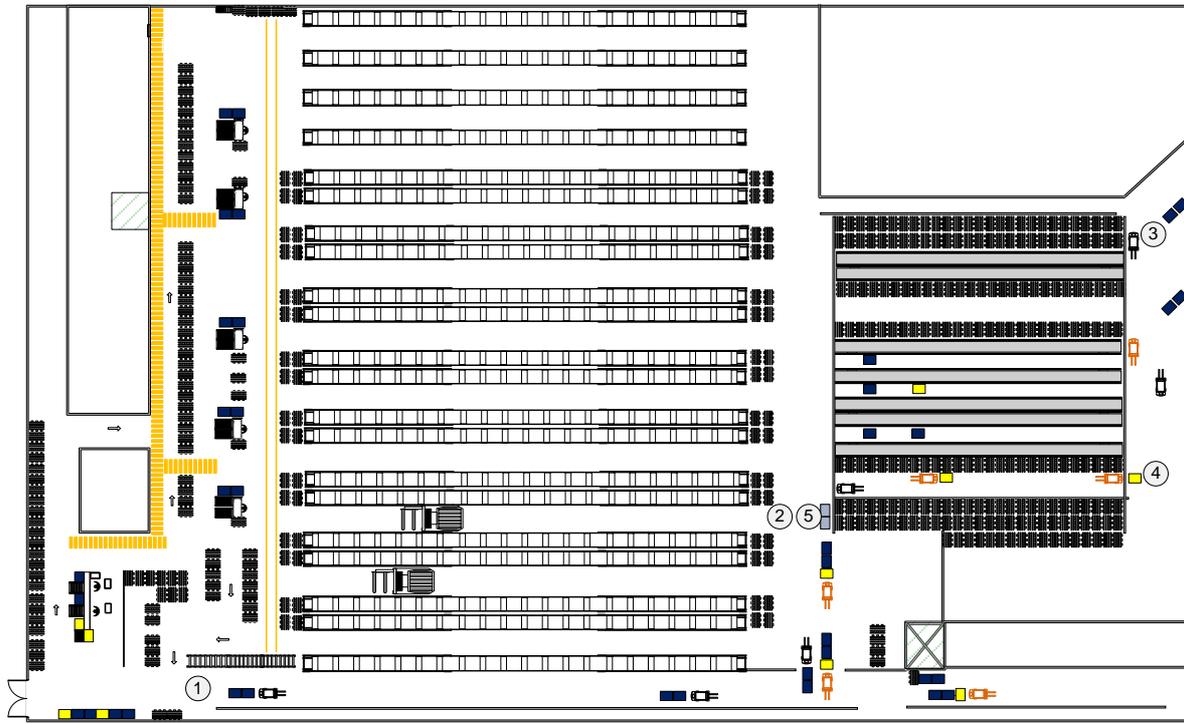
A ida à receção irá exigir uma inversão de marcha, o que se torna praticamente impossível com *big-bags* atrelados. Daí que, o AGV terá que depositar os *big-bags* vindos do *buffer* intermédio num local junto da receção, fazer a inversão de marcha, recolher os *big-bags* da receção e aí sim recolher os *big-bags* vindos do *buffer* intermédio depositados previamente (Figura 43).

Após a recolha de *big-bags*, quer da receção, quer do *buffer* intermédio, estes deverão ser transportados até ao parque de resíduos. Chegando ao parque de resíduos, o AGV deverá descarregar os *big-bags* atrelados, inverter a marcha e levantar suportes que se encontram numa área adjacente ao parque de resíduos.

Os suportes devem ser levados aos respetivos locais de acordo com o número de *big-bags* levantados na movimentação anterior, isto é, se na movimentação anterior foram levantados  $x$  *big-bags* do *buffer* intermédio e  $y$  *big-bags* da receção, então a próxima movimentação será feita para levar suportes para essas duas áreas, nas quantidades  $x$  e  $y$ , respetivamente. Sempre que o AGV tenha de levar suportes para ambas as zonas, numa única viagem, deverá fazê-lo por esta ordem: receção e *buffer intermédio*. Este facto deve-se também às restrições de espaço que impedem viragens em "U". Desta forma, o AGV deverá depositar os suportes com destino para o *buffer* intermédio num local designado para o efeito, descarregar os suportes com destino para a receção, efetuar a viragem em "U" já sem suportes atrelados, recolher os suportes para o *buffer* intermédio previamente depositados, deslocar-se até ao *buffer* intermédio e desatrelar os restantes suportes. A partir deste momento o AGV estará disponível para a próxima viagem.

Por norma, após uma viagem de recolha de *big-bags* segue-se uma viagem de abastecimento das zonas de criação de resíduos com suportes.

O AGV deverá viajar a uma velocidade média de 2 m/s, ou seja, 7.2 km/h, caso o AGV se depare com outros veículos este deverá parar e esperar até que esse veículo finalize a sua tarefa e efetue uma manobra que desimpeça o avanço do AGV.

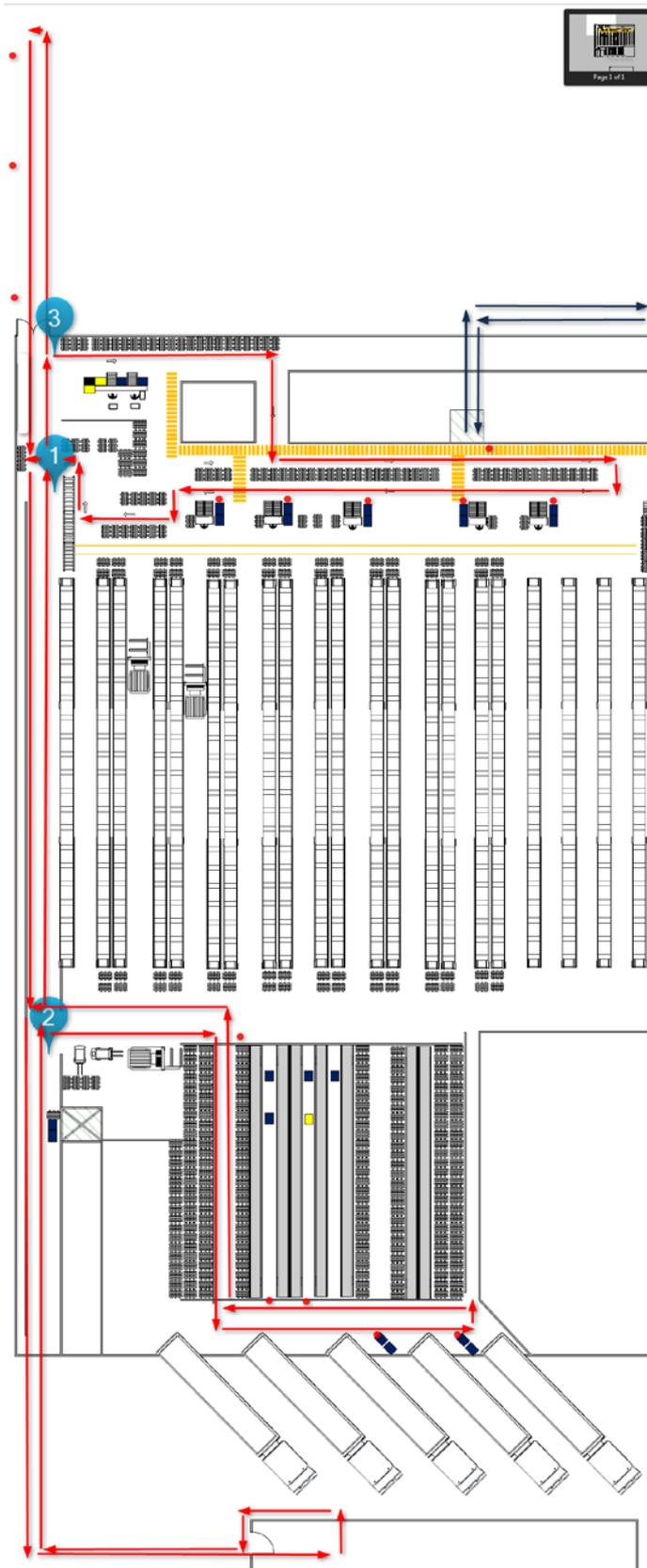


- 1-AGV recolhe 2 *big-bags* do *buffer* intermédio, havendo espaço para recolher mais 1 na receção;
- 2-AGV deposita temporariamente os *big-bag*vindos do *buffer* intermédio
- 3-AGV inverte a marcha
- 4-AGV atrela um *big-bag* da receção
- 5-AGV recolhe os *big-bags* previamente deixados no ponto 2 e desloca-se para o parque de resíduos

Figura 43- Diagrama de funcionamento do AGV (Configuração 1)

Existem duas grandes diferenças entre a configuração proposta e o modelo atual. Na configuração proposta, para que o AGV inicie uma viagem, é suficiente que apenas um *big-bag* cheio esteja a aguardar, isto traduzir-se-á num menor número de *big-bags* no *buffer* intermédio, reduzindo a necessidade de ter tanto espaço reservado para esse efeito. A segunda diferença é que nesta configuração o AGV pode visitar o *buffer* intermédio e a receção no mesmo ciclo, reduzindo, assim, o número total de viagens.

## 2 Configuração



A alternativa anterior passava apenas por substituir o empilhador manualmente operado que realizava a movimentação dos *big-bags* do *buffer* intermédio e da receção até ao parque de resíduos. Nesta alternativa (Figura 44), propõe-se uma mudança mais radical do processo, substituindo para além do empilhador, o operador do reembalamento que transportava os *big-bags* desde os postos de reembalamento e de MOE2 até ao *buffer* intermédio. Esta alternativa poderá exigir mudanças tanto na área de reembalamento como em MOE 2. Mudanças essas, relacionadas com a largura dos corredores, que exigem raios de viragem muito pequenos, algo que pode ser limitador para veículos com atrelados.

Nesta alternativa a informação da quantidade de *big-bags* nas várias posições poderá ser recolhida da mesma forma do que na configuração anterior.

O funcionamento é basicamente o mesmo, com a exceção que agora a recolha dos *big-bags* de MOE2 e do Reembalamento deixa de ser executada no *buffer* intermédio e passa a ser realizada diretamente nos pontos de criação de

resíduos. O *buffer* intermédio deixa de existir, o colaborador SMD que até ao momento transportava os

Figura 44-Digrama de funcionamento do sistema com a 2ª configuração AGV

*big-bags* do supermercado SMD até ao *buffer* intermédio passa a deixar os *big-bags* junto ao elevador. Na Figura 44 os pontos a vermelho representam os locais de geração de resíduos, onde o AGV irá recolher ou deixar *big-bags*. As setas a vermelho representam todos os trajetos que o AGV irá percorrer para poder fazer a recolha e a distribuição dos *big-bags* vazios. As setas a azul representam o trajeto do colaborador SMD. Existem três nuances essenciais para o sucesso desta configuração.

Sempre que um o AGV vá recolher *big-bags* cheios à zona de reembalamento quando chegar ao ponto 1 (Figura 44), se tiver atrelados menos de 3 *big-bags*, irá verificar as ordens de movimentação requisitadas por *big-bags* da zona de MOE2. Se de facto existirem ordens de movimentação para MOE 2 o AGV irá realizá-las. Do mesmo modo, se o AGV for recolher *big-bags* a MOE2 e chegar ao ponto 3 com menos de 3 *big-bags* atrelados ele irá averiguar se existem *big-bags* à espera para serem levantados nalgum posto de reembalamento e agir em concordância. Por fim, sempre que o AGV venha da área de reembalamento ou de MOE2, e chegue ao ponto 2 com menos de 3 *big-bags* atrelados ele repete o comportamento efetuado nos outros pontos, mas desta vez a verificação e a deslocação serão para a receção.

Com esta alternativa reduzem-se dois postos de trabalho, substitui-se o empilhador por um AGV e o colaborador SMD passa ainda a ter mais tempo disponível para realizar outras atividades.

Para além destas duas configurações, o sistema atual foi simulado, com a hipótese de que os *big-bags* serão enchidos com uma quantidade de resíduos 50% superior àquela que atualmente é conseguida.



## 7. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Foram realizadas várias simulações com as diferentes configurações apresentadas no capítulo 6. Em cada uma das experiências foram registadas medidas de performance que permitiram avaliar a qualidade de cada proposta em relação à situação atual. Em cada simulação o utilizador teve a possibilidade de controlar uma propriedade do modelo que define o número de unidades produzidas, de produto final e produto intermédio. Ou seja, podemos avaliar a performance de cada proposta face a várias situações de variação na quantidade de output da fábrica.

Foram registadas muitas métricas de performance em cada simulação, como o *throughput* time de cada big-bag cheio, os tempos de paragem por congestionamento, a utilização dos recursos, as distâncias percorridas por cada *transporter*, o número de *big-bags* enchidos, e a quantidade de *big-bags* transportada até ao parque de resíduos.

Os modelos foram avaliados em relação a quatro cenários de nível de produção. O primeiro representará a quantidade média de unidades produzidas em Janeiro, o segundo a quantidade máxima registada no mesmo mês, o terceiro e o quarto representaram aumentos de 20% e 50% em relação à quantidade máxima, respetivamente. (Tabela 9)

Tabela 9-Cenários testados

	Cenários			
	Média do mês de Janeiro	Máximo Registado	Aumento de 20% em relação ao máximo registado	Aumento de 50% em relação ao máximo registado
<b>Unidades Produzidas</b>	127000	178000	213600	267000

Das métricas registadas em cada simulação, as utilizadas para comparar as várias configurações foram:

- Tamanho do *buffer* intermédio;
- Distâncias percorridas;
- Unidades de produto final perdidas;

- Utilização dos recursos, nomeadamente do colaborador SMD, colaborador Reembalamento, Empilhador.

### 7.1 Dimensão do *buffer intermédio*

Como já foi explicado na secção 4.5, a dimensão do *buffer* intermédio é decisiva e atualmente as suas dimensões não são suficientes para armazenar todos os *big-bags* vazios ou cheios, entre viagens do empilhador. Por essa razão é frequente encontrar *big-bags* cheios à espera no corredor (Figura 32).

Analisando o gráfico da Figura 45, percebe-se que o estado atual tem um desempenho inferior a todas as outras configurações propostas. Para a quantidade média produzida no mês de janeiro, a capacidade necessária seria de aproximadamente 11m<sup>2</sup>, quando o espaço disponível na realidade é de apenas 6 m<sup>2</sup>. O problema agrava-se ainda mais se no futuro a empresa esperar aumentar os seus níveis de produção. A configuração 1, a solução AGV mais convencional, reduz a necessidade de espaço em 2m<sup>2</sup>. Isto acontece essencialmente à custa do AGV se deslocar a uma posição, bastando que para isso lá esteja apenas um 1 *big-bag* cheio. Veja-se que mantendo o sistema atual, mas aumentando a quantidade de resíduos transportada em cada *big-bag* em 50% (linha a vermelho no gráfico da Figura 45) se traduz numa melhoria mais significativa do que a da configuração 1. Apesar de tudo, a principal conclusão que se retira da observação do gráfico é que a dimensão atual do *buffer* intermédio não é realista para nenhum dos cenários. Para o cenário da produção média de janeiro, tanto a configuração 1 como o aumento do aproveitamento dos *big-bags* necessitam de um *buffer* com uma área mínima de 9 m<sup>2</sup>, valor igualmente acima dos 6m<sup>2</sup> disponíveis.

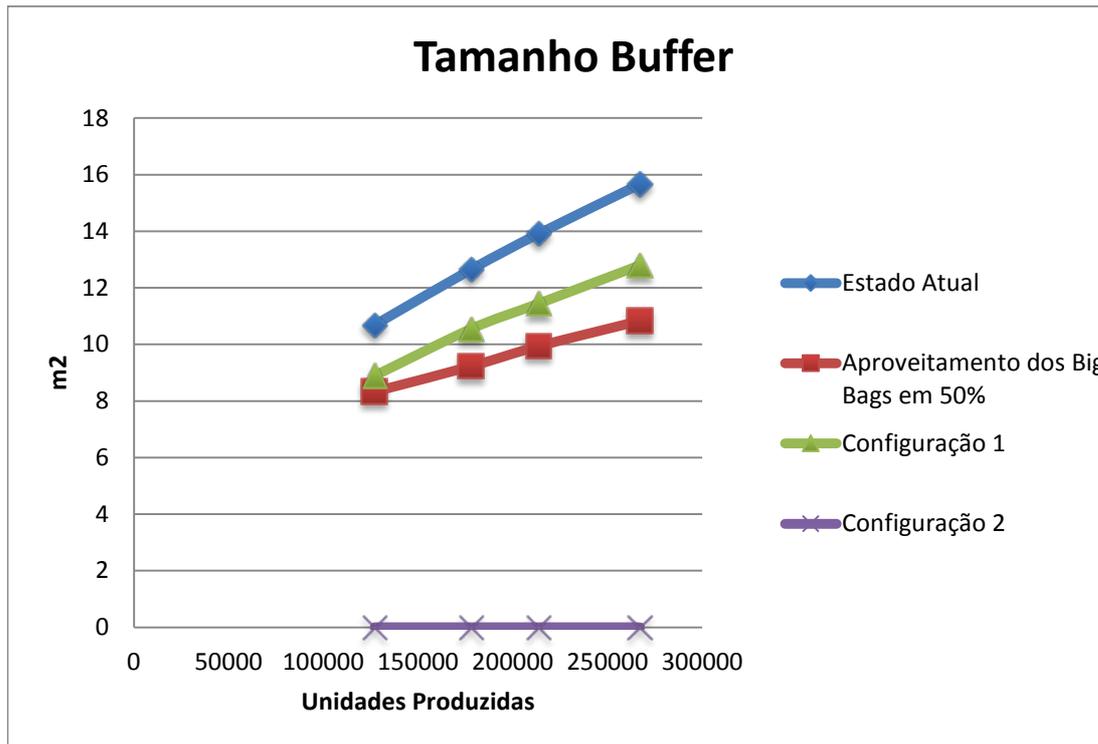


Figura 45-Tamanho do *buffer intermédio* necessário em cada configuração para cada cenário de nível de produção.

A configuração 2 elimina a necessidade da existência do *buffer*. Sendo a melhor opção em termos de poupança de espaço, mas como será evidente nos próximos capítulos existe um *trade-off*, esta configuração terá contrapartidas.

## 7.2 Distâncias percorridas

A avaliação das distâncias percorridas é de grande importância. Primeiro porque existem colaboradores que percorrem essas distâncias a pé, e segundo, porque quanto maior forem os deslocamentos, à partida, maior será a incidência de situações de congestionamento e paragem.

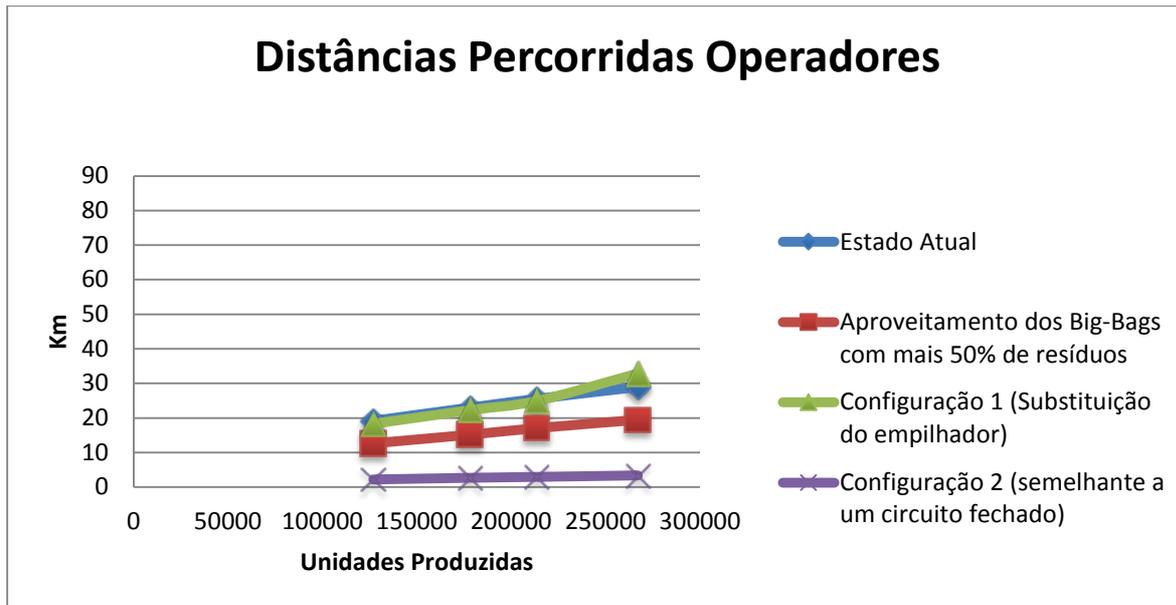


Figura 46- Distâncias percorridas pelos Operadores

O estado atual e a configuração 1 possuem características idênticas, ambos necessitam de dois colaboradores para fazerem o deslocamento entre SMD, reembalamento e MOE2 até ao *buffer* intermédio. Na situação atual, para o cenário da produção média de Janeiro, o colaborador Reembalamento percorre uma distância de cerca de 15 Km e o colaborador SMD cerca de 5 km, um combinado de 20 km, que se pode observar no gráfico da Figura 46. Este valor cresce de forma substancial, para um cenário de aumento da produção em 50 % o colaborador Reembalamento percorrerá 21,9 Km e o colaborador SMD 6,96 Km. De salientar que 22 quilómetros é uma distância considerável quando se tem de empurrar *big-bags* com 10Kg. É um trabalho extenuante, sobretudo para o colaborador Reembalamento. Claramente a configuração 2 é a melhor relativamente a este parâmetro de avaliação, pois elimina o operador Reembalamento e reduz as distâncias a percorrer pelo colaborador SMD.

No gráfico da Figura 47 são apresentadas as distâncias totais dos empilhadores/ AGV's e dos colaboradores. Aqui, ressalta-se um comportamento muito interessante no que toca à configuração 2. Apesar de haver um aumento das unidades produzidas, não se regista um aumento considerável das distâncias percorridas. Este fenómeno acontece porque o AGV está modelado de forma semelhante a um veículo que percorre um circuito fechado de forma ininterrupta e vai recolhendo *big-bags* ao longo do caminho. As unidades produzidas não irão aumentar o número de viagens, mas sim, o número de *big-bags* transportados em cada viagem. Este fenómeno poder ser comparado com um autocarro escolar que percorre um quarteirão e vai recolhendo alunos ao longo do caminho. Um número de alunos maior não exige que o autocarro percorra distâncias maiores, mas irá influenciar a ocupação do

veículo, de tal forma que chegará a um ponto em que um autocarro já não será o suficiente para transportar todos alunos daquele quarteirão, sendo necessários mais veículos para que os alunos cheguem a tempo às aulas.

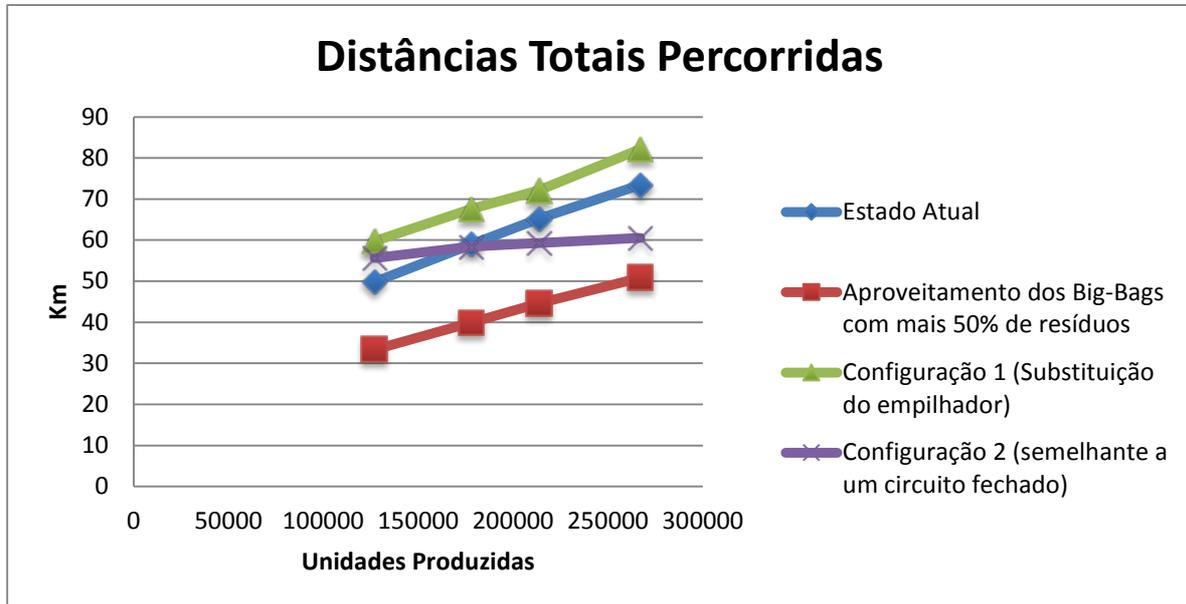


Figura 47- Distâncias percorridas colaboradores mais AGV/Empilhador

A configuração 1 é a que regista pior desempenho nesta categoria. Foi referido na secção 7.2, que nesta configuração o AGV realiza uma movimentação, sendo suficiente que para isso se encontre apenas 1 *big-bag* à espera no *buffer* intermédio ou na receção. Isso reduz o tamanho do *buffer*, mas aumenta o número de vezes que o AGV se desloca até a esses pontos, aumentando portanto, as distâncias percorridas pelo AGV.

### 7.3 Perdas por incapacidade do sistema

Estas perdas foram registadas na simulação através da diferença entre o número de *big-bags* enchidos e aqueles que são transportados. A diferença entre estes dois valores traduz-se em perdas em unidades de produto final, uma vez que um *big-bag* cheio não transportado significa que existiram pontos de geração de resíduos que tiveram de cessar atividade por não terem local onde depositarem os resíduos. Foi necessário estimar o número de unidades de produto final afetadas por cada *big-bag* não transportado. Para isso utilizou-se a informação do gráfico da Figura 29. Estima-se que cada *big-*

*bag* cheio, não transportado represente uma perda de 133 unidades de produto final.

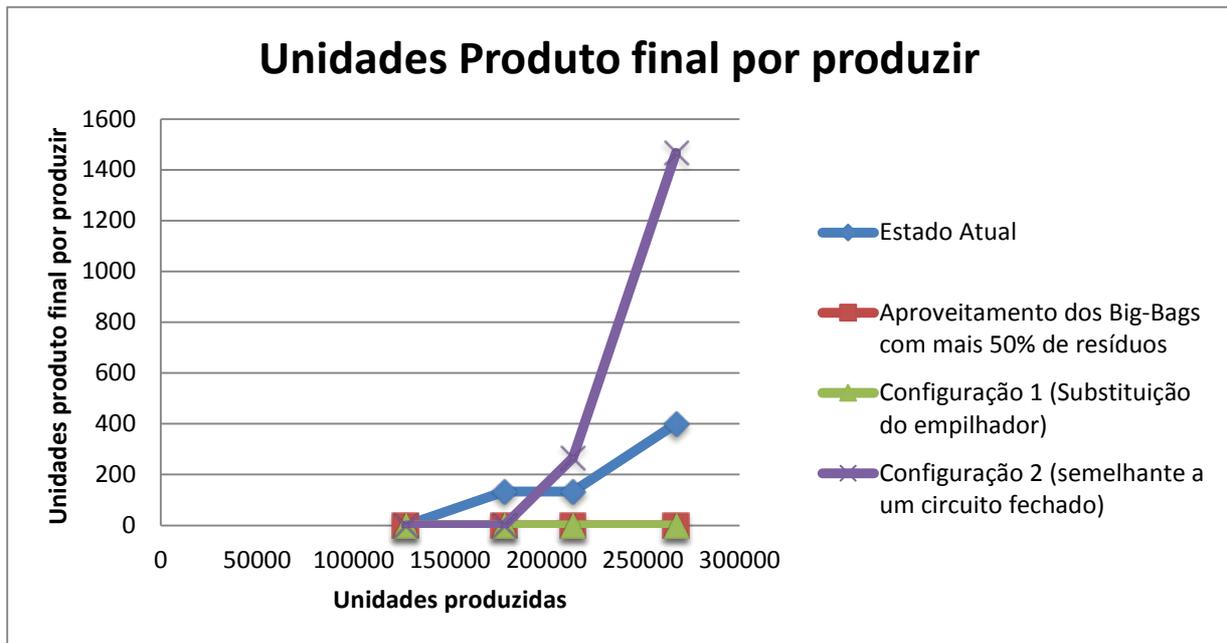


Figura 48-Unidades perdidas de produto final

A configuração 1 e o aproveitamento dos *big-bags* em 50% não apresentam perdas para nenhum dos cenários, ou seja, todos os *big-bags* gerados são transportados até ao parque de resíduos. A situação atual começa a apresentar perdas para níveis de produção acima da média do mês de janeiro. Já a configuração 2 só começa a apresentar perdas quando a produção diária for acima de 178000 unidades.

Demonstrou-se, na secção 7.2, que as distâncias percorridas pelo AGV na configuração 2 não aumentavam com o aumento das unidades produzidas, e concluiu-se que na realidade o aumento se verificava na quantidade de *big-bags* transportada em cada viagem. O gráfico da Figura 48 demonstra isso mesmo. Neste estudo considerou-se que um AGV no máximo poderá atrelar 3 *big-bags* em cada viagem. Quando o número de *big-bags* a ser levantados no momento em que o AGV inicia a viagem for sistematicamente superior a 3 é expectável que se crie um défice entre o número de *big-bags* enchidos e os que de facto são transportados, resultando em perdas de unidades de produto final. Conclui-se, que a configuração 2 necessita de mais que um AGV se os níveis de produção forem invariavelmente superiores a 178.000 unidades.

## 7.4 Utilização dos Recursos

Relativamente à utilização dos recursos, normalmente os projetos são definidos por forma aumentar a sua taxa de ocupação em duas formas, através do aumentando da carga de trabalho, ou eliminando unidades de recurso e distribuindo a carga de trabalho pelas remanescentes.

Neste projeto, como existem muitas movimentações levadas a cabo por colaboradores existe um conflito inerente ao processo, o aumento da taxa de utilização pressupõe que existam mais movimentações, o que implica que determinados colaboradores necessitem de efetuar uma distância diária significativa. Por outro lado, mais movimentações traduzem-se em mais congestionamento. Imagine-se que se pretende que o colaborador Reembalamento possua uma taxa de utilização de 70%, ou seja, o colaborador estará em movimento cerca de 5.6 horas por turno. Se este se movimentar à velocidade média preferida que é cerca de 5 km/h (Mohler, Thompson, Creem-Regehr, Pick, & Warren, 2007), num turno ele irá percorrer 28 km, o equivalente a dois terços de maratona por dia.

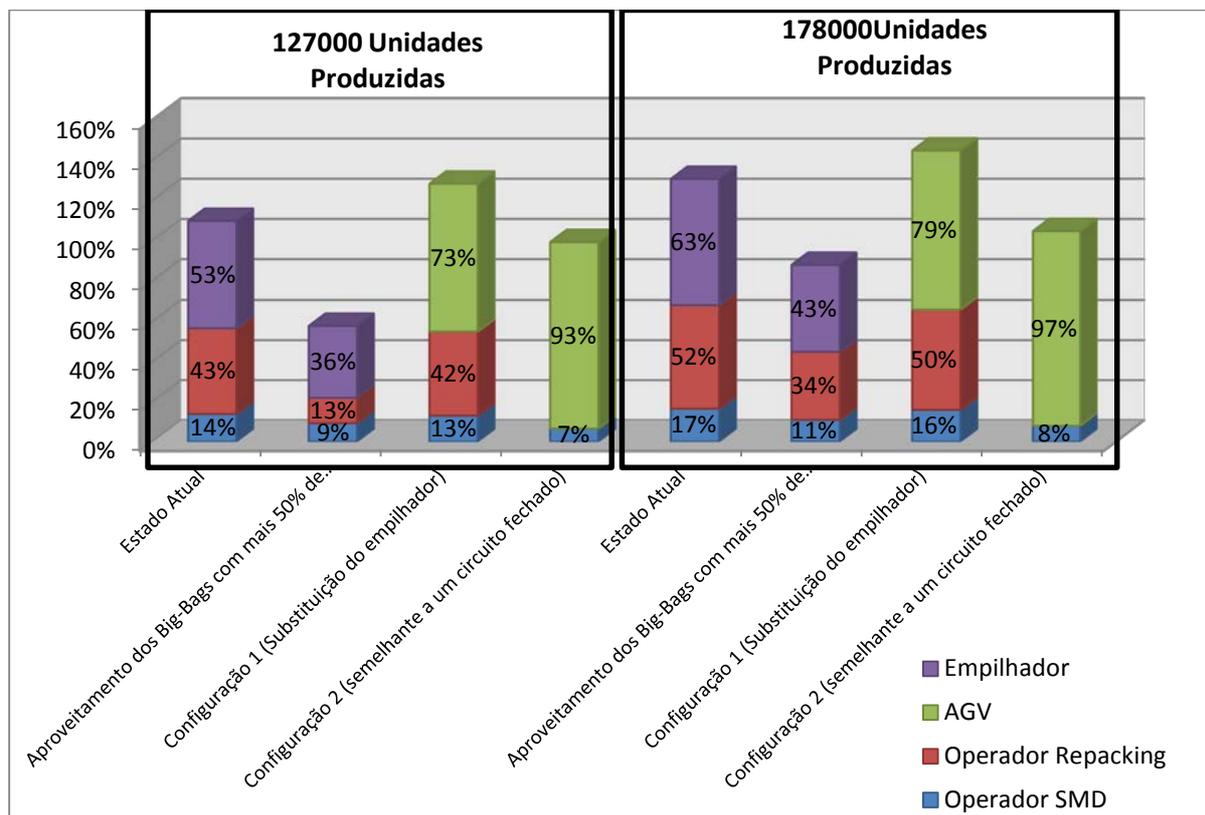


Figura 49-Taxa de utilização de recursos

No gráfico da Figura 49 é possível observar as taxas de utilização dos vários recursos para os dois cenários. Veja-se que o único recurso cuja utilização está próxima de 100% é o AGV da configuração 2. Esse valor é conseguido através de uma das alternativas previstas em cima, eliminação de recursos e a distribuição da carga de trabalho pelos remanescentes. A ocupação do colaborador SMD poderá

parecer estranhamente baixa, mas esse colaborador tem funções externas à movimentação de *big-bags*. O valor percentual apresentado no gráfico corresponde à percentagem do seu tempo dedicado ao processo de movimentação de resíduos. Os gráficos para os restantes níveis de produção encontram-se no Anexo IV (Gráfico da utilização de recursos para os vários cenários de produção)

### 7.5 Qual a melhor alternativa em termos de desempenho?

A escolha da melhor alternativa em termos de desempenho dependerá das perspetivas de crescimento da empresa. Se a empresa mantiver o volume de unidades produzidas atual, então a melhor solução será a configuração 2. Esta elimina três recursos, o colaborador SMD, o operador do empilhador e a necessidade da existência de um *buffer*, mantendo o mesmo nível de serviço. No entanto, esta solução exigirá alterações do *layout* dos corredores. Foi elaborado o digrama de viragem de um AGV (Figura 50), para se perceber qual a ordem de grandeza destas mudanças. Para o AGV realizar uma inversão de marcha necessitará de 8,4 metros distância lateral e uma largura de caminho de 2,10 metros. Isto implicará mudanças de *layout* em MOE2, reembalamento e receção.

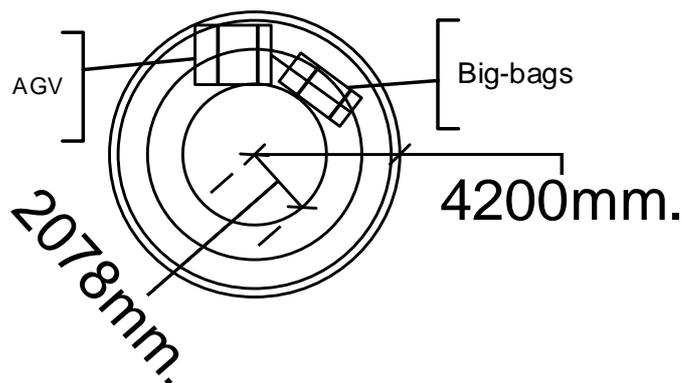


Figura 50-Diagrama de viragem de um AGV que se considerou no estudo

Se a empresa preferir uma solução mais convencional, uma solução de troca por troca, então a configuração 1 será uma alternativa funcionalmente viável. Como é uma alternativa mais simples, será também de mais fácil implementação.

Por último, o aproveitamento do volume dos *big-bags* em 50% é uma solução que poderá ser feita em simultâneo com ambas as configurações. Está-se a falar em aumentar a quantidade de resíduos transportada em cada *big-bag* em 5 kg. Para isso, será necessário redefinir os *standards* de trabalho dos postos de reembalamento e conferência para acomodar no máximo mais 20 segundos na tarefa de reembalamento. Se esta mudança for implementada a configuração 2 poderia ser utilizada para

níveis de produção de superiores. Mantendo a validade da configuração para níveis de produção superiores a 178000 unidades, sem que para isso sejam necessários mais veículos.



## 8. ANÁLISE DE CUSTOS DAS VÁRIAS ALTERNATIVAS

Na análise económica realizada foram identificados todos os custos de investimento e custos operacionais. Os custos de investimento foram obtidos através de cotas fornecidas por fornecedores, os custos operacionais foram calculados através dos resultados das simulações e tabelas de custos da empresa. A comparação económica das várias configurações propostas assentará na avaliação de 3 medidas, o valor presente do investimento, a taxa interna de rentabilidade e o período de recuperação.

Neste processo existem 2 colaboradores de uma empresa externa e um colaborador Bosch.

Cada colaborador externo custa à empresa 11.500,00€/ano e os colaboradores internos cerca de 18.000,00€/ano. Existe também um empilhador alocado ao processo que detém um custo de renting anual de 9.984,00 €/ano. Os custos energéticos foram calculados segundo uma tarifa de 0.16€/ KWh de energia consumida. A estimativa da energia consumida foi calculada através da fórmula do trabalho realizado por uma força:

$$W = \int_{x_0}^{x_1} F \cdot dx \quad \text{Equação 10}$$

Considerou-se uma força média através da multiplicação da massa do veículo (4000 kg) e uma aceleração média de 0.4 m/s<sup>2</sup>. Os deslocamentos foram encontrados através dos resultados das simulações como foi apresentado anteriormente. Assim, foi possível calcular a energia necessária para movimentar o AGV e o empilhador durante as respetivas distâncias através da Equação 10 não contando com o trabalho realizado por forças dissipativas. Isto significa que se está a considerar que a eficiência dos motores elétricos é de 100 % e que todo o trabalho realizado pelo motor será transformado em energia cinética de translação do centro de massa do veículo.

A utilização das medidas de avaliação económica pretendidas implicou considerar o valor do dinheiro no tempo. No caso da avaliação de projetos esse valor é estabelecido pela taxa mínima de atratividade, que representa o valor que a empresa deve atingir antes de gerar valor. A Bosch utiliza uma taxa mínima de atratividade de 9%.

O estudo foi realizado para uma duração de 5 anos. No final do 5º ano o AGV ainda possuirá um valor comercial. Por isso foi assumido que o valor residual do AGV será igual ao seu valor contabilístico, isto é, à componente não amortizada do investimento. Considerou-se que o AGV perde valor de forma constante ao

longo da sua vida útil a uma taxa de 15%/ ano (Donohue, 2013). Este estudo será realizado a preços constantes, pelo que os efeitos da taxa de inflação foram ignorados.

Ao longo deste capítulo realizaram-se várias considerações, estas considerações não irão afetar a viabilidade daquela que o estudo irá demonstrar com sendo a melhor alternativa a nível económico. Isto porque todas alternativas serão avaliadas segundo as mesmas considerações.

## 8.1 Configuração 1

Todos os fluxos monetários na Tabela 10 são apresentados em termos de poupança ou perda em relação à situação atual. Isto é, quando se diz que no ano 1 a mão-de-obra tem um valor positivo de 54.200,86€, isto significa que existe uma poupança de 54.200,86€ em relação ao sistema. Isto é o mesmo que dizer que com a configuração 2 os gastos com MDO são de 39.994,54 €/ano, e como no sistema atual se gastam 94.195,40 €/ano existe uma poupança de 54.200,86 €/ano. Da mesma forma, na Tabela 10 os custos de energia da configuração 1 serão maiores que os custos energéticos do sistema atual em cerca de 700€. Os dados apresentados são relativos a uma laboração em 3 turnos, daí que os custos de mão-de-obra sejam tão elevados.

Tabela 10- *Cash-flows* para a configuração 1

Configuração 1	Descrição	Anos					
		0	1	2	3	4	5
Poupança	MDO		54.200,86 €	54.200,86 €	54.200,86 €	54.200,86 €	54.200,86 €
	Renting Equipamento		9.984,00 €	9.984,00 €	9.984,00 €	9.984,00 €	9.984,00 €
	Valor Residual AGV						40.428,28 €
Perdas	AGV plus Battery	-91.115,16 €					
	Software, Infraestruturas	-56.070,87 €					
	Manutenção		-9.111,52 €	-9.111,52 €	-9.111,52 €	-9.111,52 €	-9.111,52 €
	Energia		-701,68 €	-701,68 €	-701,68 €	-701,68 €	-701,68 €
Cash Flows		-147.186,03 €	54.371,67 €	54.371,67 €	54.371,67 €	54.371,67 €	94.799,95 €
Taxa de Atratividade	9%						
Valor Atual	90.576,40 €						
Taxa Interna de Rendimento	29%						
Período de Recuperação	<4						

Ano	CashFlows Atualizados	CashFlow Acumulado
0	-147.186,03 €	-147.186,03 €
1	49.882,26 €	-97.303,77 €
2	45.763,54 €	-51.540,22 €
3	41.984,90 €	-9.555,32 €
4	38.518,26 €	28.962,94 €
5	61.613,46 €	90.576,40 €

De acordo como critério do valor presente trata-se de um projeto rentável e que possui um período de recuperação inferior a quatro anos. Calculando qual será o investimento máximo, no qual podemos incorrer, para que o *break- even point* seja inferior a 5 anos chega-se a um valor de 237.762,43 € Isto é, podemos investir até 237.762,43 € se quisermos recuperar o investimento em 5 anos. A partir dessa quantia o *break- even point* será superior a 5 anos.

## 8.2 Configuração 2

As diferenças entre as várias configurações estão sobretudo dependentes de dois fatores, o primeiro é o número de colaboradores. No caso da configuração 2 existe uma redução de 2 colaboradores por turno, aumentando largamente as poupanças em despesas relacionadas com a mão-de-obra. O segundo fator é a energia. Nesta situação como estamos a transferir movimentações previamente executadas por colaboradores, para o AGV é natural que se gaste mais energia sob a forma de eletricidade. Os restantes fatores são iguais para a configuração 1 e 2

Tabela 11- *Cash Flows* para a configuração 2

Solução AGV 2	Descrição	Anos					
		0	1	2	3	4	5
Poupança	MDO		91.435,40 €	91.435,40 €	91.435,40 €	91.435,40 €	91.435,40 €
	Renting Equipamento		9.984,00 €	9.984,00 €	9.984,00 €	9.984,00 €	9.984,00 €
	Valor Residual AGV						40.428,28 €
Perdas	AGV plus Battery	-91.115,16 €					
	Software, Infraestruturas	-56.070,87 €					
	Manutenção		-9.111,52 €	-9.111,52 €	-9.111,52 €	-9.111,52 €	-9.111,52 €
	Energia		-1.481,32 €	-1.481,32 €	-1.481,32 €	-1.481,32 €	-1.481,32 €
CashFlows		-147.186,03 €	90.826,57 €	90.826,57 €	90.826,57 €	90.826,57 €	131.254,85 €
Taxa de Atratividade	9%						
Valor Actual	232.373,25 €						
Taxa Interna de Rendimento	57%						
Período de Recuperação	<2						

Ano	CashFlows Atualizados	CashFlow Acumulado
0	-147.186,03 €	-147.186,03 €
1	83.327,12 €	-63.858,91 €
2	76.446,90 €	12.588,00 €
3	70.134,77 €	82.722,77 €
4	64.343,83 €	147.066,60 €
5	85.306,64 €	232.373,25 €

Esta solução é melhor do que a configuração 1 em todos os parâmetros de avaliação, valor presente, taxa interna de rentabilidade e período de recuperação. No entanto, é importante referir que a sua implementação exigirá alterações de *layout* nas áreas de MOE2, receção e reembalamento. E que para níveis de produção acima de 180.000 unidades será necessário investir na compra de mais um AGV ou aumentar a quantidade de resíduos transportados em cada *big-bag*. Para esta configuração o investimento máximo no qual podemos incorrer para que o *break-even point* seja inferior a 5 anos é de 379.559,28€

### 8.3 Análise SWOT do investimento em AGVs

Forças:	Fraquezas:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da produtividade da mão-de-obra;</li> <li>• Disponibilidade de funcionamento 24 horas, 7 dias por semana, todo o ano;</li> <li>• Controlo em tempo real da frota de AGV, com medidas de <i>performance</i> registadas diariamente.</li> <li>• Eliminação de 3 postos de trabalho;</li> <li>• Diminuição de custos de <i>renting</i>;</li> <li>• Aumento da segurança do armazém e diminuição de acidentes de trabalho;</li> <li>• Diminuição de defeitos causados por manuseamento impróprio de materiais;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de treinar os colaboradores que irão interagir diariamente com os equipamentos;</li> <li>• Necessidade de treinar e alocar um colaborador competente para ficar responsável pelo processo, que será o primeiro a responder em caso de problemas no sistema;</li> <li>• Alteração das infraestruturas; <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Implantação de <i>targets</i> refletos nas paredes do armazém (em caso da utilização da tecnologia laser)</li> <li>✓ Alterações no layout do armazém para acomodar viragens em U;</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Espaço para colocar uma unidade de controlo (frota com mais que um veículo) e um display que permitirá o controlo visual do processo;</li> </ul>
<p><b>Oportunidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento com capitais próprios;</li> <li>• Estabelecimento de parcerias importantes com <i>experts</i> na tecnologia;</li> <li>• Modernização dos métodos de movimentação permitirá a adição de tecnologias que poderão funcionar em simbiose como: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Smart Machines</i>;</li> <li>✓ <i>Internet of things</i>;</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Ameaças:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• O processo poderá potencialmente exigir veículos e <i>software</i> com elevado nível de especificação;</li> <li>• Obsolescência da tecnologia;</li> <li>• Dependência de tecnologia de terceiros;</li> <li>• Fornecedores geograficamente distantes;</li> <li>• Possibilidade de avarias súbitas que causarão a paragem do sistema e afetaram todo o processo a jusante.</li> </ul>

Existem ameaças que podem ser mitigadas se se estabelecerem planos de ação na eventualidade da sua ocorrência. Ameaça mais sonante em caso de projetos de automação e que mais intimida os decisores na hora de avançar com um projeto é: se o sistema avariar como proceder?

Após a instalação dos AGV existe um período em que os fornecedores garantem visitas diárias durante os primeiros dias de funcionamento para resolverem problemas que possam surgir. Contudo, chegará altura em que o cliente terá de tomar a total posse do sistema. Atualmente, grande parte dos fornecedores encontram-se a algumas horas de distância, o que significa que em caso de avaria o tempo de resposta poderá ser de horas ou até mesmo dias até o problema ficar resolvido. Uma das soluções é procurar fornecedores que possam garantir ação no menor tempo possível, isto considerando que os fornecedores mais próximos terão a tecnologia pretendida pela empresa. Existem atualmente seguradoras que fornecem seguros que protegem contra perdas de exploração por motivos como este. Poderá ser uma forma de mitigar o risco durante os primeiros anos de utilização, até a empresa adquirir o *know-how* e experiência para lidar com as avarias internamente. Outra alternativa será ter um plano interno de ação para a realização das atividades de forma manual. Ou seja, voltar à antiga forma de operação. Isto implica que se tenha de treinar colaboradores afetos a outras

atividades, para que em caso de avaria estes possam repartir a sua capacidade entre a sua atividade normal e a atividade de movimentação de *big-bags*. Esta solução permite a operacionalidade da fábrica em caso de avaria, nunca a 100%, mas uma redução do impacto será alcançada.

## 9. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

No início deste trabalho propôs-se a elaboração de um estudo da viabilidade funcional e económica da implementação de AGV's para movimentação de resíduos de produção e reembalamento. Estabeleceram-se várias fases de recolha de informação onde foram registadas todas as variáveis acerca do processo atualmente instalado. Recolheram-se dados sobre as quantidades de resíduos geradas, número de viagens efetuadas, tempos de execução de atividades de esvaziamento, e velocidades de movimentação.

A análise desses resultados confirmou que a área de reembalamento era crítica, representando cerca de 57% da totalidade de resíduos gerados na fábrica, sendo a única onde existem variações nas quantidades de detritos geradas ao longo do dia, com duas horas de criação de resíduos de maior intensidade, as 10:00 e as 14:00 horas. Com os dados obtidos expôs-se a existência de uma relação linear entre o número de unidades produzidas de produto-final e produto intermédio e a quantidade de resíduos criados. Mostrou-se ainda que o volume dos *big-bags* está a ser seriamente desaproveitado, utilizando-se cerca de 1/5 da capacidade existente em cada *big-bag*.

Após a obtenção de toda a informação necessária para a modelação do problema, iniciou-se a construção de um modelo do sistema atual no *software* SIMIO. A construção do modelo atual teve o intuito de validar o método de estudo utilizado. Comparando o resultado das simulações, com os dados obtidos através da observação direta do funcionamento do sistema foi possível validar o rigor do modelo relativamente à representação do comportamento do sistema real. O modelo apresentou erros não superiores a 3%. No entanto, isso não significa que a precisão do modelo seja de 97 %, não se pode trivializar a existência de erros associados à recolha de dados. O erro do modelo será sempre o somatório entre o erro inerente à recolha de dados e à discrepância entre o resultado das simulações e a informação resultante da observação direta. Durante a recolha de dados procurou-se fazer um número de observações por forma a obter dados com 95% de nível confiança e um erro de mais, ou menos 5%, portanto o modelo terá um desvio nunca inferior a 8 %.

O trabalho seguiu-se com adaptação do modelo atual às configurações com a utilização dos AGVs. Modelaram-se duas alternativas. A primeira, mais simples, passou por substituir o empilhador por um AGV que se desloca até ao *buffer* intermédio ou receção sempre que lá exista pelo menos um *big-bag*. Com esta configuração maximizou-se a quantidade de *big-bags* transportada em cada viagem, permitindo que o AGV num mesmo ciclo possa visitar tanto a receção como o *buffer* intermédio. Esta

solução elimina o operador que conduz o empilhador e o próprio empilhador, reduzindo os custos com a mão-de-obra e *renting* do equipamento.

A segunda configuração, mais complexa, passa pela substituição do empilhador e ainda pela eliminação do colaborador do reembalamento. Nesta alternativa deixa de haver a necessidade de existência de um *buffer* intermédio. O AGV irá passar por cada posto de reembalamento ou conferência levantando *big-bags* cheios, ou desatrelando vazios, conforme as necessidades de cada posto. Nesta configuração é essencial que o AGV transporte a maior quantidade possível de *big-bags* em cada viagem, uma vez que se passou de um sistema com 3 colaboradores alocados para outro, com apenas 1 colaborador que somente despenderá 8% do seu tempo com este processo. O número de *big-bags* transportado foi maximizado forçando o AGV a deslocar-se a todos as zonas de geração de resíduos, Receção, o MOE2 e o Reembalamento, em cada viagem. Isto é, ao longo do percurso do AGV existem 2 cruzamentos, o sistema foi modelado para que sempre que o AGV chegue a uma destas intersecções, com capacidade de transporte disponível, verifique a existência de *big-bags* para serem levantados nas zonas contíguas a esse cruzamento. O resultado é uma configuração muito semelhante a um veículo a deslocar-se dentro de um circuito fechado. Em termos de desempenho a configuração 2 é aquela que apresenta melhores resultados para os níveis de produção atuais, elimina a necessidade de 12m<sup>2</sup> de armazém atualmente utilizados pelo *buffer*, elimina as distâncias percorridas a pé pelos operadores, e não apresenta perdas por incapacidade. A nível económico esta solução é também a mais viável apresentando um valor presente de 232.373,25€ e um período de recuperação inferior a 2 anos. No entanto, apesar de ser a solução mais lógica a nível económico, esta configuração começará a apresentar perdas por incapacidade de transporte se os níveis de produção aumentarem em cerca de 50%. Se isso ocorrer mais um AGV terá de ser adquirido, ou a quantidade de resíduos transportada por cada *big-bag* terá de aumentar. Esta solução também exigirá alterações no *layout* de MOE 2, Reembalamento, e Receção. Este facto pode abalar a imagem desta proposta perante o agente de decisão.

A nível geral este trabalho permitiu perceber que a utilização de AGVs é facilmente viável economicamente. Os custos de investimento por veículo podem parecer avultados, mas quando existe a substituição de pessoas por máquinas é apenas uma questão de tempo até que o investimento seja pago, neste caso, para qualquer uma das propostas o tempo de recuperação do investimento é sempre inferior a 4 anos. Isto porque uma máquina pode trabalhar três turnos, onde seriam necessárias 3 pessoas e porque o custo de manutenção do AGV é consideravelmente inferior ao valor dos salários dos colaboradores. A nível funcional a situação complica-se, a polivalência de um operador não é

correspondida e satisfeita pela de um AGV, pelo que a complexidade do transporte pode ser limitadora em casos muito específicos. No entanto, para a maioria das situações o AGV será capaz de satisfazer os requisitos de movimentação com mais ou menos compromisso. O estado atual da tecnologia permite prever, principalmente pelo desenvolvimento de tecnologias como o reconhecimento de imagem e de identificação de padrões, que os AGVs serão a norma no que toca a movimentação de materiais e verão as suas características superarem em todos os aspetos as vantagens detidas atualmente por, por exemplo empilhadores manualmente operados.

Uma questão pertinente que se coloca com a automação de processos é qual será o futuro dos sistemas económicos «quando todos os trabalhos de produção e movimentação forem realizados por máquinas. É de esperar que a mão-de-obra não qualificada, aquela que normalmente realiza este tipo de atividades, fique sem emprego, o que aumentará a pressão sobre esses sistemas, o que os peritos apontam como o início do fim da estrutura dos apoios sociais, como os serviços nacionais de saúde e segurança social. O ideal é que por cada posto de trabalho eliminado pela automação outro seja criado. Até um certo ponto isto é compreensível. A automação exige manutenção realizada por especialistas, os robôs executam programas desenvolvidos por programadores, são necessários engenheiros e cientistas para criarem as máquinas. No entanto, a evolução pode ocorrer a um ritmo muito superior à capacidade de adaptação da sociedade.

É de esperar que trabalhos onerosos e perigosos sejam realizados por robôs e máquinas e isso só beneficiará a sociedade. Mas, eventualmente, a tecnologia chegará a um ponto em que a máquina ultrapassará as capacidades mesmo do indivíduo mais inteligente. Este assunto levanta questões éticas e morais que necessitarão de debate, e que porventura culminarão no aparecimento de leis que regulem o uso de robôs e da inteligência artificial.

### 9.1 Limitações do projeto de investigação

As principais limitações de um projeto como o que foi apresentado prendem-se com a multidisciplinariedade necessária para abordar este tema de uma forma holista. A automação é uma disciplina que envolve muitas áreas de estudo. Por este motivo, o espetro deste trabalho limitou-se a analisar se a implementação de AGVs é funcional e economicamente viável. Como é obvio, muitas perguntas ficaram por responder. A título de exemplo, não foi proposta nenhuma solução que explicasse como é que o AGV se irá acoplar aos *big-bags*, ou mesmo como é que os vai desatrelar. Existem uma miríade de perguntas que ficaram sem resposta, não porque se estivesse alheio às

mesmas, mas porque simplesmente se reconheceu que seria necessário uma equipa multidisciplinar para responder a essas questões com rigor.

Apesar de tudo, os objetivos deste trabalho, de uma forma geral, foram atingidos. Conseguiu-se até identificar problemas, cujo impacto, até à data tinha permanecido desconhecido (desaproveitamento do volume dos *big-bags*).

## 9.2 Sugestões para trabalho futuro

Naturalmente que o trabalho futuro seria implementar os AGVs como método de transporte dos resíduos. Terão de ser escolhidos os fornecedores que possuem os equipamentos pretendidos, e que serão capazes de prestar um serviço de implementação e manutenção satisfatório. O que se pretende nesta fase seria consultar especialistas na área e perceber como é que as propostas apresentadas poderão ser transferidas para a realidade. Até ao momento responderam-se às questões, do que implementar, e se é possível. O próximo passo é responder ao como. O trabalho futuro é, portanto, um trabalho mais técnico e de engenharia do sistema.

Foram propostas duas configurações possíveis. A que apresenta mais ganhos é também mais arriscada a nível de implementação. Aconselha-se que em caso de incerteza dos agentes de decisão e das equipas de trabalho que usufruirão do sistema, se pondere numa implementação provisória da configuração 1, para que se ganhe mais experiência. Mais tarde poderão avançar para a configuração proposta nesta dissertação, isto é a Configuração 2.

Propõe-se ainda uma análise do processo de reembalamento de matérias-primas, por forma alterar os procedimentos de desmontagem de caixas de cartão e aumentar o volume do *big-bag* ocupado com resíduos. Isto reduziria a importância do sistema de movimentação de resíduos, dando folgas para adaptação a novas tecnologias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

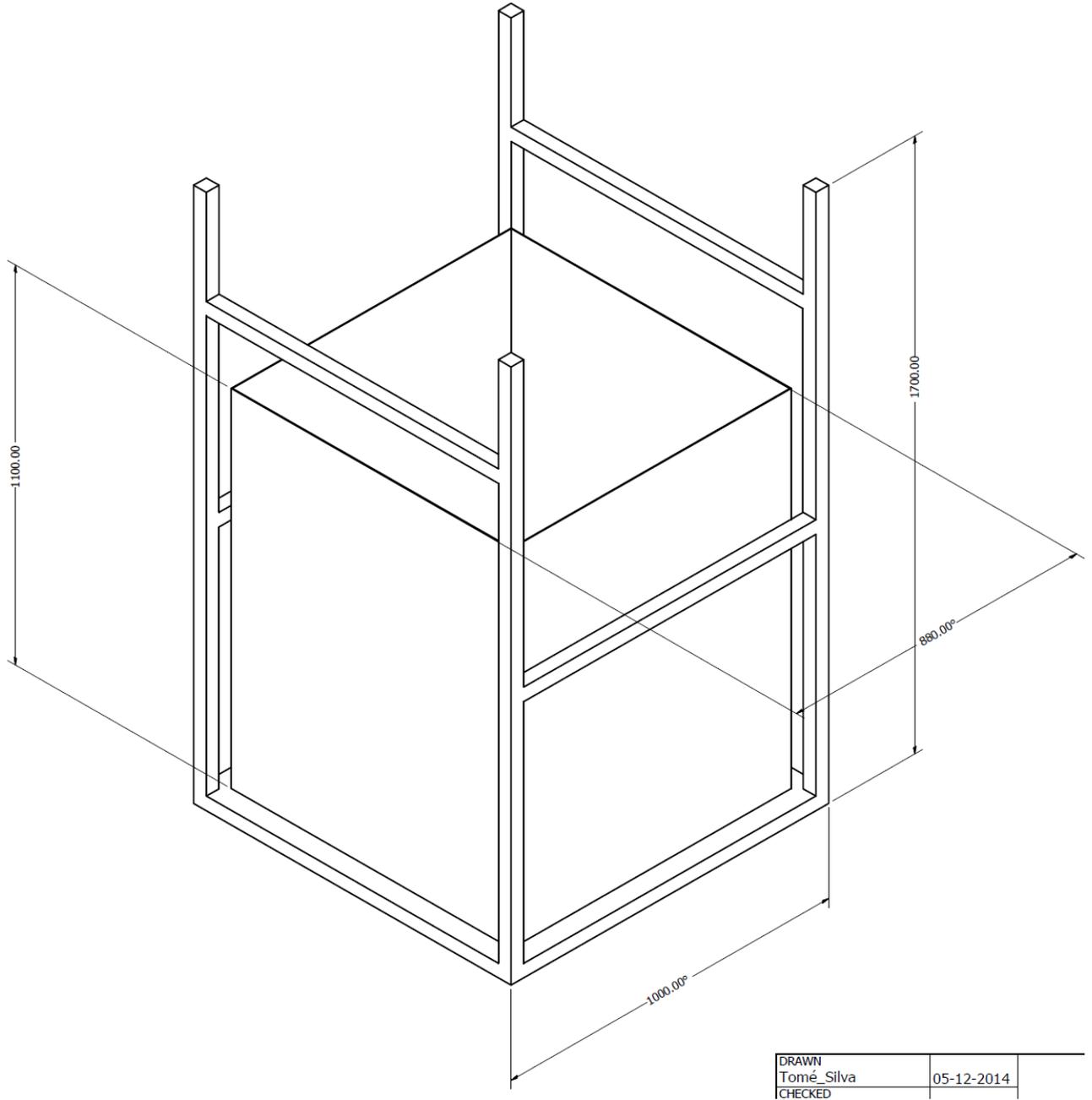
- Akturk, M. S., & Yilmaz, H. (1996). Scheduling of automated guided vehicles in a decision making hierarchy. *International Journal of Production Research*, 34(2), 577-591. doi:10.1080/00207549608904920
- Bakst, J., Hoffner, J., & Jacoby, K. (1996). Evaluation of a distribution center tow-line material handling system through simulation modeling. *1996 Winter Simulation Conference Proceedings*, 1099-1106.
- Balci, O. (1998). *Verification, Validation, and Testing*.
- Banks, J. (1998). *Principles of Simulation*: Wiley-Interscience.
- Bartholdi, J. J., & Platzman, L. K. (1989). DECENTRALIZED CONTROL OF AUTOMATED GUIDED VEHICLES ON A SIMPLE LOOP. *IEEE Transactions*, 21(1), 76-81. doi:10.1080/07408178908966209
- Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., & Weimer, D. (2010). *Cost-Benefit Analysis* (4th ed.): Prentice Hall.
- Castleberry, G. A. (1991). *Automated Guided Vehicle Handbook: Handbook for the Selection of Automated Guided Vehicle Systems*: AGV Decisions Inc., U.S.
- Chang, W. K., & Tanchoco, J. M. A. (1991). Conflict-free shortest-time bi-directional AGV routing. *International Journal of Production Research*(29).
- Chen, J., Zhao, P., Liang, H., & Mei, T. (2014). Motion Planning for Autonomous Vehicle Based on Radial Basis Function Neural Network in Unstructured Environment. *Sensors*, 14(9), 17548-17566. doi:10.3390/s140917548
- Cooper, N. G., Eckhardt, R., & Shera, N. (1989). *From Cardinals to Chaos: Reflection on the Life and Legacy of Stanislaw Ulam*: Cambridge University Press.
- Corporation, J. *Standard Tugger/Tow Automatic Guided Vehicle*. Retrieved from <http://www.jbt-agv.com/en/Solutions/Products/Tugger-Automatic-Guided-Vehicles-AGVs/Standard-Tugger-Automatic-Guided-Vehicle>
- Dai, J. B., & Lee, N. K. S. (2012). Economic feasibility analysis of flexible material handling systems: A case study in the apparel industry. *International Journal of Production Economics*, 136(1), 28-36. doi:10.1016/j.ijpe.2011.09.006
- Dias, L., Pereira, G., Vik, P., & Oliveira, J. (2011). *Discrete Simulation Tools Ranking—a Commercial Software Packages comparison based on popularity*. Paper presented at the ISC 2011—9th Industrial Simulation Conference, Venice, Italy

- Donohue, S. (2013). How to beat price depreciation when choosing a new car. *BBC*.
- EGBELU, P. J. (1987). The use of non-simulation approaches in estimating vehicle requirements in an AGV based transport system. *Material Flow*, 4, 17-32.
- Fenies, P., Gourgand, M., & Tchernev, N. (2006, Oct. 2006). *Combined Performance Evaluation and Economic Analysis for Guided Path Layout Choice of Unit load AGVS*. Paper presented at the Service Systems and Service Management, 2006 International Conference on.
- Francis, R. L., Jr., F. M., & White, J. A. (1991). *Facility Layout and Location: An Analytical Approach (2nd Edition)*: Prentice Hall.
- Ganesharajah, T., Hall, N. G., & Sriskandarajah, C. (1998). Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems. *Annals of Operations Research*, 76, 109-154. doi:10.1023/a:1018936219150
- Gaskins, R. J., & Tanchoco, J. M. A. (1987). FLOW PATH DESIGN FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEMS. *International Journal of Production Research*, 25(5), 667-676. doi:10.1080/00207548708919869
- Goetz, W. G., & Egbelu, P. J. (1990). GUIDE PATH DESIGN AND LOCATION OF LOAD PICK-UP DROP-OFF POINTS FOR AN AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEM. *International Journal of Production Research*, 28(5), 927-941. doi:10.1080/00207549008942764
- Gotting, H. H. (2000). Automation and Steering of Vehicles in ports. *Port Technology International*(10).
- HAMMOND, L. (1986). *AGVs at work*. United Kingdom: IFS Publications Ltd.
- Hardman, J. (2015). Galaxy Simulations Take On Ancient Questions.
- Hurley, R., Coffman, P., Dixon, J., & Walacavage, J. (1987, Mar 1987). *The use of physical model simulation to emulate an AGV material handling system*. Paper presented at the Robotics and Automation. Proceedings. 1987 IEEE International Conference on.
- Jefferson, T., Rangaswami, M., & Stoner, G. (1996). Simulation in the design of ground-based intrabay automation systems. *1996 Winter Simulation Conference Proceedings*, 1008-1013.
- Mahadevan, B., & Narendran, T. T. (1993). ESTIMATION OF NUMBER OF AGVS FOR AN FMS - AN ANALYTICAL MODEL. *International Journal of Production Research*, 31(7), 1655-1670. doi:10.1080/00207549308956815
- Malmborg, C. J. (1991). TIGHTENED ANALYTICAL BOUNDS ON THE IMPACT OF DISPATCHING RULES IN AUTOMATED GUIDED VEHICLE SYSTEMS. *Applied Mathematical Modelling*, 15(6), 305-311. doi:10.1016/0307-904x(91)90045-q
- Maxwell, W. L., & Muckstadt, J. A. (1982). DESIGN OF AUTOMATIC GUIDED VEHICLE SYSTEMS. *lie Transactions*, 14(2), 114-124. doi:10.1080/05695558208975046

- Miranda, P. (2009). *Modelos de simulação e otimização de um sistema de transporte de paletes com AGVs*. (Mestrado), Universidade do Minho.
- Mishan, E. J., & Quah, E. (2007). *Cost-Benefit Analysis*: Routledge.
- Mitchell, P. E. (1998). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook Vol 9: Material and Part Handling in*: Society of Manufacturing.
- Mohler, B. J., Thompson, W. B., Creem-Regehr, S. H., Pick, H. L., Jr., & Warren, W. H., Jr. (2007). Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed. *Exp Brain Res*, 181(2), 221-228. doi:10.1007/s00221-007-0917-0
- Nas, T. F. (1996). *Cost-Benefit Analysis: Theory and Application*: SAGE Publications, Inc.
- Robertson, G. L. (2012). *Food Packaging: Principles and Practice, Third Edition*: CRC Press.
- Rohrer, M. (1998). *Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems*: Wiley-Interscience.
- Sargent, R. G. (2011, 11-14 Dec. 2011). *Verification and validation of simulation models*. Paper presented at the Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter.
- Saunders, M. N. K., Thornhill, A., & Lewis, P. (2009). *Research Methods for Business Students (5th Edition)*: Prentice Hall.
- Toni, D., & Tonchia, S. (1998). Manufacturing flexibility: a literature review. *International Journal of Production Research*, 36(6).
- Ullrich, G. (2014). *Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications* (P. A. Kachur, Trans.): Springer.
- Vis, I. F. A. (2006). Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 677-709. doi:10.1016/j.ejor.2005.09.020
- Wexelblat, R. L. (1981). *History of Programming Languages (Acm Monograph Series)*: Academic Press.
- Wilson, J. R., Goldsman, D., & Nance, R. E. (2010). *A Brief History of Simulation Revisited*. Paper presented at the Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference.



ANEXO I – DESENHO TÉCNICO E DIMENSÕES DO *BIG-BAG EM MILÍMETROS*





ANEXO II – QUANTIDADE MÉDIA DE RESÍDUOS GERADA POR ÁREA POR HORA

Horas	Média Horária (Nº Big-Bag)	Percentagem	Intervalo entre cada Big-Bag (mins)
09:00			
10:00	3	14%	20
11:00	3	14%	20
12:00	3	14%	20
13:00	3	14%	20
14:00	3	14%	20
15:00	2	<10%	20
16:00	2	10%	20
17:00	2	10%	20
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>

*Big-Bags* enchidos por hora no Armazém SMD

Horas	Média Horária (Nº Big-Bag)	Percentagem	Intervalo entre cada Big-Bag (mins)
09:00			
10:00	2	12%	30
11:00	2	12%	30
12:00	2	12%	30
13:00	2	12%	30
14:00	2	12%	30
15:00	2	12%	30
16:00	3	18%	20
17:00	2	12%	30
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>	

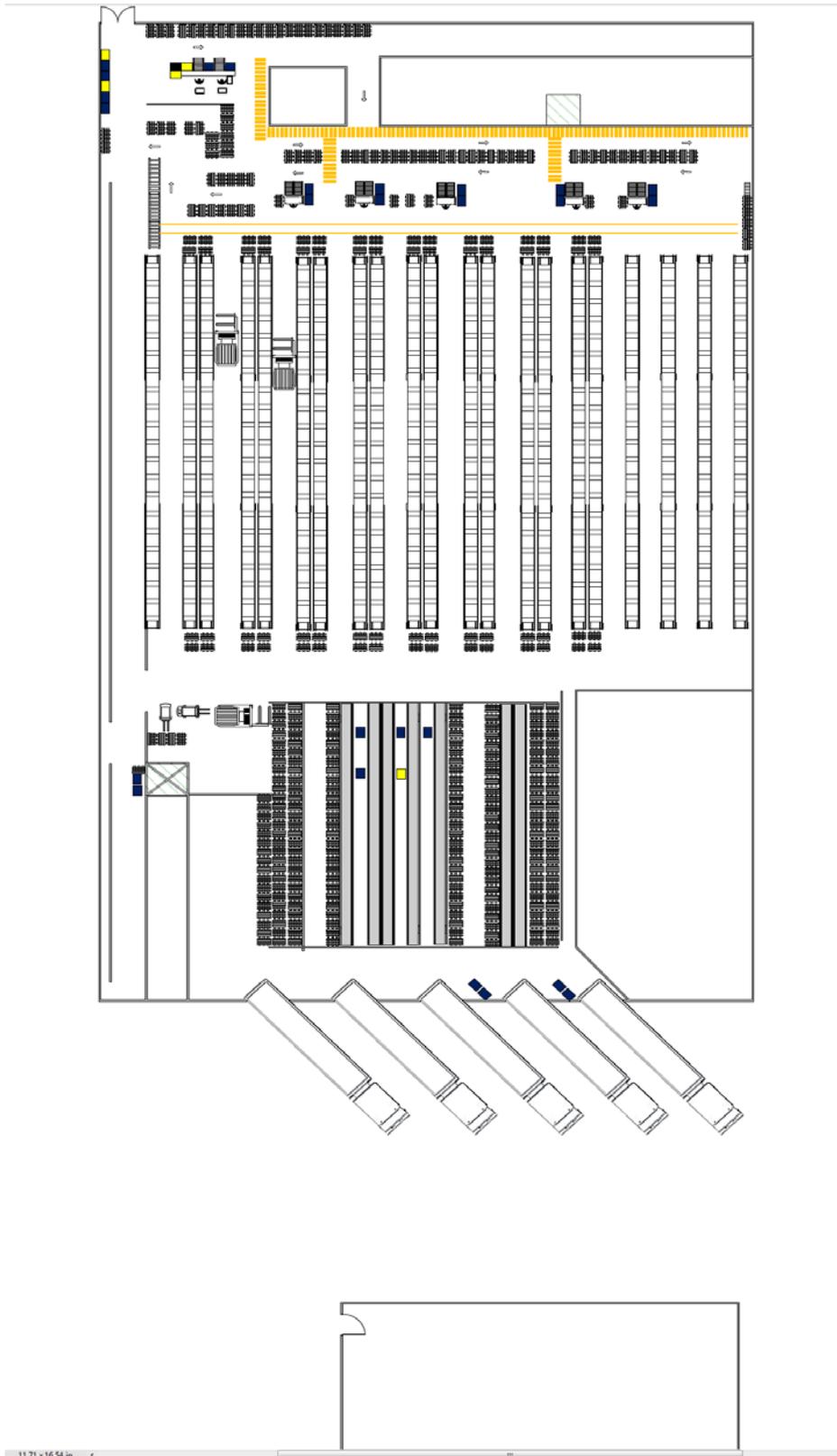
*Big-Bags* enchidos por hora em MOE 2

Horas	Média Horária (Nº Big-Bag)	Percentagem	Intervalo entre cada Big-Bag (mins)
09:00			
10:00	5	15%	12
11:00	6	18%	10
12:00	4	12%	15
13:00	5	15%	12
14:00	4	12%	15
15:00	3	9%	20
16:00	4	12%	15
17:00	3	9%	20
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100%</b>	

*Big-Bags* enchidos por hora na Recepção



ANEXO III– LAYOUT DO ARMAZÉM



11.71 x 16.54 in



ANEXO IV-GRÁFICO DA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS PARA OS VÁRIOS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO

