Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Francisca da Silva Carvalho Costa

Tecnologias de condução autónoma - estratégia de implementação na área de logística de uma empresa do setor automóvel

dezembro de 2021

Tecnologias de condução autónoma - estratégia de implementação na área de logística de uma empresa do setor automóvel

Ana Francisca da Silva Carvalho Costa

UMinho | 2021

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Francisca da Silva Carvalho Costa

Tecnologias de condução autónoma - estratégia de implementação na área de logística de uma empresa do setor automóvel

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Maria Sameiro Carvalho
Professora Doutora Paula Varandas Ferreira

dezembro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

AGRADECIMENTOS

Ao longo deste projeto de dissertação, e do meu percurso académico, foram várias as pessoas que me ajudaram, partilharam conhecimentos comigo e se disponibilizaram para me formar pessoal, académica e profissionalmente. Por ser exaustivo enumerá-las a todas, redijo estas palavras como demostração da minha profunda gratidão.

A algumas pessoas e entidades, pelo carinho especial que me ofereceram, gostaria de lhes agradecer particularmente. Assim:

À Universidade do Minho, no geral, e à Escola de Engenharia, em particular, agradeço estes 5 anos de formação académica e pessoal.

Ao corpo docente da Universidade do Minho, agradeço pelo compromisso que têm para com o ensino e para com os estudantes. Obrigada por terem dado sempre o vosso melhor!

Às Professoras Doutoras Sameiro Carvalho e Paula Ferreira, que aceitaram orientar a minha dissertação de mestrado, agradeço a partilha de conhecimentos, as sugestões que valorizam este trabalho e a disponibilidade para a orientação.

Ao professor Marcelo Henriques, que se disponibilizou para esclarecer dúvidas e ajudar no desenvolvimento do modelo de simulação descrito neste trabalho, agradeço a atenção no trato, a partilha de conhecimento, a prontidão e a disponibilidade.

Ao Eng.º Bruno Sousa, que orientou o meu trabalho na empresa, agradeço pelo apoio, pela disponibilidade para a orientação, pelas sugestões e conselhos permanentes que valorizaram o trabalho desenvolvido, e por me ter formado enquanto pessoa e profissional.

Ao Eng.º Pedro Miranda, agradeço o cuidado no trato, o acolhimento na equipa, os desafios propostos e a disponibilidade para me formar pessoal e profissionalmente.

Aos Eng.os Carlos Neto, Carlos Pinto, Diogo Silva, Eduardo Moreira, João Monteiro, Rodrigo Antunes e Rui Oliveira, agradeço pela integração na equipa, pela simpatia, pela ajuda e pela disponibilidade.

Ao Eng.º Joaquim Ascenção, dirijo um agradecimento pela ajuda disponibilizada e pelo contributo para a minha formação.

À Continental Mabor – Indústria de Pneus, agradeço a oportunidade que me foi concedida, acolhendo este projeto de dissertação e potencializando aprendizagens e experiências enriquecedoras.

À UDREAM, agradeço por me ter integrado no seu plano de mudar o mundo, e por me ter facultado aprendizagens e experiências verdadeiramente bonitas.

Aos meus amigos Rita, Catarina, Carla, Carla Meira, Rui, Isac, Zé, Jorge, Natacha, Ana Pinto e André, agradeço pelo companheirismo ao longo destes 5 anos e dos muitos que virão.

À minha avó Maria, ao meu avô Costa, à madrinha Lúcia, à tia Paula, ao padrinho Moisés, ao tio Berto, à tia Xandra, ao Paulinho e à amiga Bia, pelo apoio, pela confiança, pelos exemplos e pelos conselhos, um muito obrigada!

Ao meu avô Quim, por ter sido (e ser) inspiração e palavras sábias, um obrigada com saudade, sabendo que hoje estará certamente orgulhoso!

Ao Nuno, pela paciência, pela ajuda, pelo apoio, por ser exemplo e por ser companheiro de todas as horas, um obrigado especial, e com muito carinho.

Ao meu irmão, que me inspira, me apoia, me desafia e é pedra basilar da minha essência, um obrigado muito grande.

Por último, aos meus pais, que são os melhores do mundo, e que me deram educação, se esforçaram e esforçam todos os dias por nós, apostaram na minha formação, apoiaram-me, ajudaram-me, incentivaram-me e me têm sempre dado asas para voar, um agradecimento não chega, mas sempre aquece o coração, por isso, obrigada!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

O presente projeto de dissertação de tema "Tecnologias de condução autónoma – estratégia de implementação na área de logística de uma empresa do setor automóvel" foi desenvolvido em contexto industrial, na empresa Continental Mabor (CMIP), localizada em Lousado. Esta dissertação apresenta, no seu conteúdo, uma análise da viabilidade e uma estratégia de implementação para introduzir veículos de condução autónoma (AGVs) para assegurar os fluxos internos de materiais, na fábrica da CMIP.

O projeto iniciou com uma identificação e estudo dos processos internos que, à data, recorriam a pessoas para efetuar o transporte de materiais. Foram identificados e caracterizados os pontos de origem e de destino, as tarefas executadas, as cargas movidas, e outros dados relevantes para a caracterização do sistema de transportes, assim como critérios e pré-requisitos para a implementação desta tecnologia. Foi selecionado, como estudo de caso, a movimentação de produto acabado desde as células de paletização até ao despacho para o armazém de produto acabado.

No decorrer do caso de estudo, foram estimados o número de AGVs necessários (por método analítico e com recurso a simulação computacional), propostos novos fluxos logísticos e propostas reestruturações ao *layout*, traduzindo-se na criação de 2 cenários alternativos de automatização. Os 2 cenários (A e B) foram comparados através de um estudo económico do projeto, tendo sido utilizados como indicadores financeiros o IRR (*Internal Rate Return*), o NPV (*Net Present Value*) e o *Payback Time*. Ambos os cenários se apresentaram economicamente viáveis, contudo, o projeto selecionado foi o cenário B, pois embora tenha um investimento inicial mais elevado, o retorno do mesmo inicia-se mais cedo, exige alterações menos significativas no *layout* e demonstra-se mais flexível para adaptações a cenários futuros. Estima-se que a implementação deste cenário proporcionará poupanças na ordem dos 660 000€/ano e que o investimento seja recuperado em 2 anos e 7 meses. Por último, foi definido um cronograma de implementação deste cenário, a 2 anos. Estima-se que no segundo ano do projeto, haja já um saldo positivo (236 000€). Finalmente, esta dissertação apresenta o trabalho realizado para traçar um *roadmap* de implementação de AGVs no domínio do projeto *intelligent Tire intralogistics* (iTi), que visa tornar a fábrica da CMIP na primeira totalmente automatizada ao nível da logística interna.

PALAVRAS-CHAVE

AGVs, Análise de Projetos, Indústria 4.0, Logística 4.0, Veículos Guiados Autonomamente

ABSTRACT

This dissertation project entitled "Autonomous driving technologies – implementation strategy in the logistics area of an automotive company" was developed in an industrial context, at Continental Mabor (CMIP), located in Lousado. This dissertation presents an feasibility analysis and an implementation strategy for introducing autonomous guided vehicles (AGVs) to ensure the internal flows of materials in the CMIP plant.

The project began with an identification and study of internal processes that, at the time, used people to transport materials. The points of origin and destination, the tasks performed, the loads moved, and other relevant data for the characterization of the transport system were identified and characterized. Criteria and prerequisites for the implementation of this technology were also defined. It was selected, as a case study project, the movement of finished goods from the palletizing cells to dispatch to the finished goods warehouse.

During the case study, the number of AGVs needed was estimated (by analytical method and using computer simulation), new logistical flows and layout restructuring were proposed, resulting in the projection of 2 alternative automation scenarios. The 2 scenarios (A and B) were compared through an economic study of the project where Internal Rate Return (IRR), Net Present Value (NPV) and Payback Time were used as financial indicators. Both scenarios were economically viable, however, the selected scenario was scenario B, because, although it has a higher initial investment, its payback starts earlier, requires less significant changes in the layout and is more flexible for adaptations to future scenarios. It is estimated that the implementation of this scenario will provide savings of around 660 000€/year. The investment is expected to be recouped in 2 years and 7 months. A 2-year implementation schedule for this scenario was also defined. It is estimated that in the second year of the project, there will be a positive balance (236 000€).

Finally, this dissertation presents the work carried out to draw a roadmap for the implementation of AGVs in the domain of the intelligent Tire intralogistics (iTi) project, which aims to make the CMIP plant the first fully automated in terms of internal logistics.

KEYWORDS

AGVs, Autonomous Guided Vehicles, Industry 4.0, Logistics 4.0, Project Analysis

ÍNDICE

Agradecimentos iii
Resumo vi
Abstract vii
Índice viii
Índice de Figuras xi
Índice de Tabelas xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos 1
1. Introdução 4
1.1 Enquadramento Conceptual 4
1.2 Objetivos 6
1.3 Metodologia 7
1.4 Estrutura da Dissertação 8
2. Revisão da Literatura 10
2.1 A 4ª Revolução Industrial 10
2.1.1 Tecnologias e princípios da Indústria 4.0 11
2.2 Logística 14
2.2.1 Diferentes modos de atuação da logística 15
2.2.2 Logística na nova era industrial 16
2.2.3 *Lean Manufacturing* e *Lean Logistics* na Indústria 4.0 18
2.3 *Autonomous Guided Vehicles* 19
2.3.1 Tarefas de um AGV 21
2.3.2 Tipos de AGV 23
2.3.3 Vantagens e desvantagens do uso de veículos guiados autonomamente 27
2.3.4 Estado de arte da aplicação de AGVs em empresas do setor automóvel 29
2.3.5 Roadmap para a implementação de tecnologias de navegação autónoma 31
2.3.6 Valoração de projetos de implementação de soluções de condução autónoma 33
2.3.7 Dimensionamento de sistemas de AGVs com recurso a métodos de simulação gráfica . 35
2.4 Reflexão sobre a revisão da literatura 35

3. Apresentação da empresa 37
3.1 O grupo Continental 37
3.2 A Continental Mabor 38
3.2.1 Estrutura Organizacional 39
3.3 O Pneu 40
3.4 Processo produtivo 41
3.4.1 Misturação 41
3.4.2 Preparação a quente e a frio 42
3.4.3 Construção 42
3.4.4 Vulcanização 43
3.4.5 Inspeção Final 43
4. Descrição e análise do sistema de transportes 44
4.1 Motivação para a realização do trabalho e metodologia adotada 44
4.2 Levantamento dos processos internos que recorrem a pessoas para transporte de produtos e semiprodutos 45
4.3 Caso de Estudo na Inspeção Final 53
4.3.1 *Overview* do processo na Inspeção Final 53
4.3.2 Transporte Inspeção Final: caracterização da situação atual 57
4.3.3 Ala Oeste vs Ala Este 58
4.3.4 Descrição do processo de transporte na ala Este 59
4.3.5 Síntese caracterização da situação inicial 64
5. Projeto piloto: Proposta de automatização dos transportes na Inspeção Final 66
5.1 Requisitos técnicos da solução: seleção do AGV para a Continental Mabor 66
5.2 Proposta de novo *layout* 66
5.3 Cálculo analítico do número de veículos necessários 71
5.4 Análise do desempenho do sistema de AGVs com recurso ao *software* de simulação computacional Simio 77
5.4.1 Explicação do modelo de simulação do sistema de AGVs 78
5.4.2 Resultados do sistema de simulação 82
5.5 Análise crítica ao número de AGVs necessários: comparação dos métodos 83

5.6 Estudo económico do projeto de automatização dos transportes 84
5.6.1 Benefícios esperados 84
5.6.2 Investimento associado à compra dos AGVs 86
5.6.3 Custos de operação do sistema de AGVs 87
5.6.4 Custos adicionais 87
5.6.5 Poupanças Anuais 87
5.6.6 Avaliação económica do projeto 90
5.7 Plano de implementação 92
5.8 Análise crítica ao valor acrescentado das atividades com a implementação do projeto piloto 94
5.9 Análise crítica às questões de investigação 96
5.10 Limitações do caso de estudo 97
6. Projeto iTi – *inteligent Tire intralogistics* 98
7. Conclusões e Trabalho Futuro 101
7.1 Conclusões 101
7.2 Evidências aferidas 103
7.3 Sugestões para trabalho futuro 103
Referências Bibliográficas 105
Apêndice I - Registo do diagnóstico dos transportes na fábrica da Continental Mabor 114
Apêndice II - Estabelecimento de prioridades de automatização 118
Apêndice III - Registo de observações na Inspeção Final: estudo dos tempos e recolha de dados 124
Apêndice IV - Cálculo analítico do número de AGVs 132
Apêndice V - Processos criados para a modelação do sistema de AGVs no *software* Simio 133
Apêndice VI - Planeamento do projeto com recurso ao *MS Project* 140
Apêndice VII - Projeto iTi 141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do papel da Logística numa empresa 15
Figura 2 - Sistema de AGVs 20
Figura 3 - *Piggyback* AGV 24
Figura 4 - AGV Empilhador 24
Figura 5 - *Counterbalance Forklift* AGV 24
Figura 6 - AGV Rebocador 25
Figura 7 - *Underride* AGV 25
Figura 8 - *Assembly* AGV 25
Figura 9 - AGV para transporte de cargas pesadas 25
Figura 10 - Mini-AGVs 26
Figura 11 - *People Mover* AGV 26
Figura 12 - AGV de exterior 26
Figura 13 - Exemplo de AGV com amarras para segurar grandes rolos 27
Figura 14 - AGV desenhado para transportar cargas invulgares 27
Figura 15 - Fábrica de pneus da Continental em Lousado (Marques, 2020) 38
Figura 16 - Diferentes marcas de pneus produzidas na CMIP 38
Figura 17 - Principais clientes de Equipamento de Origem 39
Figura 18 - Organigrama da Empresa 39
Figura 19 - Composição de um pneu (Adaptado de Uniroyal, n.d.) 40
Figura 20 - Misturação 42
Figura 21 - Parque de talões na preparação 42
Figura 22 - Pneu em cru na construção 43
Figura 23 - Prensas na vulcanização 43
Figura 24 - Inspeção Final 43
Figura 25 - Divisão das unidades fabris 46
Figura 26 - Marcação das áreas onde foram analisados transporte de materiais, no piso 0 47
Figura 27 - Identificação das áreas onde foram analisados transportes de materiais, no piso 1 47
Figura 28 - Análise SWOT para avaliação da zona “ACS1” 49
Figura 29 - Priorização das áreas suscetíveis a automatização 52
Figura 30 - Layout geral da fábrica, com "*highlight*" da divisão da Inspeção Final 53

Figura 31 - Ilustração da localização do cais de despacho na Inspeção Final e do Armazém de Produto Acabado (Adaptado de Google Earth, n.d.) 54
Figura 32 - *Layout* da Inspeção Final I com a marcação de fluxos 55
Figura 33 - Disposição das paletes no camião 56
Figura 34 - Exemplo de organização de uma fila na zona de preparação para embarque 56
Figura 35 - Classificação das tarefas quanto ao seu valor para o cliente 63
Figura 36 - Proposta de *layout* para segregação de rotas 68
Figura 37 - Proposta de *layout* com conveyors 69
Figura 38 - *Conveyor* desenhado para o cenário A, com recurso ao *software* Inventor 69
Figura 39 - Proposta de *layout* com array de posições 70
Figura 40 - Exemplo de *dock station* com marcação em chão para o AGV entregar material 71
Figura 41 - Exemplo de *dock station* com calhas 71
Figura 42 - Imagem ilustrativa de um dispensador de paletes, com intervenção de um AGV 71
Figura 43 - Ilustração da folha de Excel para introdução das informações recolhidas junto do fornecedor 74
Figura 44 - Ilustração da folha de Excel para cálculo analítico do número de AGVs 74
Figura 45 - Cálculo do tamanho requerido para o corredor de circulação 76
Figura 46 - Análise de sensibilidade ao efeito dos fatores fe e fb na obtenção do número de AGVs necessários 77
Figura 47 - Entidades *Truck*, *Pallet* e *Tire* no modelo de simulação Simio 78
Figura 48 - *Source* HBS no modelo de simulação Simio 79
Figura 49 - Ilustração da *source* do tipo "Source_Camiões" e da entidade do tipo "Truck_Entity" 79
Figura 50 - Ilustração da *source* do tipo *Buffer* para gerar entidades do tipo *Pallet* 79
Figura 51 - *Combiners* do tipo paletizador, no modelo de simulação Simio 80
Figura 52 - *Combiners* do tipo *Truck*, no modelo de simulação Simio 80
Figura 53 - *Vehicles* no modelo de simulação Simio 80
Figura 54 - Visão holística do modelo de simulação 81
Figura 55 - Resultados obtidos por simulação do sistema de AGVs, durante um período de 8 horas, com recurso ao *software* Simio 82
Figura 56 - Resultados obtidos por simulação do sistema de AGVs, durante um período de 1 hora, com recurso ao *software* Simio 83
Figura 57 - Ilustração do cálculo dos custos e benefícios do cenário A 88

Figura 58 - Ilustração do cálculo dos custos e benefícios do cenário B 89
Figura 59 - Cronograma de implementação 92
Figura 60 - Quantificação do impacto do projeto no domínio das tarefas NNVA e NVA 95
Figura 61 - Ilustração das interações Homem-AGV estabelecidas para criação dos conceitos de automatização no projeto iTi 99
Figura 62 - Ilustração da folha de registo de transportes (parte 1) 114
Figura 63 - Ilustração da folha de registo de transportes (parte 2) 115
Figura 64 - Ilustração da folha de registo de transportes (parte 3) 116
Figura 65 - Ilustração da folha de registo dos transportes (parte 4) 117
Figura 66 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de recolha de paletes cheias, por parte do empilhador, na Inspeção Final, e sumário dos tempos médios de todos os *Pick-ups* e de todos os *Drop-offs* 124
Figura 67 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de entrega de paletes cheias, por parte do empilhador, na Inspeção Final 125
Figura 68 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de recolha de paletes vazias, por parte do empilhador, na Inspeção Final 125
Figura 69 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de entrega de paletes vazias, por parte do empilhador, na Inspeção Final 126
Figura 70 - Registo dos tempos cronometrados para estimativa de velocidade do empilhador, por análise do percurso entre o paletizador D e o destino 127
Figura 71 - Registo dos tempos cronometrados para estimativa de velocidade do empilhador, por análise do percurso entre o paletizador C e o destino 128
Figura 72 - Registo dos tempos cronometrados para estimativa de velocidade do empilhador, por análise do percurso entre o paletizador E e o destino 129
Figura 73 - Cálculo da velocidade média de movimentação dos empilhadores 129
Figura 74 - Registo das observações para estudo dos tempos de cada tarefa da Inspeção Final 130
Figura 75 - Ilustração da folha de PowerBI para determinação do número médio de paletizações por hora 131
Figura 76 - Folha de cálculo, em Excel, para estimar o número de AGVs (com explicação dos campos) 132
Figura 77 - Categorias dos processos utilizados para modelação do sistema de AGVs 133
Figura 78 - Processo "Atribuição de Passadeira" na categoria “Gestão de Pneus” 133

Figura 79 - Atribuição do processo “AtribuirPassadeira” no nodo de saída do HBS 134
Figura 80 - Tabela com informação para libertação de pneus da source HBS 134
Figura 81 - Exemplo de processo de contagem de paletes 134
Figura 82 - Processo de criação de paletes vazias no modelo 135
Figura 83 - Variável do modelo denominada por "ObjetoPrecisaPalete" 135
Figura 84 - Variável da *Model Entity* denominada de “ObjetoPaletizadorDestino” 135
Figura 85 - Exemplo da atribuição do processo de criação de paletes nos paletizadores 136
Figura 86 - Gestão da recolha das paletes 136
Figura 87 - Tabela para pesquisa dos nodes de paletização e comparação com a variável "ObjetoPrecisaPalete" 137
Figura 88 - Variável do modelo denominada por "ObjetoPrecisaPalete" 137
Figura 89 - Ilustração do processo “Pickup_vazias_entered” a ser despoletado no nodo de recolha de paletes vazias 137
Figura 90 - Processos de atribuição de imagens diferentes às entidades do tipo *Pallet* 138
Figura 91 - Ilustração de uma palete vazia e aberta, no modelo de simulação do *software* Simio 138
Figura 92 - Ilustração de uma palete completa, no modelo de simulação do *software* Simio 138
Figura 93 - Ilustração de uma palete com metade da paletização completa, no modelo de simulação do software Simio 139
Figura 94 - Atribuição dos processos de gestão visual de paletes, nos objetos *combiner* do tipo paletizador 139
Figura 95 - Ilustração do processo responsável por iniciação da simulação 139
Figura 96 - Plano de implementação do sistema de AGVs elaborado com recurso ao MS Project 140
Figura 97 - Exemplo do mapeamento dos custos de um subprojeto de automação inserido no projeto iTi 141

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais tecnologias da indústria 4.0 e respetivas definições 12
Tabela 2 - Principais princípios de conceção da indústria 4.0 e respetivas definições 13
Tabela 3 - Tecnologias 4.0 no domínio da Logística 17
Tabela 4 - Técnicas de Navegação de um AGV 22
Tabela 5 – Tipos de AGVs disponíveis no mercado 24
Tabela 6 - Artigos desenvolvidos em contexto industrial para implementação de tecnologias de condução autónoma 31
Tabela 7 – Pré-Requisitos para a implementação de AGVs 48
Tabela 8 – Critérios de avaliação aplicados para filtrar a área mais favorável a desenvolver o caso de estudo 50
Tabela 9 – Graus de importância segundo a escala de Likert de 7 pontos 51
Tabela 10 – Valores da escala de Likert atribuídos pela empresa aos critérios de avaliação especificados na Tabela 8 52
Tabela 11 - Gráfico Sequencial do processo de transporte e paletização de pneus 60
Tabela 12 – Clarificação da simbologia utilizada no gráfico sequencial 61
Tabela 13 - Classificação, de cada tarefa, quanto ao seu valor acrescentado 63
Tabela 14 – Número médio de paletizações realizadas por célula de paletização, por hora 64
Tabela 15 - Métricas relativas ao transporte e manuseio de materiais na Inspeção Final 64
Tabela 16 – Dados necessários recolher para realizar o cálculo analítico do número de AGVs 73
Tabela 17 – Obtenção do "fator de circulação sem material" para calcular o tempo total necessário para o AGV executar a viagem 75
Tabela 18 – Obtenção do "fator de bloqueio" para calcular o tempo total necessário para o AGV executar uma viagem 76
Tabela 19 - Benefícios associados a projetos de automatização 85
Tabela 20 – Mapa de investimentos para o cenário A 90
Tabela 21 - Mapa de Investimentos para o cenário B 91
Tabela 22 - Indicadores de avaliação económica do projeto 92
Tabela 23 - Tabela sumário das propostas de melhoria para cada tarefa da IF 94
Tabela 24 - Fluxos logísticos analisados, por área da fábrica 118

Tabela 25 - Matriz de decisão de peso ponderado para diagnóstico e priorização da zona a desenvolver o caso de estudo 121
Tabela 26 - Sumário dos subprojetos no projeto iTi 141

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACS: *Autonomous Compound Storage System*

AGV: *Autonomous Guided Vehicles*

AG: Aktiengesellschaft - termo alemão para uma sociedade anónima

APA: Armazém de Produto Acabado

ASRS: *Automated storage and retrieval system*

CAD: *Computer-Aided Design*

CMIP: Continental Mabor - Indústria de Pneus

CPS: *Cyber-Physical Systems*

CSF: *Critical Success Factors*

CST: *Commercial Specialty Tires*

DC: Direção de *Controlling*

DE: Direção de Engenharia

DEI: Direção de Engenharia Industrial

DF: Direção Financeira

DI: Direção de Inovação

DIP: Direção de Industrialização do Produto

DOL: Direção de Operações Logísticas

DP: Direção de Produção

DQ: Direção de Qualidade

DRH: Direção de Relações Humanas

DSIA: Direção de Segurança Industrial e Ambiental

DTI: Direção de Tecnologias de Informação

et al.: E outros

etc.: *Et cetera* / e outras coisas mais

EWM: *Extended Warehouse Management*

GPS: *Global Positioning System*

h: hora

i.e.: Isto é

I4.0: Indústria 4.0

IA: *Instantaneous Assignment*

IIoT: *Industrial Internet of Things*

INE: Instituto Nacional de Estatística

IoS: *Internet of Services*

IoT: *Internet of Things*

IRR: *Internal Rate Return*

iTi: *intelligent Tire intralogistics*

JIT: *Just in Time*

k€: mil euros

kg: Quilograma

m: metro

M2M: *Machine to Machine*

Mio: Milhão/Milhões

MR: *Multi-Robot Tasks*

MT: *Multi-Task Robots*

NNVA: *Necessary non-value added*

NPV : *Net Present Value*

NVA: *Non-value added*

OTR: *Off the road*

PLC: *Programmable Logic Controller*

PLT: *Passenger & Light Truck Tires*

RFID: *Radio-frequency Identification*

ROI: Retorno do Investimento (Return on Investment)

RTLS: *Real-Time Locating Systems*

s: segundos

SA: Sociedade Anónima

SR: *Single-Robot Tasks*

ST: *Single-Task Robots*

SWOT: *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*

TA: Taxa de atratividade

TEA: *Time-extended assignment*

VA: *Value Added*

vs: *versus*

%: percentagem

2D: Bidimensional

3D: Tridimensional

3PL*: Third Party Logistic*

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica e a procura, por parte dos clientes, de tecnologias e serviços mais sofisticados, cria novos desafios na indústria, mudando-a e fazendo-a evoluir (Barreto et al., 2017). Esta mudança tem sido alavancada por algo que a literatura intitula como quarta revolução industrial, comummente apelidada de Indústria 4.0 (Yavas & Ozkan-Ozen, 2020). Os desafios vão surgindo um pouco por todo o lado, obrigando a que as diferentes áreas adotem novas estratégias. Uma das áreas que tem vindo a sofrer mudanças significativas é a Logística, sendo já comum na literatura os conceitos de Logística 4.0 e de *Smart Logistics* (Barreto et al., 2017; Douaioui et al., 2018; Glistau & Machado, 2018; Winkelhaus & Grosse, 2020; Yavas & Ozkan-Ozen, 2020).

Organizações como a Continental Mabor, com foco na eficiência, ergonomia, sustentabilidade e valorização do posto de trabalho, procuram a integração de tecnologias inovadoras que permitam potenciar a sua estratégia. Uma das formas de reforçar esta missão da empresa, assenta na transição para a indústria 4.0. Neste sentido, a introdução de tecnologias 4.0, onde se incluem os veículos guiados autonomamente, em detrimento dos atuais transportadores, é o início da jornada para alcançar a aclamada *Smart Factory*.

1.1 Enquadramento Conceptual

O termo Indústria 4.0 (I4.0) é um tópico relativamente novo (Tang & Veelenturf, 2019), pelo que a sua definição ainda não é clara entre a comunidade de investigadores que estudam este fenómeno (Hermann et al., 2015; Hofmann & Rüsch, 2017). De entre as várias formas de definir o conceito, levantam-se na literatura um conjunto de atributos para o descrever. Termos como mobilidade, flexibilidade, eficiência, cooperação, interoperabilidade, descentralização, capacidade em tempo real, inovação, *networking*, automação, digitalização e conectividade são os mais utilizados para clarificar e qualificar este novo paradigma (Abdirad & Krishnan, 2020; V. L. Da Silva et al., 2020; Douaioui et al., 2018; Jazdi, 2014; Oztemel & Gursev, 2018).

No que respeita a definir Indústria 4.0, não há, ainda, uma definição geral e universal do tema (Hofmann & Rüsch, 2017). Porém, é possível entender melhor este conceito através do trabalho de alguns autores. Do ponto de vista de Douaioui et al. (2018), a Indústria 4.0 fica marcada por uma comunicação, em tempo real, para monitorizar e agir sobre os sistemas físicos, enfatizando-se a conectividade como o elemento-chave que permite aos sistemas comunicar entre si e com os humanos, descentralizando-se a

tomada de decisão; Winkelhaus & Grosse (2020) formulam uma definição mais simplista do conceito, associando Indústria 4.0 à transformação digital; já para Oztemel & Gursev (2018), Indústria 4.0 é a definição de uma metodologia para passar do domínio da máquina, na produção, para uma manufatura dominada pelo digital.

Na revisão de literatura elaborada por Hermann et al. (2015), destacam-se quatro componentes-chave da Indústria 4.0: *Cyber-Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS) e *Smart Factories*. De forma sumarizada, CPS corresponde à fusão entre o mundo físico e o mundo virtual. IoT pode ser definido como uma rede em que os sistemas ciber-físicos cooperam entre si. IoS corresponde ao acesso dos serviços, de forma fácil, através de tecnologias *web*. Por último, *Smart Factory* diz respeito a uma fábrica onde os CPS comunicam entre si, através da IoT, auxiliando as pessoas e as máquinas na execução das suas tarefas (Douaioui et al., 2018; Hermann et al., 2015).

Face ao supramencionado, é então possível entender Indústria 4.0 como o desenvolvimento e integração da inovação e das tecnologias da informação, na indústria (Barreto et al., 2017), reunindo-se o mundo digital com o mundo físico (Pereira & Romero, 2017).

Das várias peculiaridades deste novo paradigma, importa ressalvar que este é um fenómeno transversal que afeta diferentes áreas. Do ponto de vista empresarial, a logística interna desempenha um papel muito importante na flexibilidade de um sistema de produção (Campos et al., 2017), e é por isso que o impacto da quarta revolução industrial, na área da logística, tem sido alvo de estudo por parte da comunidade de investigadores. Com a fomentação da Indústria 4.0 é expectável que, devido ao aumento da disponibilidade de informação para os sistemas logísticos, e da capacidade para desenhar conclusões a partir dos dados registados, a logística se torne flexível e ágil, mesmo num ambiente que se demonstre volátil (Douaioui et al., 2018). O termo logística 4.0 surge, assim, da aplicação dos conceitos de indústria 4.0 à área específica da logística (Glistau & Machado, 2018). Este novo conceito visa facilitar a troca de informação em tempo real, aumentando, consequentemente, a visibilidade e melhorando a flexibilidade da cadeia de abastecimento (Douaioui et al., 2018). É expectável que a integração de CPS e IoT, no domínio da logística, permita o rastreamento do fluxo de materiais em tempo real, uma melhor manipulação do transporte e uma gestão do risco mais precisa (Hofmann & Rüsch, 2017).

Neste contexto de evolução e adaptação, surgem novos métodos, novos processos e novos produtos que permitem às empresas, por um lado, redefinir a forma como trabalham e, por outro, reposicionarem-se no mercado competidor. Como resultado da Indústria 4.0, aparecem no mercado tecnologias como manufatura aditiva, inteligência artificial, veículos autónomos, *drones* e robótica avançada (Tang &

Veelenturf, 2019). Destas tecnologias 4.0, é possível rotular os veículos autónomos como uma das mais importantes no setor logístico (Yavas & Ozkan-Ozen, 2020).

Este projeto de dissertação incidiu sobre a implementação de tecnologias de condução autónomas para a recolha e entrega de materiais na empresa Continental Mabor, localizada em Lousado. À data deste projeto, o transporte de materiais via-se assegurado por operadores logísticos, com recurso a empilhador. O objetivo desta dissertação prendeu-se com a automatização destes processos, com recurso a AGVs, por forma a melhorar os fluxos intralogísticos.

1.2 Objetivos

Os equipamentos de condução autónoma são uma tecnologia emergente no mercado que se tem vindo a afirmar como uma forte aliada no processo de modernização das empresas, a nível global. A Continental Mabor é uma empresa com foco na inovação e na eficiência dos processos, e assente numa valorização do trabalhador, da qualidade e da agilidade. Neste sentido, é possível entender que a adoção de tecnologias 4.0 vem desempenhar um papel crucial na cadeia de valor da empresa e no seu desígnio de se manter competitiva no setor da indústria de pneus. Deste modo, surge a necessidade de estudar e desenhar um conceito que vise a automatização dos equipamentos de transporte de produtos para os processos atuais da empresa que recorrem a pessoas. Aliado a este objetivo macro, estão associados cinco objetivos específicos:

- Estudar os processos internos de transporte de produtos e semiprodutos;
- Avaliar as diferentes tecnologias disponíveis no mercado para transporte autónomo dos mesmos;
- Desenvolver uma metodologia para análise de diferentes cenários de implementação de sistemas de condução autónoma;
- Desenvolver um conceito para efetuar o transporte autónomo em cada uma das áreas identificadas;
- Avaliar o potencial de aplicação do conceito desenvolvido a uma das áreas a selecionar.

Assente nos objetivos suprarreferidos, este trabalho pretende dar resposta às seguintes questões de investigação: Quais os requisitos que devem ser cumpridos para recorrer a transporte autónomo para movimentar materiais? Que etapas devem ser utilizadas para introduzir tecnologias de condução autónoma, em ambiente industrial?

1.3 Metodologia

Por forma a satisfazer os objetivos apresentados, surgiu a necessidade de encontrar uma metodologia de investigação que permitisse estudar o problema de forma imersiva.

Assim, concluiu-se que para efetuar este estudo, a abordagem mais indicada seria o estudo de caso, pois trata-se de uma metodologia que permite gerar conhecimentos a partir de uma investigação intensiva e aprofundada sobre o estudo de um fenómeno, no seu contexto da vida real, levando a descrições empíricas e ao desenvolvimento de teorias (Saunders et al., 2016).

Segundo Tellis (1997), o estudo de caso fica marcado por 4 etapas:

1) Projetar o estudo de caso;
2) Realizar o estudo de caso;
3) Analisar as evidências do estudo de caso;
4) Desenvolver conclusões, recomendações e implicações baseadas em evidências.

Assim, assente na metodologia suprarreferida, este projeto de dissertação iniciou-se com uma análise do estado de arte da temática em estudo. Nesta etapa de revisão da literatura, foram analisados artigos científicos, teses, livros e *white papers*, tendo sido utilizados motores de pesquisa como a *ISI Web of Knowledge*, o *Scopus*, o *ResearchGate*, o RepositoriUM, o *Google Scholar* e a B-ON.

Em paralelo, ocorreu o diagnóstico dos processos de transporte que atualmente recorrem a pessoas. Nesta fase, o objetivo passou por identificar oportunidades e mensurar problemas da situação atual que impediam uma automatização imediata do processo. Para tal, recorreu-se a observação direta, entrevistas não estruturadas aos operadores do local de trabalho e análise de relatórios e documentos existentes na empresa, para recolha de dados e de informação. As seguintes ferramentas foram utilizadas para auxiliar o diagnóstico da situação inicial: estudo de tempos, análise SWOT e matriz de decisão com peso ponderado.

Uma vez terminado o processo de diagnóstico, foi identificado o transporte sobre o qual se projetou o caso de estudo, definindo-se, na fase 1, os objetivos e a calendarização das etapas.

Na fase 2 - realização do caso de estudo -, foram realizadas visitas constantes ao *Gemba* para análise dos fluxos logísticos e da dinâmica de produção, e para recolha de informações como velocidades de circulação, tempos médios de processamento, análise de frequências de movimentação de materiais, entre outros. Uma vez recolhidos os dados, foram traçados dois cenários alternativos de automatização

do transporte, redefinindo-se rotas e reestruturando-se *layouts*. O número ótimo de veículos autónomos para assegurar este transporte foi estimado por via analítica e por simulação computacional. Esta fase foi suportada pelas seguintes ferramentas: folha de cálculo para estimativa de necessidades (desenvolvida com recurso a *Excel*), *software* Simio para simulação computacional, *software* Autocad para análise e reestruturação de *layouts*.

Na terceira fase do caso de estudo – Fase III -, foram analisados os dois cenários alternativos de automatização. Por forma a validar a opção mais viável, esta análise foi suportada pela ferramenta Excel para cálculo dos indicadores financeiros *Internal Rate Return*, *Net Present Value* e *Payback Time*.

Finalmente, na quarta fase, teceram-se as conclusões e elaboraram-se recomendações para trabalho futuro. De salientar que, com base nas etapas anteriores, tornou-se ainda possível iniciar trabalho no sentido de traçar um *roadmap* para a implementação transversal de AGVs na fábrica de pneus em Lousado.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em 7 capítulos.

O presente capítulo, de caráter introdutório, apresenta o projeto que suporta esta dissertação, sendo constituído por um enquadramento conceptual, pela exposição dos objetivos, pela elucidação da metodologia de investigação utilizada e pela presente clarificação da estrutura do trabalho.

Segue-se o capítulo 2, onde é apresentado o estado da arte dos principais conceitos teóricos que sustentaram a realização deste projeto. Este capítulo foca-se nas temáticas Indústria 4.0, Logística 4.0 e *Autonomous Guided* Vehicles (características, tipos de AGVs disponíveis no mercado, prós e contras desta tecnologia, análise de aplicação de AGVs na indústria automóvel, identificação de estratégias de implementação de AGVs na indústria, métodos de valoração de projetos de automação e clarificação de métodos gráficos de simulação de AGVs).

O capítulo 3 é dedicado à empresa Continental Mabor, que acolheu este projeto de dissertação, sendo apresentada a empresa, o produto e o processo.

O capítulo 4 compreende uma descrição e caracterização dos transportes na Continental Mabor. Este capítulo relata os seguintes assuntos: metodologia e ferramenta de diagnóstico utilizadas para identificação da área com maior potencial para desenvolvimento deste caso de estudo, caracterização

da área selecionada para desenvolvimento do projeto, seleção da tecnologia de condução autónoma mais adequada para a empresa.

O capítulo 5 dedica-se ao desenvolvimento do caso de estudo, expondo os seguintes conteúdos: propostas de redefinição de *layouts*; estimativa do número de AGVs necessários (analiticamente e por simulação computacional) e estudo económico dos cenários delineados. O capítulo termina com a estruturação de um plano de implementação do cenário selecionado.

O capítulo 6 é dedicado à apresentação da metodologia adotada para traçar um *roadmap* de implementação transversal de AGVs na fábrica da Continental Mabor.

Por último, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões apuradas com o desenvolvimento deste caso de estudo. O capítulo termina com a identificação de algumas sugestões para trabalho futuro.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O mundo está em marcha para um novo período de desenvolvimento tecnológico que afeta transversalmente diferentes áreas e setores de atividade. Nas indústrias, o leque de oportunidades é já muito alargado e há a necessidade de as empresas introduzirem novas dinâmicas no seu modo de atuação, para que consigam manter-se competitivas perante a concorrência. Termos como *Smart Factory*, Indústria 4.0 e Logística 4.0 têm-se tornado alvo de muitas discussões, tanto na comunidade académica, como no meio industrial, sendo que é necessário esclarecer estes tópicos para que a sua aplicação seja empregue de forma sustentável. Assim, o presente capítulo apresenta uma revisão da literatura existente em redor da temática "tecnologias de condução autónoma" e dos conceitos mais relevantes que lhe estão associados. Numa primeira parte desta revisão, é explicada a origem do conceito Indústria 4.0. Seguidamente, é retratado o papel da Indústria 4.0 no ramo específico da Logística. Finalmente, é elaborado um estado de arte no que concerne aos veículos de condução autónoma.

Para finalizar o capítulo, é apresentada uma reflexão da revisão da literatura.

2.1 A 4ª Revolução Industrial

Uma revolução industrial é declarada quando a eficiência dos sistemas produtivos é significativamente aumentada devido a novas soluções tecnológicas (Skapinyecz et al., 2018).

A primeira revolução industrial ficou marcada pela mecanização da produção, utilizando, para tal, a água e o vapor. Os desenvolvimentos que revolucionaram a indústria foram impulsionados pelo aparecimento de sistemas de produção mecânica. A segunda revolução industrial, marcada pela eletricidade, introduziu a produção em massa e as linhas de produção. Durante a terceira revolução industrial, foram introduzidas tecnologias eletrónicas e de informação que promoveram a automatização através de controladores lógicos programáveis (PLCs). A automatização criou uma alternativa ao trabalho humano necessário para realizar as operações, acelerando e desacoplando os principais processos de fabrico (Skapinyecz et al., 2018; von Tunzelmann, 2003; Xu et al., 2018).

Hoje em dia, os acontecimentos vivenciados indicam a chegada da quarta revolução industrial, na qual os objetos de uma fábrica começam a transformar-se em objetos inteligentes, capazes de interagir uns com os outros e partilhar informações sobre o estado de produção ou sobre o seu próprio estado (Fakhri et al., 2020). Na Feira de Hanôver, em 2011, o governo alemão apresentou, pela primeira vez, o conceito de Indústria 4.0, e mais tarde, em 2013, lançou as recomendações para a implementação da iniciativa

estratégica “Indústria 4.0”. Foi esta a ação que veio descortinar a Quarta Revolução Industrial (Li et al., 2017).

2.1.1 Tecnologias e princípios da Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 é frequentemente referido como a quarta revolução industrial, e engloba um conjunto de tecnologias avançadas que estão a ter um grande impacto na realidade industrial atual (Pereira & Romero, 2017). Embora não exista, ainda, uma definição clara e universalmente aceite para descrever o fenómeno, é possível notar, entre os autores, certos elementos comuns, nomeadamente: os sistemas de automação, conexões entre o mundo físico e virtual, o reconhecimento de um conjunto de tecnologias facilitadoras, a digitalização e a Internet (Büchi et al., 2020). O conceito de Indústria 4.0 poderá, portanto, ser entendido como um termo generalista para um novo paradigma industrial que engloba um conjunto de desenvolvimentos industriais relacionados com *Cyber-Physical Systems*, *Internet of Things, Internet of Services*, Robótica, *Big Data*, *Cloud* e Realidade Aumentada (Pereira & Romero, 2017), sendo uma forma de promover vantagem competitiva através da aplicação e da integração das novas tecnologias (Kagermann et al., 2013).

A adoção destas novas tendências é fundamental para o desenvolvimento de processos de fabrico mais inteligentes, que incluem dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos capazes de trocar informações, desencadear ações e controlar-se mutuamente, permitindo um ambiente de produção inteligente (Weyer et al., 2015). A indústria 4.0 fica, assim, fortemente marcada pela conexão entre máquinas, produtos, sistemas e pessoas que podem partilhar informações entre si e gerir-se a si próprios e uns aos outros (Radivojevic & Milosavljevic, 2019).

Vestin et al. (2020) analisaram dois grandes componentes da indústria 4.0: as tecnologias e os princípios de conceção. Entenda-se tecnologias como a utilização da ciência para finalidades práticas (Mittal et al., 2019) e princípios de conceção como os elementos constituintes da quarta revolução industrial (Hermann et al., 2015).

No estudo elaborado, são referidas onze tecnologias e doze princípios. Relativamente às tecnologias, são reunidos os termos CPS, IoT, *Big Data*, *Cloud*, IoS, Realidade aumentada, Automação e *robot*s industriais, Simulação e modelação, Manufatura aditiva, Sensores e Realidade virtual. Num estudo similar, Oztemel & Gursev (2018), para além das tecnologias acima referidas, mencionam uma outra que carece de igual atenção: *Machine to Machine* (M2M). No que diz respeito aos princípios, Vestin et al. (2020) destacam as *Smart Factories*, a Orientação do serviço, a Sustentabilidade e eficiência de recursos, a Capacidade em tempo real, a Descentralização, a Interoperabilidade, a Modularidade, o Desenvolvimento de

competências, a Virtualização, a Cibersegurança, os *Smart Products* e a Integração de sistemas, como os mais relevantes nesta matéria.

Por forma a melhor compreender estes conceitos, foi elaborada a Tabela 1, na qual são sumarizadas as definições das tecnologias acima mencionadas.

Tabela 1 - Principais tecnologias da indústria 4.0 e respetivas definições

Tecnologia	Definição
CPS	Unidade de controlo, usualmente composta por um ou mais microcontroladores, que controla os sensores e atuadores que são necessários para interagir com o mundo real, e processa os dados obtidos. É um sistema incorporado que é capaz de enviar e receber os dados através da rede/ *network* (Jazdi, 2014).
IoT	Rede global de informação composta por um grande número de "coisas" interligadas. O termo "coisas" inclui, por exemplo, materiais, sensores, atuadores, controladores, *robot*s, operadores, máquinas, equipamentos e produtos (H. Yang et al., 2019). Mais recentemente, tem sido abordado o termo *Industrial Internet of Things* (IIoT), que corresponde a uma rede de componentes industriais inteligentes, e altamente conectados, que são implementados para alcançar uma elevada taxa de produção, com custos operacionais reduzidos, através da monitorização, em tempo real, e de uma gestão e controlo eficiente dos processos industriais, dos ativos e dos tempos de operação (Khan et al., 2020).
Big Data	Conjunto de bases de dados tão grandes e complexas, cujo processamento não é possível recorrendo às ferramentas manuais ou aplicações tradicionais de processamento de dados (Zhong et al., 2015); assim, *Big Data* é um termo geral para qualquer técnica de processamento de uma grande quantidade de dados, incluindo captura, transferência, armazenamento, pesquisa, tratamento, análise, visualização, segurança e privacidade (Da Xu & Duan, 2018).
Cloud	Fornecimento de serviços informáticos baseados na *internet*, incluindo cálculo de indicadores performativos, armazenamento, gestão, visualização e análise de dados (H. Yang et al., 2019).
IoS	Esta tecnologia procura uma abordagem semelhante à IoT, contudo, é aplicada a serviços em vez de entidades físicas (Pereira & Romero, 2017; Wagner, 2012). Através de produtos baseados em sensores, a informação sobre a utilização e o estado do produto é transferida para o fabricante. Esta informação pode ser utilizada, por exemplo, para cobrar ao cliente com base na utilização do produto, ou para fornecer manutenção proactiva e preventiva do produto.
Realidade aumentada	Tecnologia que, através de um dispositivo (por exemplo, óculos), exibe tanto o ambiente real, como o conteúdo gráfico de pontos localizados geograficamente, com intuito de auxiliar na execução de tarefas (Scurati et al., 2018). Traz o ambiente virtual para o mundo real (Wee et al., 2015; Moeuf et al., 2018 citado por Dos Santos et al., 2020).
Automação e *robot*s industriais	O termo automação corresponde à realização de um processo ou procedimento, com o mínimo de assistência humana (Kolberg & Zühlke, 2015 citado em Vestin et al., 2020). Deve, portanto, ser entendido como uma combinação de *software*, *hardware* e/ou mecânica, que desencadeia a otimização da produção, resultando numa diminuição de desperdício de recursos e numa redução da mão-de-obra desnecessária (Kang et al., 2016). Os *robot*s são máquinas desenvolvidas para realizar uma tarefa automaticamente, ou seguindo as instruções através de controlo remoto (Ullah et al., 2016). Estão aptos para realizar tarefas difíceis ou de grande porte, bem como operar em condições perigosas ou desfavoráveis, desenvolvendo modos *standard* para executar tarefas de rotina (Oztemel & Gursev, 2018).
Simulação e modelação	Processo de criação e conceção de um sistema real ou imaginário, utilizando modelos físicos ou matemáticos, ou modelos de outro tipo, para modelação, a fim de avaliar e prever o comportamento do sistema ou processo (Rodič, 2017).
Manufatura aditiva	Tecnologia através da qual uma peça é construída por fundição de camadas finas de pó, e adição de uma camada de material (plástico ou metal), juntando o material em camadas sucessivas e sobrepostas (Esmaeilian et al., 2016). Cada camada é fundida com base na geometria sugerida nos modelos CAD (Zhou & Chen, 2012).

Tecnologia	Definição
Sensores	Os sensores são tipicamente utilizados para medir parâmetros físicos. Um sensor é um dispositivo que pode converter o parâmetro físico, repetidamente e de forma fiável, numa forma que possa ser utilizada ou compreendida. Exemplos incluem a conversão de temperatura, pressão ou força, num sinal elétrico, num movimento mensurável, ou numa leitura da medida (Dunn, 2005).
Realidade virtual	Realidade sintética ou ambiente virtual que dá a uma pessoa um sentido de realidade (Jayaram et al., 1997). Pode proporcionar aos utilizadores múltiplas sensações intuitivas, enquanto simula mecanismos num ambiente físico ou imaginário. Os utilizadores experienciam não só uma visão imersiva para além da realidade, mas também audição, tato e mesmo a capacidade de interagir com objetos virtuais (Guo et al., 2020).
M2M	Remete para a comunicação direta entre dispositivos, utilizando para tal qualquer canal, com ou sem fios (Oztemel & Gursev, 2018).

De forma análoga, a Tabela 2 remete para as definições dos princípios de conceção da indústria 4.0.

Tabela 2 - Principais princípios de conceção da indústria 4.0 e respetivas definições

Princípio de conceção	Definição
Smart Factory	Representação da evolução das fábricas ditas tradicionais, para fábricas totalmente conectadas, flexíveis e reconfiguráveis, com sistemas capazes de aprender, autoadaptar e auto-otimizar, em tempo real (ou quase real), às mudanças recorrentes nos produtos e requisitos de produção (F. Yao et al., 2018). As *Smart Factories* são consideradas o estágio final da 4ª revolução industrial (Jung et al., 2021), e correspondem à quimera de um sistema de produção totalmente conectado, operando principalmente sem força humana, e dotado de capacidade para gerar, transferir, receber e processar os dados necessários para realizar as tarefas requeridas (Osterrieder et al., 2020).
Orientação do serviço	Possibilidade de conceder às máquinas, pessoas e *software*, o acesso à informação, permitindo-lhes fazer alterações no sistema, em tempo real, com base na preferência do cliente (Davis et al., 2020).
Sustentabilidade e eficiência de recursos	Corresponde a um alerta para, com a indústria 4.0, haver maior foco na sustentabilidade e eficiência na utilização dos recursos, sendo uma oportunidade para obter eficiência no produto, no material, no processo, na utilização dos recursos humanos e na gestão do ciclo de vida do produto (Stock & Seliger, 2016)
Capacidade em tempo real	Capacidade de os dados serem recolhidos e analisados, em tempo real, possibilitando rastrear o estado da fábrica, permanentemente. A monitorização do estado permite reagir, de forma imediata, por exemplo, a falhas, alterações de produção ou alterações de requisitos do produto. Também a documentação técnica deve poder ser atualizável, em tempo real (Gattullo et al., 2019).
Descentralização	Capacidade para que diferentes componentes na indústria 4.0 trabalhem de forma independente e tomem decisões de forma autónoma, isto é, as máquinas não dependem da interferência humana para trabalhar, mesmo com exceções, interferências e/ou objetivos conflituosos (Vestin et al., 2020).
Interoperabilidade	Do ponto de vista da tecnologia informática, é a faculdade de dois sistemas informáticos heterogéneos funcionarem em conjunto e darem acesso aos seus recursos de uma forma recíproca, utilizando a funcionalidade um do outro. No contexto das empresas, a interoperabilidade refere-se à capacidade de interações (troca de informações e serviços) entre sistemas da empresa (D. Chen et al., 2008). No contexto da interoperabilidade, as máquinas podem trocar e interpretar dados entre si (Davis et al., 2020).
Modularidade	Corresponde à capacidade dos sistemas se adaptarem, de forma flexível, às mudanças nos requisitos, substituindo ou expandindo os módulos individuais. Os sistemas modulares podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou de alterações nas características do produto (Hermann et al., 2015).
Desenvolvimento de competências	A Indústria 4.0 exigirá novas competências, sendo necessário que a sociedade e as organizações criem oportunidades de formação das competências necessárias. Será necessário mais pessoal qualificado nos domínios tecnológicos para atender aos requisitos da I4.0 (Erol et al., 2016).

Princípio de conceção	Definição
Virtualização	Corresponde à criação de uma cópia virtual do mundo físico, ligando os sistemas ciber-físicos a plantas virtuais e modelos de simulação; desta forma, os CPS podem monitorizar os processos físicos e notificar os trabalhadores (Gattullo et al., 2019).
Cibersegurança	A quarta revolução industrial fica marcada pela geração de informação valiosa que precisa de ser protegida, sendo fundamental, para o sucesso da empresa, garantir a segurança da informação e dos dados, acautelando o acesso apenas a pessoas autorizadas (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Assim, cibersegurança corresponde ao processo que consiste em proteger, detetar e responder a ataques (W. House, Federal cybersecurity research and development strategic plan, 2016 citado em Piedrahita et al., 2018).
Smart Products	Nova geração de produtos físicos com diferentes tipos de sensores embutidos que permitem ao aparelho interagir com o ambiente envolvente e recolher, armazenar e transferir dados, durante as diferentes etapas do seu ciclo de vida. São capazes de comunicar informações sobre o seu ciclo de vida (propriedades, estado e histórico), estando dotados da capacidade de informar acerca das etapas do processo já percorridas e de definir etapas futuras (Schmidt et al., 2015).
Integração de sistemas	Diz respeito ao processo de reunir os subsistemas dos componentes num único sistema, de forma a assegurar a capacidade do sistema de produzir a funcionalidade pretendida (Ghobakhloo, 2018).

Assim, é possível perceber que a Indústria 4.0 é a primeira revolução industrial prevista *a priori* (Drath & Horch, 2014), o que permite às empresas prepararem-se para as oportunidades e exigências vindouras, adotando as tecnologias e os princípios que mais se coadunam com a dinâmica da organização. Dada a evolução estar a ocorrer no momento, há margem para as empresas analisarem as exigências/novidades suprarreferidas e, assim, preparem-se de forma ágil para as mudanças que se vão impor, assegurando a sua competitividade no mercado.

2.2 Logística

Na sua generalidade, as indústrias movem materiais. As empresas de manufatura, por exemplo, recebem matéria-prima, transformam-na e entregam o produto final ao cliente; as lojas de retalho recebem produtos dos grandes distribuidores e entregam-nos aos utilizadores finais; e ao encomendar um produto por um *website*, o mesmo é entregue, em casa, por um distribuidor. A função responsável por esse movimento é a Logística, assegurando o transporte e armazenamento dos materiais entre fornecedores e clientes (Waters, 2003).

Do ponto de vista da indústria, e de acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals* (2013), a logística pode ser definida como o "processo de planificar, implementar e controlar, de forma eficiente e eficaz, o fluxo e armazenamento de bens (incluindo serviços), desde o seu ponto de origem até ao ponto de consumo, em conformidade com as exigências do cliente".

2.2.1 Diferentes modos de atuação da logística

A definição de logística contabiliza os movimentos internos, externos, de entrada e de saída de matérias-primas e de produtos acabados. Contabiliza-se, ainda, o processo de devolução de materiais à empresa (Vitasek, 2013).

Dada a abrangência do conceito, é importante diferenciar, desde início, o tipo de atividade que está a ser desenvolvida (Feld, 2001).

Assim, e tal como observável na Figura 1, a logística tende a ser dividida em 3 principais domínios: *inbound*, interna e de *outbound*.



Figura 1 - Ilustração do papel da Logística numa empresa
(Adaptado de Waters, 2003)

- ***Inbound logistics* (Logística de Entrada):** inclui todas as atividades relacionadas com a compra e organização do movimento de entrada de matéria-prima, peças e outros artigos de fabrico direto ou indireto até aos respetivos locais de consumo (Feld, 2001); De forma simplificada, corresponde aos movimentos de materiais dos fornecedores, para a fábrica (Waters, 2003);
- ***Internal* (Logística Interna):** está diretamente relacionada com os bens necessários para facilitar o fluxo de trabalho nos postos e, portanto, é responsável pelo manuseamento e armazenamento desses bens dentro da fábrica. Este processo engloba a movimentação de materiais e as operações de apoio, como são caso o armazenamento, o controlo de *stocks*, o manuseamento de materiais e o abastecimento da produção (Zheng et al., 2020); Em síntese, corresponde ao movimento de materiais dentro da organização (Waters, 2003);
- ***Outbound* (Logística de Saída):** corresponde ao processo relacionado com o armazenamento e circulação do produto final e dos fluxos de informação relacionados desde o

fim da linha de produção até ao consumidor final (Zaitova, 2021). De forma sumarizada, diz respeito à movimentação dos materiais para o cliente final (Waters, 2003).

O objetivo primordial de qualquer operação de manuseamento de materiais prende-se com transportar os materiais certos, para os locais certos, no momento certo e na quantidade certa, evitando danificar a carga durante o processo. Importa denotar que esta é uma atividade que não acrescenta valor ao produto, mas sim ao custo. Por conseguinte, o manuseamento de materiais deve ser o mais eficiente possível para minimizar essa mesma despesa (Wilson, 2015).

O transporte é considerado uma das atividades estruturantes da Logística (Carvalho et al., 2017b) e consiste no movimento de produtos (matéria-prima, semiprodutos, componentes, produtos acabados), desde um ponto de origem até ao consumidor final, com objetivo de minimizar os recursos (financeiros, tempo e ambientais) (Carvalho et al., 2017a).

2.2.2 Logística na nova era industrial

À semelhança do que acontece com a indústria, também a logística é forçada a evoluir ao longo dos tempos (Angeli Poli et al., 2018). O conceito de logística 4.0 surge, assim, como consequência da quarta revolução industrial e dos avanços tecnológicos do século XXI (Radivojevic & Milosavljevic, 2019), o que conduz, consequentemente, a uma certa falta de clareza na definição do conceito. Na literatura, apenas alguns autores arriscam definir o termo Logística 4.0. Segundo Barreto et al. (2017), o paradigma da logística 4.0 pode ser resumido como a otimização do *inbound* e do *outbound* das atividades logísticas, através de sistemas inteligentes incorporados em *software* e de bases de dados, a partir das quais são fornecidas e partilhadas informações relevantes, por intermédio da IoT, com intuito de atingir um grau de automação significativo. Amr et al. (2019) definem Logística 4.0 como uma direção tecnológica estratégica que integra diferentes tipos de tecnologias, com vista a aumentar tanto a eficiência, como a eficácia da cadeia de abastecimento, direcionando-se o foco das organizações para as cadeias de valor, por forma a maximizar o valor entregue aos clientes e aumentar os níveis de competitividade. Para estes autores, tal é conseguido através do aumento dos níveis de transparência e da descentralização, passíveis de se alcançar com a digitalização. Já Facchini et al. (2019) resumem este novo paradigma à aplicação da Indústria 4.0 no domínio específico da logística. Inspirados pelas interpretações de outros investigadores do fenómeno, estes autores adiantam que a Logística 4.0 tem por objetivo modificar as soluções habitualmente utilizadas na logística tradicional, através da introdução de novas tecnologias facilitadoras. Aqui são caso os CPS, que permitem o *networking* e a automatização de tarefas de transporte e armazenamento e a descentralização do controlo por intermédio de *software*.

No ambiente de produção atual, a flexibilidade tem tido uma importância crescente na economia global. Para atingir este objetivo, é necessário um grau de automatização mais elevado e mais flexibilidade no chão de fábrica (Lottermoser et al., 2017). Assim, a Logística 4.0 conta já com uma grande quantidade de equipamentos e dispositivos autónomos que viabilizam atingir esta flexibilidade, a notar (Gregor et al., 2017; Winkelhaus & Grosse, 2020):

- Sistemas automáticos de carregamento e descarregamento;
- Veículos de condução autónoma;
- Sistemas automáticos de armazenamento;
- *Robots*;
- Sistemas informáticos para planear e gerir operações e sistemas;
- Sistemas *Radio Frequency Identification Technology* (RFID);
- Códigos de barras;
- Elementos e subsistemas inteligentes (paletes, ferramentas, equipamentos, *software* de controlo, etc.);
- *Big data analytics* para auxiliar decisões em tempo real;
- Tapetes de transporte

A Tabela 3 resume algumas das soluções que têm surgido ao nível da intralogística, relatando os principais benefícios obtidos da sua aplicação. Importa referir que nem todas as tecnologias referidas surgem da 4ª revolução industrial, contudo, o seu uso/exploração tem vindo a ser ampliado mais recentemente, alinhado com a I4.0.

Tabela 3 - Tecnologias 4.0 no domínio da Logística

Soluções 4.0	Tipo de Solução	Benefícios	Fonte
RFID	Equipamento de identificação e controlo	- Auxilia na gestão de inventário; - Permite identificar os diferentes materiais.	(Liu et al., 2018)
Smart Robots	Equipamento de transporte	- Permite transportar e arrumar materiais.	
Real-Time locating Systems (RTLS)	Equipamento de identificação e controlo	- Identifica e localiza objetos ou pessoas, em tempo real, dentro de um edifício.	(K. Wang, 2016)

Soluções 4.0	Tipo de Solução	Benefícios	Fonte
Smart Sensing	Equipamento de identificação e controlo	- Permite controlar o estado dos materiais e as alterações no meio ambiente (como alteração da temperatura que deteriora o material), bem como presença ou não de materiais em *stock*, fornecendo informação para a tomada de decisão.	
Smart Vehicles	Equipamento de transporte	- Permite que as mercadorias sejam identificadas, recolhidas, transportadas e depositadas, de forma fiável, no seu destino; - Um único trabalhador pode controlar vários veículos simultaneamente.	(Basler Vision Technologies, 2016)
Autonomous Storage and Retrieval System (ASRS)	Equipamento de armazenamento	- Sistemas de armazenamento automatizados. - Estes sistemas permitem uma melhor utilização do espaço, pois são desenhados para aproveitar espaço em altura e melhoram a gestão do inventário, permitindo gerir datas de validade e quantidades de material.	(IHI Corporation, n.d.)
Voice picking	Equipamento de identificação e controlo	- Dispositivo que permite aos operadores ficarem com as mãos libertas, possibilitando trabalhar de forma mais eficiente e rápida. Este é um sistema que substitui o papel e auxilia os operadores a orientarem-se, no armazém, deslocando-se corretamente para os locais de recolha, recebendo comandos de voz com instruções acerca da tarefa de *picking*.	(Taliferro, 2016) (Glynn, 2021)
Intelligent Transport Management	Equipamento de transporte	- Identificação de todos os procedimentos internos de transporte, em tempo real, para apoiar os operadores logísticos na otimização dos processos de transporte.	(Bastian et al., 2018)
***Driverless Transport Vehicles* (AGVs)**	Equipamento de transporte	- Digitalização dos processos e localização inequívoca dos materiais, permitindo aumentar a transparência e reduzir o *stock* de segurança.	
Cobots	Formação de carga unitária	- *Robots* colaborativos utilizados para embalar, empacotar, paletizar, etc. - Permitem aumentar performances e diminuir risco ergonómico normalmente associado a este tipo de tarefa.	(X. Yao, 2018)

Face ao que foi descrito nesta secção, é então possível entender que este novo paradigma se refere geralmente a diferentes atividades da logística (como são caso o transporte, a armazenagem e os fluxos de informação), que passam a ser planeadas, geridas e controladas de forma mais "inteligente" através da digitalização, da interoperabilidade entre sistemas e da *internet*.

2.2.3 *Lean Manufacturing* e *Lean Logistics* na Indústria 4.0

A filosofia *Lean Manufacturing* centra-se no valor para o cliente e na maximização deste, através da identificação e eliminação de desperdícios de produção (Womack, James P., Jones, 2003).

Muda é a palavra japonesa para desperdício (Womack, James P., Jones, 2003) sendo que se uma atividade não acrescentar valor a um produto, é considerado um desperdício.

No contexto da indústria, de acordo com Monden (2012), podem ocorrer três tipos de operações, a saber: (i) Sem valor acrescentado (NVA); (ii) operação necessária, mas sem valor (NNVA); (iii) operação de valor acrescentado (VA). As atividades NVA são puro desperdício e devem ser eliminadas. As operações de NNVA são um desperdício, mas são necessárias para o próprio processo, devendo procurar-se reduzir e otimizar. As operações de VA estão relacionadas com a conversão ou processamento de um artigo em qualquer fase do processo, acrescentando valor ao produto.

Os *Mudas* podem ser classificados em sete categorias (Womack, James P., Jones, 2003), sendo estas: sobreprodução, espera, transporte, sobre processamento, inventário, movimento e defeitos. Para maior eficiência, estes desperdícios devem ser minimizados.

Segundo Baudin (2005), *Lean Logistics* é a dimensão da filosofia *Lean Manufacturing*, aplicada à área da logística. Na abordagem *Lean Logistics* os objetivos passam por:

- Entregar os matérias necessários, quando necessário, na quantidade necessária à produção e ao cliente final;
- Procurar eliminar desperdícios no processo logístico.

Assim, o autor refere que todos os processos logísticos que ocorrem na organização devem ser constantemente melhorados, especialmente no que respeita à eliminação de desperdícios desnecessários e atividades que não geram valor acrescentado.

Bittencourt et al. (2019) realizaram uma revisão sistemática da literatura em redor do tema "Indústria 4.0 e *Lean Thinking*", onde concluem que os princípios da filosofia *Lean* e a I4.0, apesar das suas diferenças, focam-se no mesmo: reduzir os custos para aumentar a produtividade dentro das empresas. Os autores concluem que a filosofia *Lean* centra-se na redução de resíduos e na melhoria contínua através da sensibilização/ação das pessoas, ao passo que a I4.0 concentra-se na utilização de novas tecnologias alimentadas por IoT para atingir a mesma finalidade. Embora as abordagens sejam diferentes, conclui-se que estas podem e devem ser usadas em conjunto, pois completam-se.

2.3 *Autonomous Guided Vehicles*

Com a chegada da I4.0, surge a necessidade de os sistemas logísticos se tornarem mais autónomos e flexíveis, por forma a responder de forma rápida às necessidades do mercado (Y. Chen et al., 2017). Neste sentido, sistemas inovadores de transporte e manuseio de materiais, com sensores integrados e

ferramentas digitais, estão a aumentar consideravelmente no mercado (Melacini et al., 2019), destacando-se os AGVs como um dos sistemas mais promissores.

Os Veículos Guiados Autonomamente (Figura 2) correspondem, assim, a *robots* móveis usados para efetuar o transporte de bens e materiais, entre os diferentes postos de trabalho, no chão de fábrica, sem recorrer a um colaborador como condutor (Rocha et al., 2010), permitindo automatizar o transporte de materiais desde um local de recolha (*pick-up place*) até um local de entrega (*drop-off place*) (Gul et al., 2020).



Figura 2 - Sistema de AGVs
(SSI SCHAEFER, n.d.-a)

Os AGVs estão conectados a um sistema de navegação central, normalmente referido como *Warehouse Management System* (WMS), que envia as instruções para os veículos, recebe informação da posição do veículo através de diferentes sensores de bordo e guia-os na conclusão das tarefas de transporte (Sabattini et al., 2013; Q. Yang et al., 2020). Esta tecnologia tem sido amplamente utilizada para automatizar o manuseamento de materiais e mercadorias (Dharmasiri et al., 2020), constituindo um fator importante ao nível da logística, em geral, e dos transportes, em particular (De Ryck et al., 2020).

Na realidade, a utilização de AGVs não é uma novidade dos dias de hoje, pois os mesmos existem desde 1953, sendo resultado da modificação de um veículo de reboque (Ullrich, 2015). A fábrica da Volvo em Kalmar, na Suécia, foi pioneira na implementação de AGVs em grande escala, sendo que, em 1973, implementou cerca de 280 AGVs que asseguravam o transporte dos automóveis pelas várias linhas de montagem (Atab Automationsteknik AB, n.d.; Ullrich, 2015).

Atualmente, a evolução neste domínio escalou, havendo sistemas de navegação sofisticados, sistemas de segurança mais otimizados e mais fornecedores desta solução tecnológica, disparando, consequentemente, a procura por este veículo de transporte.

2.3.1 Tarefas de um AGV

De Ryck et al. (2020) sugerem a divisão das tarefas de um AGV em 5 pontos-chave: alocação de tarefas, planeamento do caminho, navegação, planeamento do movimento e gestão do veículo.

A alocação de tarefas, tal como o próprio nome sugere, corresponde à atribuição de um conjunto de tarefas, a um conjunto de AGVs (De Ryck et al., 2020). Gerkey & Matarić (2004) estudaram esta temática, tendo desenvolvido uma taxonomia amplamente aceite para a alocação de tarefas a sistemas com múltiplos *robot*s. Os autores dividem as tarefas nas seguintes categorias:

- *Single-Robot Tasks* (SR): significa que cada tarefa apenas requer um *robot* para a realizar;
- *Multi-Robot Tasks* (MR): significa que para levar a cabo uma determinada tarefa, é necessário mais do que 1 *robot;*
- *Single-Task Robots* (ST): significa que o *robot* apenas é capaz de realizar uma tarefa de cada vez;
- *Multi-Task Robots* (MT): corresponde a *robot*s capazes de realizar várias tarefas simultaneamente;
- *Instantaneous assignment* (IA): significa que as tarefas são independentes entre si e não existe um planeamento de futuras alocações. A informação disponível sobre a tarefa, os *robot*s e o ambiente envolvente apenas permite uma alocação instantânea;
- *Time-extended assignment* (TEA): remete para tarefas que são dependentes entre si. Há maior disponibilidade de informação, como, por exemplo, um conjunto de todas as tarefas que terão de ser atribuídas ou um modelo de como se espera que as tarefas cheguem ao longo do tempo.

O planeamento do caminho, por sua vez, diz respeito à pesquisa de um caminho ótimo que estabeleça a ligação entre um ponto inicial e um ponto de destino, o qual é calculado tendo em atenção certos constrangimentos do ambiente envolvente. Este cálculo pondera fatores como caminho mais curto, menor duração do trajeto e/ou custo mais reduzido (Ngo et al., 2019).

A navegação corresponde à forma como o AGV se desloca no ambiente físico e se localiza no mapa 2D da fábrica (De Ryck et al., 2020). Existem vários tipos de navegação, estando os diferentes algoritmos categorizados de acordo com a flexibilidade de movimentação que proporcionam (Melacini et al., 2019). Melacini et al. (2019), atribuem a estas categorias os nomes de navegação fixa, híbrida e aberta. Na navegação fixa, os veículos estão limitados por um conjunto de restrições, apenas sendo capazes de

seguir um conjunto de rotas pré-definidas. Não estão dotados da capacidade de evitar obstáculos (Melacini et al., 2019). Os AGVs com navegação fixa apenas se podem movimentar em áreas delimitadas por marcas artificiais, como, por exemplo, fitas, refletores ou fios convenientemente colocados no piso de rodagem (Melacini et al., 2019). Na navegação híbrida, a navegação do AGV continua sujeita a marcas artificiais, contudo, este tipo de navegação é mais evoluída do ponto de vista de resposta aos obstáculos encontrados; estes veículos estão equipados com um sistema que evita os obstáculos, permitindo ao AGV desviar-se da rota pré-determinada para os contornar (Melacini et al., 2019). Por último, a navegação aberta corresponde a um tipo de navegação em que o veículo pode navegar livremente no espaço fabril/armazém, não sendo necessárias quaisquer marcas artificiais; neste caso, os AGVs possuem um mapa virtual do ambiente envolvente, o qual pode ser atualizado em caso de mudanças no *layout* (Melacini et al., 2019).

A Tabela 4 sumariza as técnicas de navegação mais utilizadas para deslocação destes veículos.

Tabela 4 - Técnicas de Navegação de um AGV

Técnicas de Navegação		
Método	**Princípio de Funcionamento**	**Vantagens/Desvantagens**
Navegação Fixa		
Navegação Indutiva	É embutido um fio, no chão, que circula eletricidade, gerando um fluxo magnético. O AGV é dotado de sensores que captam o fluxo magnético emitido, permitindo controlar a velocidade das rodas (De Ryck et al., 2020).	**Vantagens:** Elevada precisão do movimento. Algoritmo simples de criar. **Desvantagens:** Elevado tempo despendido na instalação, dificultando mudanças. Não há flexibilidade no movimento.
Navegação ótica	É colocada, no chão, uma fita adesiva colorida ou uma linha marcada a tinta, criando-se um claro contraste de cores. O AGV tem um sensor ótico a bordo que permite ler estas marcações e gerar o movimento das rodas (Ullrich, 2015)	**Vantagens:** Barato e preciso. Algoritmo simples de gerar. **Desvantagens:** Fita/tinta pode ficar danificada ou suja, com facilidade. Não há flexibilidade no movimento.
Fita magnética	O caminho é marcado com fita magnética que é colocada no chão da fábrica. No interior do veículo, há um sensor magnético que deteta o campo magnético, gerando-se o movimento do veículo (De Ryck et al., 2020).	**Vantagens:** Barato e preciso. Algoritmo simples de criar. **Desvantagens:** Fita pode danificar com o tempo. Não há flexibilidade no movimento.
Navegação Aberta		
Laser	A navegação com orientação *laser* envolve a utilização de feixes *laser* para a navegação AGV; reflexões de feixe *laser* a partir de um ponto de referência são detetados por um *scanner*, que mede a distância e o ângulo para cada local alvo. As coordenadas de saída são marcadas num controlador de bordo e a localização do AGV é calculada para a sua navegação (Lee & Yang, 2012).	**Vantagens:** Movimentos precisos e fiáveis. Circuito facilmente adaptável. Flexibilidade do movimento. **Desvantagens:** Sensores caros. É necessário adaptar a estrutura do edifício para colocar os refletores.
GPS	Satélites com posições conhecidas no mapa global emitem sinais que são detetados pelo recetor de GPS no AGV, permitindo calcular a distância a cada satélite. Esta informação é utilizada para determinar a posição absoluta do recetor utilizando a trilateração como processo de posicionamento. Pelo menos quatro satélites têm de ser visíveis para possibilitar a navegação (De Ryck et al., 2020).	**Vantagens:** Circuito adaptável. Flexibilidade do movimento. **Desvantagens:** Pouca precisão na navegação. É necessária uma clara linha de visão para o céu, o que é difícil em ambiente fabril. Para criar esta linha de céu aberto é necessário intervir no edifício.

Técnicas de Navegação		
Método	**Princípio de Funcionamento**	**Vantagens/Desvantagens**
Natural	A navegação por contorno acontece quando não são utilizados refletores para determinar a posição do AGV. O tipo mais comum de navegação de contorno é a utilização de um *laser – Lidar Detection and Ranging* (LiDar) -, que analisa o ambiente e reconhece paredes, pilares e outros itens fixos. O AGV necessita de um mapa interno do ambiente, obtendo-o por digitalização manual ou por uma técnica chamada SLAM *(Simultaneous Localization and Mapping*). Isto significa que o *laser* que é utilizado para navegação também mapeia o ambiente desconhecido, medindo distâncias a diferentes objetos (Feledy & Luttenberger, 2017).	**Vantagens:** Circuito facilmente adaptável. Informações para o movimento são obtidas com interação com o ambiente. Não é necessário alterar o edifício para implementar esta navegação. Muito similar ao comportamento humano. **Desvantagens:** Método de navegação pouco preciso. Sensores de custo elevado. Método sensível à reflexão dos materiais (objetos transparentes podem não ser detetados).
Visão Guiada	É utilizada uma câmara para gerar imagens a partir das quais podem ser construídas nuvens de pontos 3D. Cada pixel da câmara é convertido para um ponto no espaço 3D (De Ryck et al., 2020)	**Vantagens:** Circuito facilmente adaptável. Informações para o movimento são obtidas com interação com o ambiente. Barato. Não é necessário alterar o edifício para implementar esta navegação. **Desvantagens:** Sensível à luminosidade. Não é um método com muita precisão do movimento.
Navegação Híbrida		
	A navegação do AGV está sujeita a marcas artificiais,tal como na navegação fixa, contudo, os veículos estão equipados com um sistema que evita os obstáculos, permitindo ao AGV desviar-se da rota pré-determinada para os contornar (Melacini et al., 2019)	**Vantagens:** Boa precisão do movimento; Mais flexível que os métodos de navegação fixa. **Desvantagens:** Marcações podem desgastar ao longo do tempo. Menos flexível que métodos de navegação aberta.

2.3.2 Tipos de AGV

Existem, atualmente, diversos *designs* de veículos guiados autonomamente, sendo que a configuração é tão variada como a sua gama de utilização.

Uma das formas utilizadas para categorizar os veículos é atentando no tipo de carga que transportam.

A Tabela 5, adaptada do trabalho realizado por Ullrich (2015), sumariza as categorias de AGVs existentes no mercado.

Tabela 5 – Tipos de AGVs disponíveis no mercado

Imagem	Categoria	Carga a transportar	Descrição
 Figura 3 - *Piggyback AGV* (Shenzhen Lisheng Automation Technology Co., n.d.)	*Piggyback* AGV	Paletes	Veículo concebido para recolher carga lateralmente. A altura de transferência está limitada (por exemplo, 1 metro).
 Figura 4 - AGV Empilhador (JBT Corporation, n.d.-b)  Figura 5 - *Counterbalance Forklift AGV* (JBT Corporation, n.d.-b)	AGV Empilhador	Paletes	Veículo desenhado para recolha de material tanto ao nível do solo como em altura. Apto para movimentar paletes *standard* ou outros tipos de *carriers*, compatíveis com garfos. Permite empilhar cargas. Por norma, são concebidos para manusear cargas até 1 tonelada.

Imagem	Categoria	Carga a transportar	Descrição
 Figura 6 - AGV Rebocador (SCOOT, n.d.)	Rebocador	Atrelados/ reboques	AGV concebido para puxar vários reboques. Tipicamente são desenhados para movimentar até 5 toneladas.
 Figura 7 - *Underride AGV* (DPM Mechanical Engineering, n.d.)	*Underride* AGV	Contentores com rodas (*trolleys*)	Tipo de AGV tipicamente utilizado para movimentar cargas com rodas. O AGV consiste numa plataforma que passa por baixo da carga e a levanta, movimentando-a.
 Figura 8 - *Assembly AGV* (Magnum Automation Inc, n.d.)	*Assembly* AGV	Objetos em linhas de montagem	AGV desenhado para transportar e colocar materiais nas linhas de montagem.
 Figura 9 - AGV para transporte de cargas pesadas (IKV Robot, n.d.)	AGVs para cargas pesadas	Rolos, Bobinas (papel ou metal)	AGVs concebidos especialmente para transportar cargas pesadas até 35 toneladas.

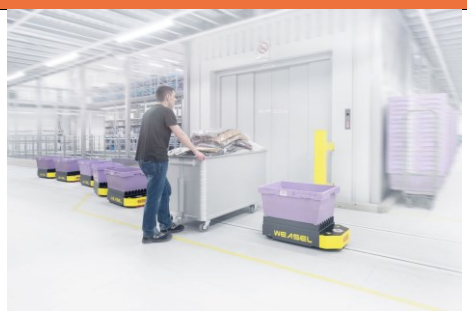
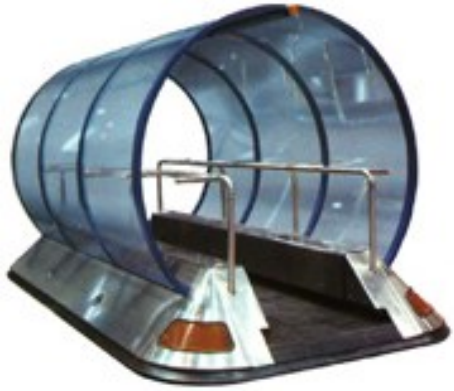
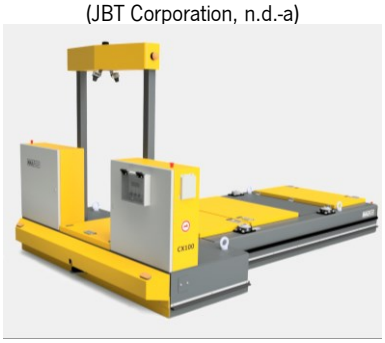
Imagem	Categoria	Carga a transportar	Descrição
 Figura 10 - Mini-AGVs (SSI SCHAEFER, n.d.-b)	Mini-AGV	Objetos pequenos	Corresponde a um sistema com inúmeros veículos pequenos, inteligentes e flexíveis destinados a realizar tarefas rapidamente.
 Figura 11 - *People Mover AGV* (Corecon, n.d.)	*People Mover*	Passageiros	Desenhado para transporte de pessoas. Similar a autocarros.
 Figura 12 - AGV de exterior (Konecranes, n.d.)	*Diesel AGV*	Diversa	Veículos de exterior, normalmente diesel-elétricos ou de condução diesel-hidráulico, desenhados para movimentar cargas com peso igual ou superior a 3 toneladas.

Imagem	Categoria	Carga a transportar	Descrição
 Figura 13 - Exemplo de AGV com amarras para segurar grandes rolos (JBT Corporation, n.d.-a)  Figura 14 - AGV desenhado para transportar cargas invulgares (Max AGV, n.d.)	AGVs com *design* especial	Diversa	AGVs concebidos para realizar tarefas especiais. Esta é uma categoria que alberga todos os AGVs que não se enquadram numa das categorias acima referidas.

Para além dos AGVs apresentados, existe ainda a opção de recorrer a fornecedores de empilhadores que reformulam os seus empilhadores e os transformam em veículos autónomos.

2.3.3 Vantagens e desvantagens do uso de veículos guiados autonomamente

Até este ponto, têm sido já abordadas algumas vantagens da aplicação de AGVs na indústria. Ainda assim, podem ser listadas outras vantagens, tais como:

- Melhoria na organização dos fluxos de material e informação, conduzindo a um aumento da produtividade (Ullrich, 2015);
- Aumento de flexibilidade dos processos de manufatura (Lottermoser et al., 2017);
- Maior transparência dos processos logísticos internos (Ullrich, 2015);
- Adaptabilidade às mudanças no ambiente industrial (T. M. Wang et al., 2018);
- Minimização da constituição de *stocks* de reserva e dos tempos de espera nas zonas de abastecimento (Ullrich, 2015);
- Eliminação da necessidade de utilização de soluções dispendiosas e fixas, como são caso os *conveyors* (Cronin et al., 2019);

- Redução do pessoal afeto ao transporte, reduzindo, consequentemente, custos de mão de obra (Ullrich, 2015);
- Libertação de operadores de trabalhos perigosos, prejudiciais, repetitivos ou pesados (T. M. Wang et al., 2018);
- Realocação de operadores em operações significativas (Cronin et al., 2019);
- Danos de transporte minimizados e diminuição de falhas nas entregas (Ullrich, 2015);
- Alta disponibilidade e fiabilidade (Ullrich, 2015);
- Melhoria do ambiente de trabalho por disponibilização de condições de trabalho seguras e agradáveis (Ullrich, 2015);
- Alta precisão na transferência automática de cargas (Ullrich, 2015);
- Alta transparência no movimento de mercadorias (Ullrich, 2015);
- Várias funções adicionais possíveis, tais como: tomadas de decisão, transferência de dados, recolha de dados, pesagem de mercadorias, organização, gestão de armazéns/locais de armazenagem, localização de materiais, etc. (Ullrich, 2015);
- Crescimento modular (processo pode ser iniciado com um número reduzido de AGVs, sendo introduzidos outros AGVs ao longo do tempo) (Ullrich, 2015);
- Aumento da eficiência e da precisão da gestão do stock (Ullrich, 2015);
- Aumento da segurança (pois os AGVs encontram-se dotados de câmaras, *lasers* e outros sensores que o permitem operar, de modo seguro, num ambiente com pessoas e máquinas) (Benevides, 2021).

Contudo, levantam-se, também, algumas desvantagens, a saber:

- Custo inicial pode ser elevado (Benevides, 2021);
- Custo de manutenção pode ser elevado (Benevides, 2021);
- Desaconselhável para tarefas não-repetitivas. Um AGV requer mais esforço para se reorganizar e reprogramar para outras tarefas quando comparado com o Homem (Benevides, 2021);
- Aquando de avaria, a unidade está fora de serviço até que o problema possa ser identificado e retificado (Handling Specialty, n.d.).

A lista de prós e contras desta tecnologia é, por sinal, longa. Contudo, importa referir que a maioria das desvantagens mencionadas remetem para o curto prazo. Os avanços tecnológicos têm contribuído para introduzir melhorias contínuas ao produto, fazendo dos AGVs uma solução interessante para melhorar a logística interna das empresas.

2.3.4 Estado de arte da aplicação de AGVs em empresas do setor automóvel

A aplicação de casos práticos de AGVs, na indústria, conta já com um grande número de contributos na literatura. Para a elaboração desta secção, foram selecionados os trabalhos cujo tema é similar ao projeto que alimenta esta dissertação.

Hrušecká et al. (2019) estudaram os desafios que advêm da introdução de AGVs nas linhas de produção. O trabalho destes autores assentou em dois *case studies*, levados a cabo em duas empresas fornecedoras da indústria automóvel, localizadas em países diferentes. Um destes casos de estudo foi realizado numa empresa de pneus, na República Checa, onde os autores desenvolveram um projeto piloto para o transporte de produtos finais desde a linha de produção até ao armazém de expedição. Numa primeira etapa, foram traçadas as rotas que melhor se ajustavam às necessidades, evitando corredores estreitos e cruzamentos; para tal, os autores socorreram-se de um *heat-map*. Finda esta fase, Hrušecká, Lopes e Juřičková analisaram os veículos disponíveis no mercado que satisfizessem as necessidades da empresa. Por último, a solução foi desenhada e implementada, tendo sido realizado um acompanhamento do "pós-implementação" com intuito de aferir a eficiência da proposta. As poupanças esperadas foram imputadas à redução do número de operadores logísticos. Os autores concluíram o seu trabalho ressalvando que os AGVs se revelam uma ferramenta poderosa para a melhoria das condições logísticas, contudo, a sua implementação de forma isolada, pouca eficiência pode acrescentar. Assim, Hrušecká, Lopes e Juřičková desenvolveram um conjunto de *Critical Success Factors* (CSF) que devem ser considerados antes da implementação desta tecnologia.

Correia et al. (2020) desenvolveram um caso de estudo numa empresa do setor automóvel, onde o objetivo passou por aumentar a produtividade de um posto de trabalho de uma linha de produção, através da implementação de um AGV para transportar os produtos finais até ao armazém. Numa fase de diagnóstico, os autores listaram e mapearam as tarefas com e sem valor acrescentado, quantificando-se e identificando-se os principais desperdícios no posto de trabalho. Para implementar o sistema de AGV, os autores determinaram: (i) o número de AGVs necessários e a sua capacidade; (ii) localização de pontos de recolha e entrega do material; (iii) fluxos e (iv) velocidades nas diferentes zonas do espaço fabril. Para tal, numa primeira instância foi elaborada uma pesquisa de mercado para determinar o tipo de tecnologia

mais adequada e selecionar o melhor AGV para a tarefa. Posteriormente, a escolha do local de recolha e entrega de material foi estudada tendo em consideração a maior proximidade possível entre estas duas localizações. Findo este ponto, foi determinado o fluxo que permitia minimizar o tempo de viagem e a distância percorrida pelo veículo. Finalmente, o número de AGVs foi calculado por método analítico, considerando como variáveis a velocidade média do AGV escolhido, a distância a percorrer dado o fluxo traçado, a capacidade do AGV selecionado, a duração do turno de trabalho, os tempos de *loading* e *unloading* do AGV e o nível de produção. Com esta implementação, foi possível eliminar o desperdício associado a esta operação de transporte. As poupanças esperadas foram imputadas à redução de desperdícios, expectativa de diminuição do risco associado a acidentes entre pessoas e veículos e entre veículos, diminuição do risco de aparecimento de material danificado e alcance da filosofia *just in time* (JIT): ter o produto certo, no local certo e na quantidade certa, reduzindo-se *stocks* nas linhas de montagem.

Campos et al. (2017) estudaram a aplicação de veículos autónomos para efetuar a movimentação de produtos finais desde a linha de montagem até ao armazém de expedição; e o fornecimento de materiais desde o armazém de matéria-prima até às linhas de produção. Numa primeira fase, os autores estudaram o processo atual da logística interna, analisando a *performance* do mesmo. Seguidamente, foi desenhada uma nova solução para o sistema de transportes, tendo os autores socorrido de um modelo de simulação computacional para avaliar o desempenho da nova solução. O *software* utilizado foi o Arena. Os autores estudaram 4 cenários principais por forma a incorporar diferentes regras de despacho relativas à gestão de pedidos.

T. Silva et al. (2016) estudaram a automatização do processo de movimentação de resíduos (caixas e plásticos) produzidos no processo de *repacking* de um material, por forma a reduzir os recursos alocados a uma tarefa sem valor acrescentado. Para efetuar este transporte, foram testadas diferentes configurações de sistemas de AGV, tendo por base a viabilidade funcional e financeira do conceito desenhado. Os autores recorreram ao *software* de simulação Simio para avaliar o desempenho de cada conceito estudado em termos de tamanho do *buffer*, distância total percorrida, utilização dos recursos e efeito na produtividade do sistema fabril, em quatro níveis diferentes de produção (unidades/turno).

A Tabela 6 resume os artigos supra descritos.

Tabela 6 - Artigos desenvolvidos em contexto industrial para implementação de tecnologias de condução autónoma

Artigo	**Âmbito do estudo**	***Highlights* do trabalho dos autores**	**Avaliação económica do projeto**
(Hrušecká et al., 2019)	Automatização do transporte de produtos finais desde a linha de produção até ao armazém de expedição	Indicadores de desempenho para avaliar a introdução das tecnologias de condução autónoma	*Sem informação no artigo*
(Correia et al., 2020)	Aumento da produtividade de um posto de trabalho de uma linha de produção, através da implementação de um AGV para transportar os produtos finais até ao armazém	Metodologia para abordar problemas de implementação de AGVs; cálculo analítico do número de AGVs necessários para a tarefa	Poupanças esperadas associadas a: • Redução de desperdícios; • Expectativa de diminuição do risco associado a acidentes entre pessoas e veículos (e entre veículos); • Diminuição do risco de aparecimento de material danificado; • Alcance da filosofia (JIT)
(Campos et al., 2017)	Aplicação de veículos autónomos para efetuar a movimentação de produtos finais desde a linha de montagem até ao armazém de expedição; e o fornecimento de materiais desde o armazém de matéria-prima até às linhas de produção	Aplicação de *software* de simulação para avaliar desempenho da solução proposta; Aplicação de diferentes regras de despacho e gestão de pedidos	*Sem informação no artigo*
(T. Silva et al., 2016)	Automatizar o processo de movimentação de resíduos	Recurso a *software* de simulação discreta para avaliar o desempenho das propostas em termos de tamanho do *buffer*, distância total percorrida, utilização dos recursos e efeito na produtividade do sistema fabril	Poupanças esperadas associadas a: • Redução de mão-de-obra. Recurso ao *Net Present Value* (NPV) como método de avaliação económica do projeto

2.3.5 Roadmap para a implementação de tecnologias de navegação autónoma

A definição de *roadmaps* para a implementação de AGVs é ainda uma lacuna na literatura, contudo, alguns fabricantes destas tecnologias têm redigido um conjunto de etapas para as implementar.

A Hinduja Global Solutions (2015) propôs uma abordagem que engloba os seguintes passos:

1) **Identificar oportunidades de automatização** em que se deve considerar, por exemplo, que um processo em que existe um conjunto de regras predefinidas é mais predisposto a ser automatizado do que um processo onde a tomada de decisão pressupõe o julgamento por parte do operador. Também é preferível automatizar um processo rotineiro em que as tarefas/modos

de operação raramente mudam. Vários fatores devem ser considerados nesta análise (Automation Academy by WorkFusion, 2019)

2) **Validar a(s) oportunidade(s) identificada(s)**;
3) **Selecionar um modelo de conceção**, i.e., conceber um conceito de automatização e adequar esse conceito às necessidades do processo;
4) **Desenvolver o plano de automação**, ou seja, conduzir um estudo intensivo do processo e identificar todos os cenários e exceções possíveis;
5) **Implementar um projeto piloto**;
6) **Estender o projeto**;
7) **Monitorizar a automação**.

A Matthews Automation Solutions (n.d.), por sua vez, considera a seguinte abordagem para implementar *robots* autónomos:

1) **Ter uma visão holística de como os veículos autónomos se enquadrarão na operação global**, isto é, procurar implementar estas tecnologias em áreas em que a sua função proporcionará melhoria em termos de rendimento, flexibilidade ou precisão, bem como redução dos custos de produção ou diminuição do tempo de processamento das encomendas;
2) **Definir objetivos e requisitos**;
3) **Simular**;
4) **Implementar projeto piloto**;
5) **Adotar uma estratégia de implementação**, isto é, decidir o número de veículos a utilizar, mapear o projeto e as diferentes fases que lhe estão associadas, de modo a minimizar "surpresas" antes, durante e depois da instalação e comissionamento.

Também Hrušecká et al. (2019) investigaram as condições a considerar aquando da implementação de um AGV para automatizar processos logístico e, após o desenvolvimento de dois casos de estudo em ambiente industrial, propuseram uma abordagem que se divide em 3 fases: Pré-Implementação, Implementação e Pós-Implementação. O *framework* desenvolvido contempla as seguintes etapas:

1) **<u>Pré-Implementação</u>**

a. **Reunir com os operadores e os elementos da gestão** que serão diretamente afetados pela mudança que se pretende implementar, com objetivo de gerir expectativas e resiliências.

b. **Observar e recolher dados**, isto é, reunir informações sobre o modo de operação atual, definir qual a rota que deve ser usada, estudar as tecnologias disponíveis no mercado, etc.)

c. **Definir o estado futuro desejado.** Esta etapa inclui definir objetivos e traçar cenários de automatização. Cada cenário deve contemplar os locais de *loading* e *unloading*, fluxos, rotas, etc.

d. **Desenvolver e testar possíveis soluções.** Nesta fase, os autores sugerem recorrer a modelos de simulação e complementar estes resultados com análises financeiras.

2) **Implementação**

a. **Implementar a solução escolhida.**

3) **Pós-Implementação**

a. **Avaliar e monitorizar o sistema.** Esta etapa considera avaliar indicadores performativos como danificação de material, entregas incompletas, atrasos nas entregas, *oversupply* (entrega mais cedo que o previsto), etc.

Embora exista similaridade entre as abordagens acima mencionadas, não há, contudo, um algoritmo rígido de regras a seguir. Isto sugere que cada situação é distinta e, portanto, existe flexibilidade para desenvolver uma abordagem própria para implementar estas tecnologias.

2.3.6 Valoração de projetos de implementação de soluções de condução autónoma

Compreender o contexto económico de um projeto é essencial para a tomada de decisão de projetos de engenharia.

Segundo Wilson (2015), no ramo da automatização, a justificação financeira dos projetos compreende, normalmente, uma comparação entre os custos atuais de realizar uma operação ou processo, muitas vezes utilizando o recurso à laboração manual, e a poupança que pode ser conseguida com a introdução dessa mesma automatização. Estas poupanças são então comparadas com o custo previsto da solução de automatização para determinar o ponto em que o investimento começa a gerar um retorno financeiro,

muitas vezes chamado Retorno do Investimento, o qual é reconhecido pela sua abreviatura inglesa – ROI, i.e. *Return on Investment* (Wilson, 2015).

A maioria das empresas aplica um período padrão, ou período de retorno, ao longo do qual os investimentos são considerados economicamente interessantes. Se a despesa for coberta dentro deste período de reembolso, então o projeto é considerado financeiramente viável (Wilson, 2015).

Para fazer a avaliação destes projetos, Wilson (2015) descreve algumas considerações, nomeadamente:

1) **Análise financeira "rápida"**, isto é, uma vez definido o conceito de automatização, será possível identificar a poupança em mão-de-obra que resulta da implementação dessa solução.

   A fórmula (1) pode ser aplicada:

$$P_{esp} = N_{oper.} * C_{oper.} * T_{trab.} \quad (1)$$

   Em que P_{esp} corresponde a "poupança esperada em mão-de-obra", $N_{oper.}$ exprime o "número total de operadores por turno", $C_{oper.}$ representa o custo de um operador e $T_{trab.}$ compreende o "número de turnos num dia".

   O período de retorno é depois calculado através da expressão (2):

$$Payback\ time = \frac{custo\ do\ equipamento\ a\ adquirir}{poupança\ esperada\ em\ mão-de-obra} \quad (2)$$

   Este *payback* pode espelhar resultados em anos ou em meses, dependendo da unidade temporal utilizada em $C_{oper.}$

2) **Identificação de outras poupanças.** As poupanças resultantes da implementação de soluções de automação não importam somente à mão-de-obra, havendo outros fatores que podem auxiliar na justificação do investimento. Assim, os seguintes elementos podem ser alvo de análise:

   - Aumento da segurança;
   - Aumento da produtividade;
   - Redução da rotatividade da mão-de-obra e do absentismo;
   - Redução de espaço ocupado no chão de fábrica;
   - Aumento da fiabilidade da operação;
   - Aumento da flexibilidade da produção.

Um *payback* mais robusto pode ser calculado considerando o total dos custos e o total das poupanças.

Segundo Ferreira (n.d.), a avaliação de projetos de investimento requer, ainda, a consideração de três outros aspetos:

- A vida económica do projeto.;
- Os fluxos financeiros envolvidos no decorrer da vida económica do projeto (custo de aquisição, custos regulares, recebimentos, custos irregulares e valor residual);
- Taxa de interesse, isto é, a taxa mínima exigida pelo investidor (taxa mínima de atratividade).

2.3.7 Dimensionamento de sistemas de AGVs com recurso a métodos de simulação gráfica

Para ser possível a valoração de um projeto de automação, é imprescindível a criação de um conceito inicial. A simulação tem-se mostrado um forte aliado nesta etapa, uma vez que pode fornecer os seguintes resultados (Ullrich, 2015):

- Auditoria do conceito logístico (desempenho e utilização da capacidade);
- Otimização de estratégias de expedição em versões de *layout* ou de controlo de orientação;
- Número de AGVs necessários;
- Dimensionamento dos locais de transferência e armazenamento da carga.

O recurso à simulação permite ainda avaliar sistemas complexos e testar diferentes operações estratégicas antes da implementação. Em adição, os modelos de simulação permitem uma melhor compreensão das características e requisitos dos sistemas, bem como uma validação económica do novo sistema logístico (Bechtsis et al., 2017; Campos et al., 2017). Finalmente, importa referir que a simulação reduz o risco de investimento em infraestruturas, podendo ser utilizada para testar vários cenários e prever os seus resultados (Rohrer, 1998).

2.4 Reflexão sobre a revisão da literatura

Pela revisão da literatura elaborada, fica claro que a Indústria 4.0 é uma forma de promover vantagem competitiva às organizações, através da aplicação e da integração de novas tecnologias (Kagermann et al., 2013). No domínio da logística, é possível aferir que as tecnologias de condução autónoma oferecem às empresas a possibilidade de melhorarem a sua logística interna, tornando-a mais *Lean* e eficiente, ao mesmo tempo que viabilizam a transformação da fábrica numa *smart factory*.

Existem inúmeras vantagens na aquisição destes veículos. O trabalho de Ullrich (2015) salienta a polivalência associada a esta tecnologia que permite tomadas de decisão, transferência de dados, recolha de dados, pesagem de mercadorias, organização, gestão de armazéns/locais de armazenagem, manuseamento de cargas e localização de materiais. No entanto, apesar do grande potencial associado aos AGVs, existem alguns obstáculos à sua introdução, como é caso o investimento inicial elevado para aquisição dos mesmos. Assim, é essencial elaborar uma análise cuidada aos transportes que se pretendem automatizar antes de, efetivamente, enveredar nestes projetos de engenharia. Os trabalhos da Hinduja Global Solutions (2015) e da Matthews Automation Solutions (n.d.) reúnem pré-requisitos para a implementação destas tecnologias, ao mesmo tempo que retratam duas metodologias possíveis de adotar para implementar AGVs em indústria, expondo o ponto de vista do fornecedor de veículos de condução autónoma.

A escolha do AGV adequado às necessidades de determinado contexto revela-se, ainda, extremamente importante num projeto com recurso a esta tecnologia. Hoje em dia, o mercado oferece uma gama alargada de tecnologias, manuseando diferentes tipos de cargas e servindo diferentes graus de automatização. Os trabalhos de Ullrich (2015), de De Ryck et al. (2020), de Lee & Yang (2012) e de Feledy & Luttenberger (2017), destacam os diferentes modelos de AGVs e diferentes métodos de navegação existentes no mercado. Por conseguinte, a introdução de AGVs na indústria tem escalado, sendo que os trabalhos de Hrušecká et al. (2019), de Correia et al. (2020), de Campos et al. (2017) e de T. Silva et al. (2016) são relatos de casos de sucesso em que esta tecnologia foi implementada em indústrias do setor automóvel.

Terminada a caracterização do estado da arte, importa denotar que os capítulos que se seguem foram desenvolvidos com suporte nos conhecimentos adquiridos com esta revisão da literatura.

3. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O capítulo que se segue é dedicado à contextualização da empresa que acolheu este projeto de dissertação. Assim, numa primeira instância é apresentado o grupo Continental, sendo que posteriormente o foco é direcionado para a Continental Mabor - Indústria de Pneus (CMIP), pois foi nesta unidade fabril que se desenrolou o projeto de dissertação. O capítulo contempla ainda uma descrição do produto final, e termina com a apresentação do processo produtivo que o origina.

3.1 O grupo Continental

A Continental AG foi fundada em Hanôver, na Alemanha, em outubro de 1871. Atualmente, o grupo é amplamente reconhecido por ser um dos maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel. Contudo, no início da sua jornada, a empresa dedicava-se apenas ao fabrico de artefactos de borracha flexíveis e de pneus maciços para carruagens e bicicletas.

O ano de 1898 marcou o início de grandes êxitos para a empresa, pois foi neste mesmo ano que se iniciou a produção de pneus lisos (sem desenho de piso) para automóveis. Desde então, o grupo tem acompanhado a evolução da indústria automóvel com vista a melhorar a sua produção de pneumáticos.

Até à data, o grupo Continental AG é constituído por 317 unidades para produção, pesquisa e desenvolvimento, distribuídas por um total de 57 países. Portugal conta já com 7 destas unidades industriais (Continental Portugal, 2020).

Na conjuntura atual, o Grupo Continental atua em duas grandes áreas: os sistemas automotivos e os componentes de borracha, possuindo 5 divisões:

1) *Chassis & Safety*, onde se concentra em tecnologias modernas para a segurança ativa e passiva e de dinâmica do veículo.

2) *Powertrain*, que representa soluções de sistemas inovadores e eficientes para o *powertrain* do presente e do futuro, para os veículos de todas as categorias.

3) Interior, que combina todas as atividades relacionadas com a apresentação e gestão de informações do veículo.

4) Pneus, onde conta com uma gama de produção que vai desde veículos de passageiros e camiões e autocarros, até veículos especiais, motos e bicicletas.

5) *ContiTech*, que desenvolve e produz peças funcionais, componentes e sistemas para a indústria automóvel e para outras indústrias-chave.

3.2 A Continental Mabor

A Continental Mabor é uma das fábricas do grupo Continental AG, promovendo-se a aliança de duas forças muito importantes: a excelência da engenharia alemã, aliada à qualidade do trabalho "*Made in* Lousado".

A Continental Mabor (Figura 15) surge, assim, em dezembro de 1989, como empresa associada à indústria de pneus. O nome Continental Mabor resulta da união de duas empresas de renome ao nível da produção de borracha: a Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, SA, primeira fábrica de pneumáticos em Portugal, e a Continental AG.



Figura 15 - Fábrica de pneus da Continental em Lousado
(Marques, 2020)

A fábrica de pneus é a maior empresa do Grupo Continental em Portugal, e está localizada no Norte do país, em Lousado, Vila Nova de Famalicão.

Atualmente, a fábrica dispõe de duas unidades de produção: pneus ligeiros (*Passenger Light & Truck Tires* - PLT) e pneus agrícolas e *off the road* (*Commercial Specialty Tires* – CST), tendo uma produção muito variada quer em medidas, quer em tipos, quer em marcas (Figura 16 e Figura 17).

Figura 16 - Diferentes marcas de pneus produzidas na CMIP
(Continental Portugal, n.d.)



Figura 17 - Principais clientes de Equipamento de Origem

Em 2019, a empresa atingiu uma produção superior a 18 milhões de pneus para viaturas de passageiros e comerciais ligeiros; e mais de 25 mil de pneus agrícolas e OTR (*Off the Road*). Mais de 98% da produção destina-se à exportação, ocupando a Continental Mabor o 5º lugar no *ranking* que o Instituto Nacional de Estatística (INE) divulga todos os anos sobre as maiores exportadoras do país (Varzim & Santos, 2020).

Enquanto empresa, ousa inovar e antecipar as necessidades dos clientes; desenvolver produtos de alta tecnologia; ser excelente no conhecimento e nos processos; ser rentável de forma sustentada e ser eficiente. No grupo, a fábrica de Lousado tem recebido a distinção de melhor fábrica em termos de eficiência, e uma das melhores nos indicadores de Qualidade (Continental Portugal, 2020).

3.2.1 Estrutura Organizacional

Com as duas unidades de produção de pneus ligeiros e de pneus agrícolas, a empresa é composta por uma força de trabalho de cerca de 2300 colaboradores, repartidos pelas diferentes áreas da empresa (Continental Portugal, 2020).

O organigrama apresentado na Figura 18 permite ter uma visão holística da organização da empresa.

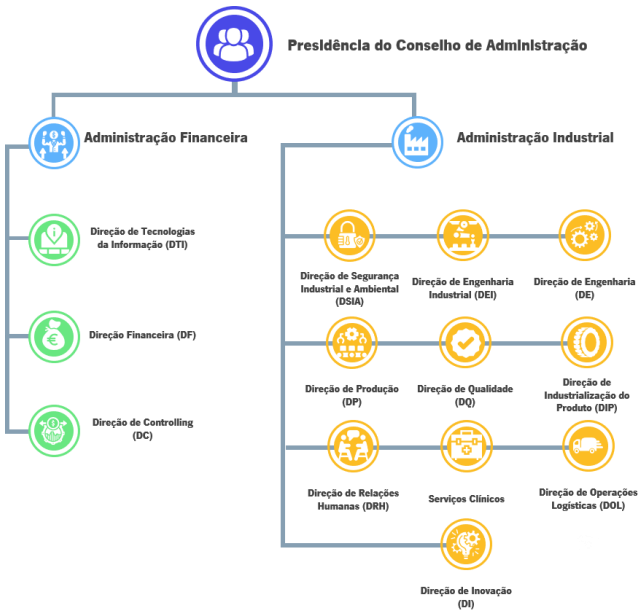


Figura 18 - Organigrama da Empresa

O presente projeto de dissertação foi acolhido pela Direção de Inovação.

3.3 O Pneu

Embora, à vista desarmada, um pneu aparente ser 100% borracha, a verdade é que, tal como ilustrado na Figura 19, este é um produto que resulta de uma combinação complexa de componentes.

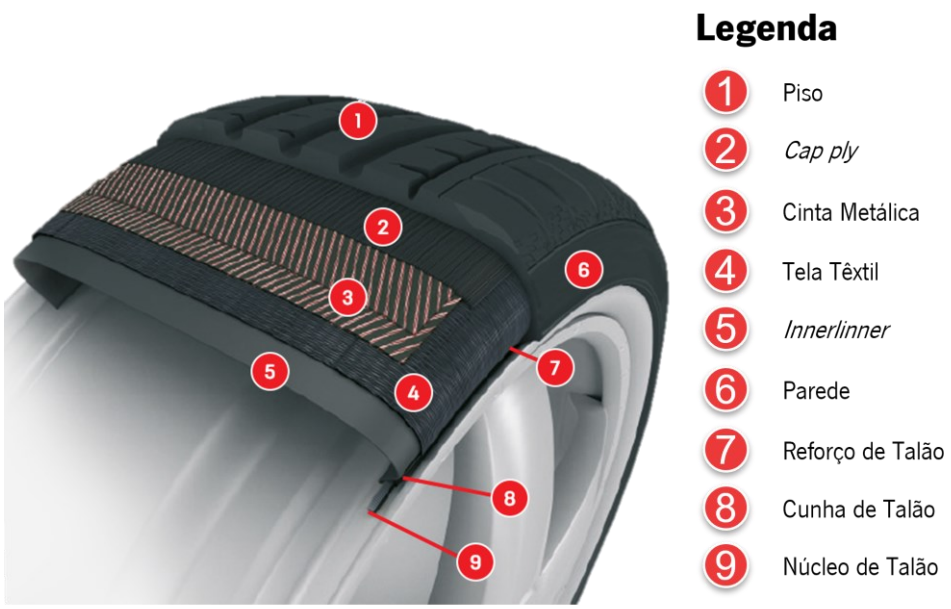


Figura 19 - Composição de um pneu
(Adaptado de Uniroyal, n.d.)

Por observação da ilustração acima, facilmente se percebe que um pneu tem na sua composição 9 elementos-chave: piso, *cap ply*, cinta metálica, tela têxtil, *innerliner*, parede, reforço de talão, cunha de talão e núcleo de talão.

O piso corresponde a um perfil grosso extrudido que envolve a carcaça do pneu. É a parte do pneu que entra em contacto com o solo (Miranda, 2009) e assegura uma elevada quilometragem, uma boa aderência à estrada e a expulsão da água (Continental Reifen Deutschland GmbH, 2010). Na sua composição conta com borracha sintética e natural (Continental Tires, n.d.-b).

Cap ply corresponde a uma camada de borracha com fios de *nylon* impregnados (Azevedo, 2016; Continental Tires, n.d.-b). Tem por objetivo impedir a expansão do pneu quando sujeito a condições de mobilidade, permitindo altas velocidades (Continental Reifen Deutschland GmbH, 2010).

A cinta metálica (também denominada de *breaker*) corresponde a uma camada constituída por fios metálicos impregnados em borracha, proporcionando ao pneu estabilidade necessária para, por um lado,

manter a pressão interna requerida e, por outro, suportar a carga e impactos laterais (Azevedo, 2016). É também o *breaker* que favorece a redução da resistência ao rolamento (Continental Tires, n.d.-b).

A tela têxtil é o resultado da junção de uma camada têxtil (normalmente *rayon* ou poliéster) com duas camadas de borracha. Este componente é responsável pelo reforço estrutural do pneu, assegurando que o mesmo mantém a sua forma (Azevedo, 2016; Continental Tires, n.d.-b).

A *Innerliner* (camada estanque) consiste numa camada extrudida à base de borracha *butyl*. Apresenta baixa permeabilidade ao ar, funcionando como câmara-de-ar nos pneus, isto é, assegurando que o ar de alta pressão dentro do pneu não é transmitido à restante estrutura do pneumático (Azevedo, 2016; Continental Tires, n.d.-b; Miranda, 2009).

No que respeita à parede, esta é composta por borracha natural e é responsável pela resistência à abrasão da parte lateral do pneu, protegendo o invólucro dos danos externos e das condições atmosféricas (Continental Reifen Deutschland GmbH, 2010). Este componente fornece ainda uma área de borracha grossa, que permite a gravação e identificação do pneu (Azevedo, 2016; Continental Tires, n.d.-b; Miranda, 2009).

Os talões são componentes inflexíveis e não elásticos, provendo a força necessária para a aplicação mecânica do pneu na jante (Miranda, 2009). O reforço do talão é um composto feito de *nylon* e aramida, que proporciona estabilidade direcional e precisão na condução (Continental Tires, n.d.-b). Por sua vez, a cunha de talão é um material de borracha sintética que, para além dos benefícios mencionados no reforço de talão, proporciona ao condutor mais conforto na condução (Azevedo, 2016; Continental Tires, n.d.-b). Finalmente, o núcleo do talão é constituído por fios de aço cobertos com borracha, e garante que o pneu se mantém firme na jante do veículo (Continental Tires, n.d.-b).

3.4 Processo produtivo

A produção de um pneu Continental acontece através de um processo com cinco fases essenciais da fabricação de pneus: Misturação, Preparação a Quente e a Frio, Construção, Vulcanização e Inspeção Final.

3.4.1 Misturação

A misturação (Figura 20) corresponde ao início do processo produtivo, onde são misturados todos os compostos (borracha sintética, borracha natural, pigmentos, óleo mineral, sílica, negro de fumo, entre

outros), para que, após passagem pelas misturadoras, a borracha possa passar para a fase seguinte (Continental Mabor, n.d.).



Figura 20 - Misturação

3.4.2 Preparação a quente e a frio

Nesta fase (Figura 21) são produzidos os talões, bem como os pisos e as paredes do pneu. As extrusoras são responsáveis pela preparação destes materiais, que seguem depois em carros de transporte para a área de construção (Continental Mabor, n.d.).



Figura 21 - Parque de talões na preparação

3.4.3 Construção

Todos os produtos fabricados nas etapas anteriores são montados nesta fase do processo (Figura 22), ficando pronto o "pneu em cru". São utilizadas as máquinas KM – constroem a carcaça do pneu, que é constituída pela camada estanque, talões e paredes laterais – e as máquinas PU – que juntam à carcaça os *breakers*, cintas têxteis e piso (Continental Mabor, n.d.).



Figura 22 - Pneu em cru na construção

3.4.4 Vulcanização

Nesta etapa (Figura 23), o pneu é submetido a elevadas temperaturas nas prensas, onde os moldes dão o aspeto final ao pneu (Continental Mabor, n.d.). Durante este processo, a borracha em bruto torna-se flexível e elástica. É gravado o padrão do piso de rodagem e são feitas as inscrições na parede lateral (Continental Tires, n.d.-a).



Figura 23 - Prensas na vulcanização

3.4.5 Inspeção Final

Nesta última etapa (Figura 24), são feitas as verificações para garantir todos os requisitos de qualidade do pneu. A verificação é feita através de métodos automáticos, visuais e/ou manuais. Depois desta fase, os pneus seguem para o armazém de produto acabado (Continental Mabor, n.d.).

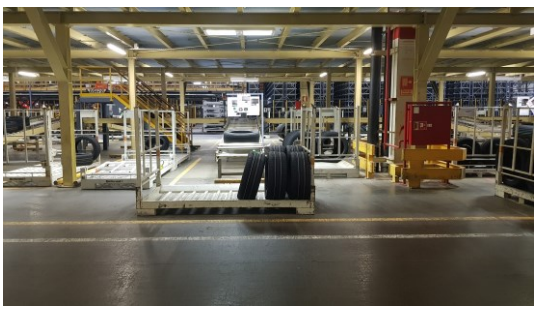


Figura 24 - Inspeção Final

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO SISTEMA DE TRANSPORTES

O presente capítulo visa descrever e analisar a situação atual da empresa no que concerne ao transporte interno de produtos e semiprodutos.

Primeiramente, é realizada uma análise global ao sistema interno de transportes de materiais; seguindo-se a identificação e caracterização das áreas estudadas. Este capítulo é suportado tanto pela documentação fornecida pela empresa, como pela informação recolhida no chão de fábrica.

4.1 Motivação para a realização do trabalho e metodologia adotada

Para assegurar o correto funcionamento do processo produtivo, é necessário garantir uma eficiente movimentação das cargas. Neste sentido, considera-se o transporte como uma atividade estruturante da empresa.

Atualmente, esta atividade envolve um conjunto de desafios, dos quais importa referir:

- Dependência de mão-de-obra humana;
- Falta de automação dos transportes;
- Elevada circulação de equipamentos no chão de fábrica;
- Acumulação excessiva de material nos *buffers* intermédios devido a entregas mais cedo que o esperado.

À data deste projeto, o transporte de matéria-prima e produtos acabados de/para pontos de armazenamento ou embarque é essencialmente assegurado recorrendo a empilhadores. Contudo, importa referir que o uso destes veículos encontra-se fortemente associado a dispêndios de energia e de eficiência, bem como a baixas condições de segurança (Sabattini et al., 2013). Os dados mais recentes da EUROSTAT apontam a atividade de transporte e armazenagem como a segunda maior causa de acidentes de trabalho na Europa (Eurostat, 2020).

Como alternativa aos tradicionais modos de transporte no chão de fábrica, surgem as tecnologias de condução autónoma, que têm sido particularmente reconhecidas pela consistência e fiabilidade no transporte e manuseio dos materiais, contribuindo ativamente para uma minimização do erro nas entregas, diminuição de irregularidades no abastecimento do cliente interno/final e minimização do risco de acidentes associados à condução de veículos de transporte e manipulação de cargas.

Com intuito de ultrapassar as adversidades inerentes ao modo de transporte atualmente adotado na empresa, surge a necessidade de estudar e desenhar um conceito de automatização dos equipamentos de transporte de produtos, para os processos atuais que recorrem a pessoas.

Assim, e com base na literatura, este projeto contempla os seguintes pontos de ação:

- Análise e levantamento dos processos internos que recorrem, atualmente, ao transporte de produtos e semiprodutos;
- Identificação de oportunidades de automatização, reconhecendo pontos de origem, destinos, produto transportado e outras informações pertinentes que auxiliem na compreensão do processo de produção;
- Recolha das necessidades/pré-requisitos para a implementação de um sistema de transporte automático em cada uma das áreas identificadas;
- Pesquisa das diferentes tecnologias de navegação e respetivos requisitos;
- Identificação da área com maior potencial de implementação de um veículo de condução autónoma;
- Desenvolvimento de um projeto piloto para a área com maior potencial;
- Definição de um plano de ação para implementação transversal de AGVs na fábrica.

Relativamente ao último ponto de ação, importa referir que a visão estratégica da empresa passa por uma automatização total dos transportes até 2030. No decorrer deste estágio, foi estudado e iniciado o projeto iTi (*intelligent Tire intralogistics*), no qual o objetivo será obter uma fábrica com um sistema de gestão e movimentação interna de materiais totalmente autónomo, recorrendo, para tal, a veículos autónomos – os AGVs – , a armazéns autónomos – ASRS – e a outros automatismos (como são casos sensores), com o intuito de melhorar o desempenho do sistema logístico e as condições de segurança. Este projeto é abordado, com maior detalhe, no capítulo 6.

4.2 Levantamento dos processos internos que recorrem a pessoas para transporte de produtos e semiprodutos

Tal como mencionado no capítulo 3, a CMIP possui duas unidades fabris a laborar em Lousado: a fábrica PLT e a fábrica CST. A Figura 25 permite perceber esta divisão da empresa.

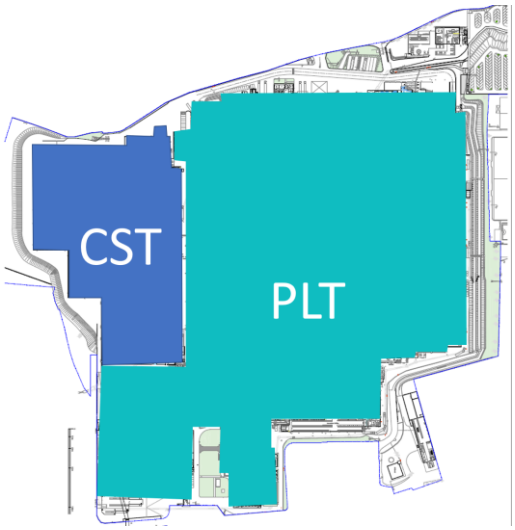


Figura 25 - Divisão das unidades fabris

A unidade de CST é recente e, por este motivo, possui um grau de automação elevado. A sua inauguração aconteceu em 2017 e, portanto, o desenrolar do projeto acompanhou as oportunidades da quarta revolução industrial. Nesta unidade, o chão de fábrica é um autêntico *showroom* onde a laboração é bastante automatizada, os corredores são amplos, as cores são claras, as máquinas possuem tecnologia de ponta e o próprio ambiente é leve. Ao nível dos transportes, esta unidade possui já AGVs que laboram simultaneamente com empilhadores para assegurar as tarefas de abastecimento do cliente interno/final. Por ser uma área já automatizada ao nível de transportes, foi descartada a análise desta unidade fabril neste projeto de dissertação. Assim, a análise dos processos de transporte foi direcionada para a unidade PLT, a qual possui 2 pisos e 6 principais divisões (Receção e manipulação de matéria-prima, Misturação, Preparação, Construção, Vulcanização e Inspeção), refletindo-se num registo total de 52 fluxos de transporte observados que recorrem, atualmente, a pessoas. A Figura 26 identifica as zonas analisadas no piso 0 da fábrica PLT.



Figura 26 – Marcação das áreas onde foram analisados transporte de materiais, no piso 0

Do mesmo modo, a Figura 27 remete para a análise efetuada no piso 1 da fábrica PLT.



Figura 27 – Identificação das áreas onde foram analisados transportes de materiais, no piso 1

O Apêndice II compila o conjunto de fluxos analisados e que constituíram candidatos a automatização.

Nem todos os processos são bons candidatos para automatizar e, portanto, tornou-se imperativo perceber quais as operações mais suscetíveis a esta mudança. Segundo a consultora Oliver Wyman e a

empresa de *software* Signavio, as seguintes condições devem ser atentadas (Chacko & Carroll, 2018; SIGNAVIO, 2019):

- O processo deve ser repetitivo e rotineiro;
- Devem considerar-se processos suscetíveis a erro humano;
- Os processos devem lidar com dados digitais;
- Devem considerar-se processos com alto volume e alta prioridade;
- O processo deve ser limitado a julgamento por parte de operadores.

Com base na revisão de literatura realizada e no conhecimento dos colaboradores da empresa que acompanharam este projeto, foram traçados, pela autora desta dissertação, pré-requisitos para avaliar o potencial das áreas, os quais se encontram divididos em "Processo", "Infraestruturas" e "Finanças". A Tabela 7 permite perceber esta divisão de conceitos:

Tabela 7 – Pré-Requisitos para a implementação de AGVs

Requisitos	Descrição
Processo	
Tarefa	A tarefa realizada deverá ser repetitiva, manual, suscetível a erro e/ ou ergonomicamente desafiante. Deverão escolher-se tarefas rígidas, isto é, que não dependam de julgamento por parte do operador. Automatizar fluxos que possuem uma elevada ocorrência é preferível a automatizar transportes residuais.
Visões Futuras	Deverá aferir-se se o processo a automatizar irá sofrer alguma modificação num futuro próximo, por forma a não dimensionar o problema para um cenário obsoleto.
Infraestruturas	
Ambiente/Espaço Físico	O espaço físico deverá possibilitar acolher o veículo e permitir a sua movimentação de forma favorável, sem comprometer a segurança do processo e dos operadores que frequentam o espaço fabril. Assim, as dimensões dos corredores/espaços de movimentação deverão ser aferidas e o impacto que a circulação destes veículos traz na circulação de pessoas e de outros equipamentos no espaço fabril deverá também ser avaliado.
Conexão à rede	Um AGV pressupõe movimento e, por isso, não poderá estar conectado fisicamente a uma rede. Deverá, portanto, existir uma ligação *wireless* que permita uma comunicação entre o AGV e o *software* de gestão do veículo, o PLC de uma máquina, os ***softwares*** de gestão da empresa, o sistema de gestão da frota do veículo, etc.
Finanças	
Investimento	Os veículos guiados autonomamente requerem investimentos iniciais avultados, pelo que deverá aferir-se a disponibilidade para este investimento antes do desenvolvimento de um projeto de implementação.

Com estes critérios e requisitos em mente, foi elaborada, pela autora desta dissertação, uma análise SWOT para cada transporte estudado, onde foram apurados os pontos a favor e contra um cenário de automatização, bem como oportunidades e ameaças a esta transição para a indústria 4.0. A Figura 28 exemplifica uma das avaliações realizadas, retratando a observação do transporte de mesas de composto

de borracha desde os paletizadores automáticos até ao armazém automático, apelidado de ACS 1 (*Autonomous Compound Storage System*).

Continental

Zona: ACS 1

Prós	Contras
• Tarefa repetitiva • Tipo de palete utilizada é sempre a mesma (retangular) • Utilização do ACS 1 é elevada	• ACS para muitas vezes - ao final de 3 paletes, ACS por vezes não consegue responder e transportador tem de fazer "*setup*" à máquina • ACS 1 demora a processar algumas paletes, necessitando que o empilhador recoloque a palete na plataforma de entrada - Existe algum julgamento por parte do operador. • Afluência variável: se ACS criar situações de paragem, cria-se fila na zona, obstruindo-se as passagens
Oportunidades de automatização	**Grandes impedimentos/ameaças**
• Automatizar entrada de material no ACS 1	• Avarias do ACS 1

Figura 28 – Análise SWOT para avaliação da zona "ACS1"

Foi efetuada, ainda, para cada área, uma coleta de dados relativamente a dimensões dos corredores, caracterização da carga transportada (comprimento, largura, altura e peso) e desenhos do *layout*. Para cada fluxo de material observado, foi registado o ponto de origem, o ponto de destino, o *trigger* que despoleta a operação e o veículo utilizado. Para cada área, foram marcados, no *layout*, os fluxos dos transportadores. Foram, ainda, recolhidos os *softwares* de gestão de *stock* utilizados em cada zona. O Apêndice I contempla a ilustração de um registo completo desta informação.

Por forma a realizar um primeiro crivo e decidir o transporte que seria alvo de um estudo mais pormenorizado, cada operação foi posteriormente avaliada numa matriz de decisão de peso ponderado (Apêndice II), utilizando, para tal, a fórmula (3):

$$C_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \times r_{ij} \tag{3}$$

Importa denotar que C_i corresponde à pontuação global da operação i; w_j corresponde ao peso ponderado do critério j e r_{ij} corresponde à pontuação atribuída à operação i segundo o julgamento do critério j.

Assim, e assente nos pré-requisitos traçados e nos contributos estudados na literatura, foram delineados os seguintes critérios de avaliação de potencial de automatização:

- Repetibilidade da tarefa;

- Tráfego existente no local;
- Redução de mão-de-obra esperada;
- Melhorias de segurança esperadas com a automatização;
- Espaço disponível para movimentação;
- Frequência do transporte;
- Facilidade de implementação.

Por forma a criar um *standard* para a avaliação, foi elaborada a Tabela 8, que identifica, para cada critério, os indicadores de avaliação e as regras para atribuição da pontuação.

Tabela 8 – Critérios de avaliação aplicados para filtrar a área mais favorável a desenvolver o caso de estudo

Critério de avaliação	Indicador	Atribuição de pontos por critério
Repetibilidade da tarefa	Acontecimentos/hora	**10:** acontecimentos/ hora = 100% de acontecimentos observados **9:** acontecimentos/ hora = 90% de acontecimentos observados **8:** acontecimentos/ hora = 80% de acontecimentos observados **7:** acontecimentos/ hora = 70% de acontecimentos observados **6:** acontecimentos/ hora = 60% de acontecimentos observados **5:** acontecimentos/ hora = 50% de acontecimentos observados **4:** acontecimentos/ hora = 40% de acontecimentos observados **3:** acontecimentos/ hora = 30% de acontecimentos observados **2:** acontecimentos/ hora = 20% de acontecimentos observados **1:** acontecimentos/ hora = 10% de acontecimentos observados **0:** acontecimentos/ hora < 10% de acontecimentos observados
Tráfego	Número de fluxos cruzados/hora	**3 (Heavy):** nº fluxos cruzados/ hora > 50% do total de casos observados **2 (Medium):** nº fluxos cruzados/ hora = 50% do total de casos observados **1 (Low):** nº fluxos cruzados/ hora < 50% do total de casos observados
Redução de mão-de-obra esperada	Número de operadores que desempenham a tarefa	**10:** 100% de mão-de-obra reduzida **9:** 90% da mão-de-obra reduzida **8:** 80% da mão-de-obra reduzida **7:** 70% da mão-de-obra reduzida **6:** 60% da mão-de-obra reduzida **5:** 50% da mão-de-obra reduzida **4:** 40% da mão-de-obra reduzida **3:** 30% da mão-de-obra reduzida **2:** 20% da mão-de-obra reduzida **1:** 10% da mão-de-obra reduzida **0:** <10% da mão-de-obra reduzida
Melhoria de condições de segurança	Expectativa de melhoria	**3:** Eliminação/diminuição da incidência de tarefa que atualmente é manual e redução do número de empilhadores em circulação **2:** Redução do número de empilhadores em circulação **1:** Eliminação de tarefa que atualmente é manual **0:** Nenhuma influência no cenário atual

Critério de avaliação	Indicador	Atribuição de pontos por critério
Espaço disponível para movimentação[1]	Dimensão dos Corredores	**2:** dimensões > recomendação **1:** dimensões = recomendação **0:** dimensões < recomendação
Frequência do transporte	Número de transportes/hora	**3:** Transporte que se repete várias vezes num turno e percorre distâncias longas (mais de 100 metros) **2:** Transporte que se repete várias vezes num turno e percorre distâncias curtas (menos de 100 metros percorridos) **1:** Transporte residual (acontece de forma esporádica ao longo de um turno)
Facilidade de implementação	Alterações necessárias	**3:** Poderia ser implementado de imediato **2:** Requer ligeiras modificações nas estruturas/equipamentos (exemplo: correção de equipamentos/edifícios/armazéns; modificações no *layout*, etc.) **1:** Requer alterações nas infraestruturas (exemplo: alteração de edifícios; aquisição de armazéns automáticos; criação de novos parqueamentos, etc.)

O peso ponderado para cada critério foi atribuído em colaboração com a empresa, considerando o grau de importância que cada critério tem, à data, para a Continental. A escala utilizada foi a escala de *Likert* de 7 pontos. O significado de cada classificação está descrito na Tabela 9.

Tabela 9 – Graus de importância segundo a escala de Likert de 7 pontos

Graus de importância	Significado
1	Nada importante
2	Pouco importante
3	Neutro
4	Moderadamente importante
5	Importante
6	Muito importante
7	Extremamente importante

A classificação atribuída aos critérios fica resumida na Tabela 10.

[1] Segundo os requisitos de segurança da empresa, as seguintes regras têm de ser consideradas:

		Trânsito Unidirecional	Trânsito Bidirecional
Número de corredores pedonais existentes	2	**$R = 0{,}75 + dim_{carga} + 0{,}75$**	**$R = 0{,}75 + dim_{carga} + 0{,}4 + dim_{carga} + 0{,}75$**
	1	**$R = dim_{carga} + 0{,}75$**	**$R = 0{,}5 + dim_{carga} + 0{,}4 + dim_{carga} + 0{,}75$**
	0	**$R = 0{,}5 + dim_{carga} + 0{,}5$**	**$R = 0{,}5 + dim_{carga} + 0{,}4 + dim_{carga} + 0{,}5$**

Em que **dim_{carga}** corresponde à medida da face da carga que é transportada frontalmente e **R** corresponde à dimensão recomendada para o corredor.

Tabela 10 – Valores da escala de *Likert* atribuídos pela empresa aos critérios de avaliação especificados na Tabela 8

Critério	Escala de importância
Redução de mão-de-obra esperada	5
Facilidade de implementação	7
Frequência do transporte	7
Espaço disponível para a movimentação	6
Melhoria de condições de segurança esperadas (colisões, ergonomia, etc.)	4
Tarefa repetitiva	4
Tráfego (pessoas, equipamentos, ...)	3

Uma vez preenchida a matriz, foi gerado um gráfico de prioridades. O gráfico da Figura 29 espelha os resultados obtidos nesta avaliação, por aplicação da fórmula (4), em termos percentuais:

$$Potencial\ de\ automatização = \frac{Ci}{\sum_{j=1}^{n} w_j \times Max\ r_{ij}} \quad (4)$$

Ci corresponde à pontuação global atribuída ao fluxo candidato i, através da aplicação da fórmula (3); w_j corresponde ao peso ponderado do critério j e $Max\ r_{ij}$ corresponde à pontuação máxima que a operação i pode obter segundo o julgamento do critério j. Dado o grande número de fluxos candidatos, o gráfico da Figura 29 foi desenhado para mostrar apenas os 10 primeiros classificados.

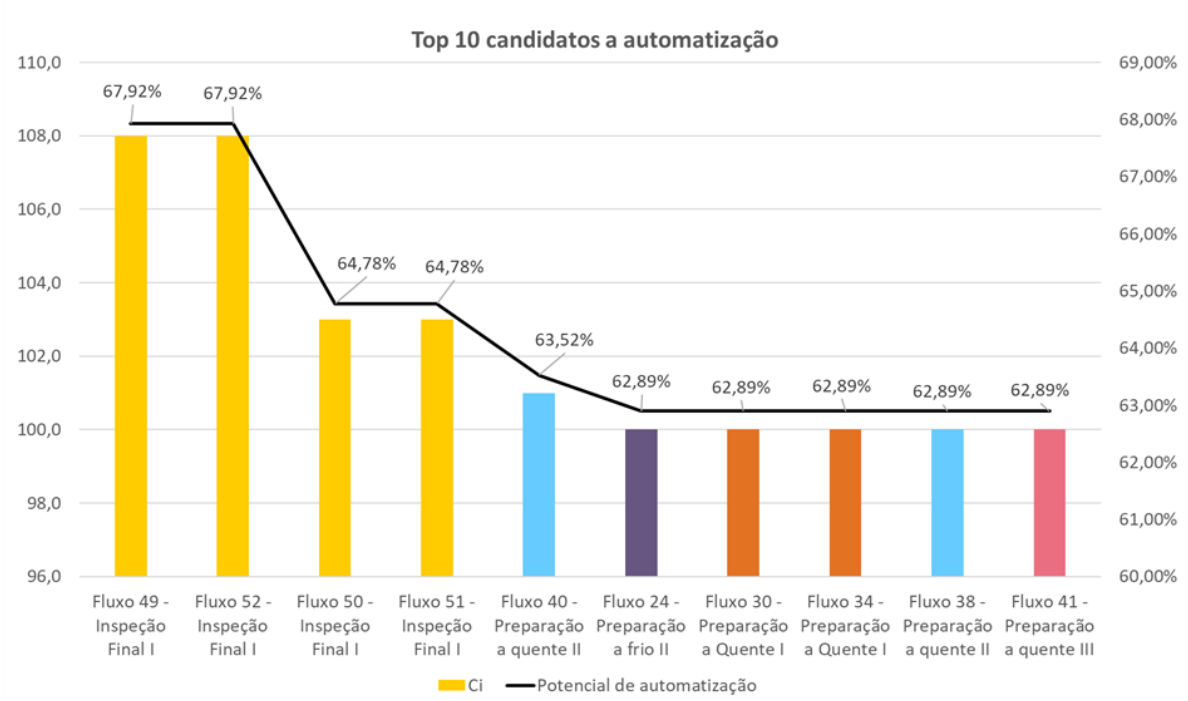


Figura 29 - Priorização das áreas suscetíveis a automatização

Por análise do gráfico acima ilustrado, é possível compreender que os fluxos 49, 52, 50 e 51 apresentam a pontuação geral mais elevada. Por este motivo, e por serem transportes que pertencem à mesma área,

será sobre estes transportes que se incidirá um estudo mais profundo de um cenário de implementação de veículos de transporte guiados autonomamente

4.3 Caso de Estudo na Inspeção Final

Os quatro fluxos selecionados correspondem a movimentações de materiais na mesma área: a Inspeção Final. Assim, este capítulo destina-se a caracterizar a situação atual no domínio da Inspeção Final.

4.3.1 *Overview* do processo na Inspeção Final

Tal como apresentado na secção 3.4.5, a Inspeção Final corresponde à última etapa do processo produtivo e encontra-se dividida em Inspeção Final I, daqui para a frente denominada por IFe Inspeção Final II (ilustradas a vermelho na Figura 30).

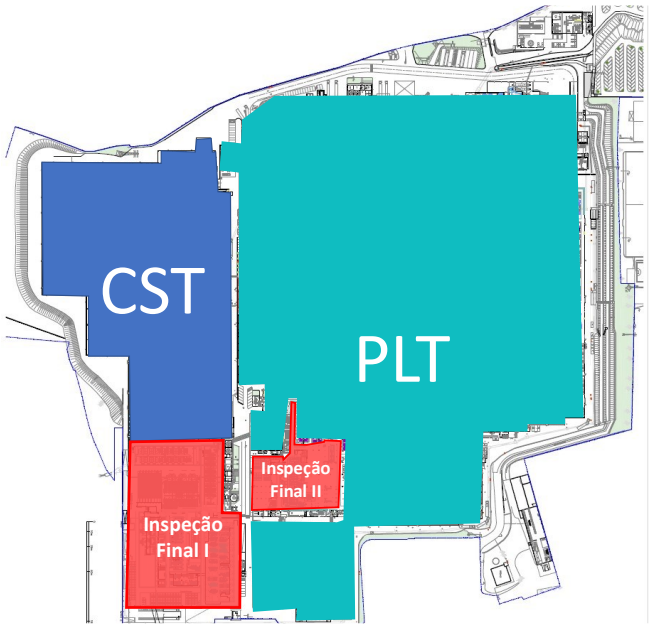


Figura 30 - *Layout* geral da fábrica, com "*highlight*" da divisão da Inspeção Final

Após a vulcanização, os pneus são transportados, em modo automático, em tapetes transportadores, até à Inspeção Final II, onde são inspecionados, visualmente, por operadores. Se os requisitos de qualidade forem cumpridos, os pneus são transportados por *overhead conveyors* até à Inspeção Final I. Uma vez chegados à Inspeção Final I, os pneus circulam em passadeiras equipadas com sensores, sendo submetidos a testes de uniformidade e testes de balanceamento. Caso os pneus tenham obtido classificação positiva em todos os testes aos quais foram previamente submetidos, então são direcionados para uma das 3 saídas seguintes:

- Armazenamento automático em altura (HBS);

- Armazenamento automático em 1 nível;
- Torres de paletização.

A atribuição da saída está dependente do tipo de consumidor final. Na secção 3.2 foi referido que a Continental Mabor possui um portefólio alargado de artigos. Estes artigos são agregados em dois grandes clientes: mercado de substituição (MS) e mercado de equipamento de origem (OE). Os artigos MS são direcionados para os armazéns automáticos, ao passo que os artigos OE são direcionados para as torres de paletização.

Posteriormente, os pneus têm de ser colocados nas paletes para que possam ser expedidos. Os pneus de mercado de origem são paletizados manualmente, ao passo que os pneus de mercado de substituiçãosão paletizados de forma automática, em *robot*s colaborativos.

A paletização nos *robot*s colaborativos está diretamente interligada com o número de pneus armazenados nos armazéns automáticos (armazenamento intermédio). Quando, no armazém automático, existe uma quantidade suficiente de artigos do mesmo tipo, os mesmos são automaticamente enviados para tapetes automáticos e direcionados para um dos *robot*s disponíveis, despoletando o início da paletização. Existem diferentes tipos de medidas de pneu, sendo que, mediante a medida, são definidos o número ótimo de pneus por palete e o *layout* de paletização. Por este motivo, o tempo de paletização não é fixo, estando dependente do número de pneus por palete.

Finda a paletização, as paletes são transportadas, por empilhadores, até à área de "*Handover* 3PL – Continental". Os armazéns da Continental Mabor são geridos por uma empresa externa de operações logísticas (3PL) e, neste sentido, todas as paletes movidas na Inspeção Final têm de ser entregues na área de *Handover*, para que a empresa de Logística rececione o material e o organize para ser expedido para o armazém de produto acabado (APA). A Figura 31 ilustra a localização da IF e do APA.



Figura 31 - Ilustração da localização do cais de despacho na Inspeção Final e do Armazém de Produto Acabado (Adaptado de Google Earth, n.d.)

A Figura 32 permite perceber o *layout* da Inspeção Final I, com os respetivos fluxos de materiais assinalados.

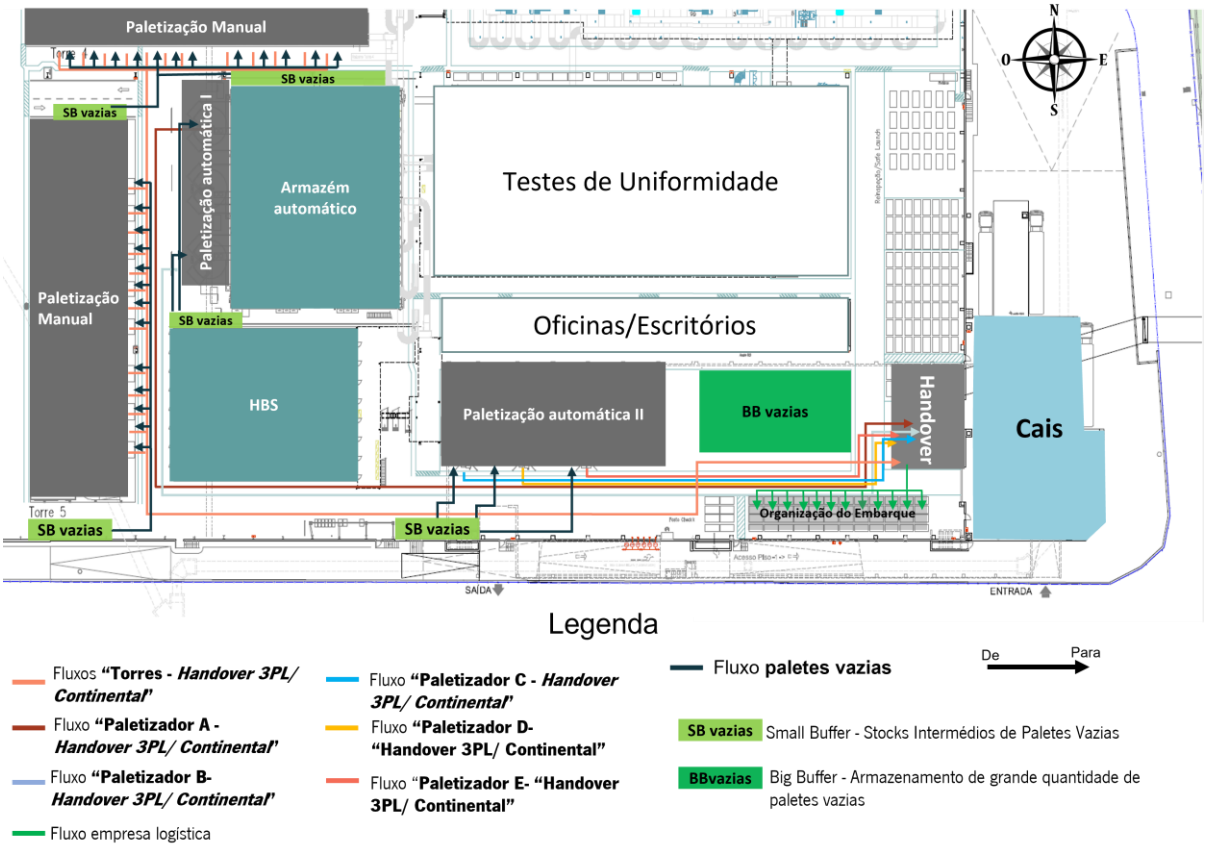


Figura 32 - *Layout* da Inspeção Final I com a marcação de fluxos

Por observação da Figura 32, é desde já percetível que esta é uma área marcada por uma grande afluência de transportes. À data do projeto, a Continental labora 24 horas por dia, 7 dias por semana, funcionando em regime de turnos. Em cada turno, existem transportadores Continental, com empilhadores, dos quais 50% asseguram o transporte de material na ala Oeste, isto é, Paletização automática I (consultar a Figura 32) e os restantes asseguram o transporte de material na área Este - Paletização automática II (consultar a Figura 32). A empresa externa de operações logísticas conta com uma equipa de transportadores a efetuar o transporte, assegurando o embarque e despacho das paletes da IF para o APA, bem como a entrada, na Inspeção Final I, de paletes vazias que provêm do APA.

A Continental possui camiões destinados a efetuar o trajeto "Inspeção Final ↔ Armazém de Produto Acabado". Diariamente, e a cada hora, os camiões visitam a Inspeção Final I a fim de efetuar o transporte de paletes com pneus da IF para o APA. Os horários de transporte são pré-definidos pelo departamento de operações logísticas da Continental. Cada camião é carregado com paletes com pneus transportadas empilhadas em dois níveis, tal como sugere a Figura 33.

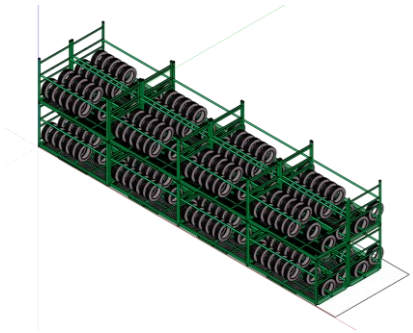


Figura 33 - Disposição das paletes no camião

O APA encontra-se dividido em 10 naves, as quais estão organizadas segundo a importância do artigo para as vendas. Entenda-se por nave uma secção do armazém destinada a artigos que partilham o mesmo grau de importância. A título de exemplo, artigos do tipo A são alocados às naves que se localizam mais perto do cais de saída, ao passo que artigos do tipo C, por terem menos rotação e, portanto, menos impacto nas vendas, são destinados às naves que se encontram mais longe do cais.

No edifício da IF, e tal como observável na Figura 32, existe uma zona de preparação do embarque ao encargo da empresa externa de operações logísticas, a qual é apelidada de *Shuttle*, e que possui 12 filas, cada uma com 4 posições em profundidade, permitindo colocar 16 paletes por fila, empilhadas em 4 níveis. Cada fila corresponde a uma das naves do APA. Para um melhor entendimento desta configuração, a Figura 34 exemplifica a organização de uma fila na zona de preparação para embarques.

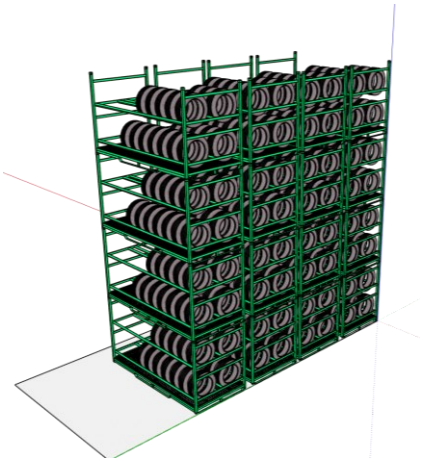


Figura 34 - Exemplo de organização de uma fila na zona de preparação para embarque

Cada palete tem um destino pré-definido, o qual fica caracterizado por "Nave – Fila – Posição". A título de exemplo, o código 01-02-03 significa que o artigo tem de ser movido para a nave 1 e colocado na fila 2, na posição 3. Quando os pneus se encontram a ser paletizados no paletizador automático, os códigos de barras do pneu e da palete são lidos através de um leitor de código de barras, e é atribuído, pelo

software SAP, um destino ao conjunto. No caso da paletização manual, a leitura dos códigos é efetuada pelos condutores do empilhador, com recurso a um leitor de código de barras móvel, antes de a palete ser movida para o seu destino. Uma vez chegada à zona de *Handover*, os operadores logísticos da empresa externa leem o código de barras da palete e movem a palete para a fila do *shuttle* que foi selecionada pelo *software* SAP como sendo a homóloga à posição de destino na nave do armazém de produto acabado.

Por existirem naves que, naturalmente, armazenam uma maior quantidade de artigos que outras, então, na IF, pode existir mais que uma fila para a mesma nave, por exemplo, Fila Nave 1 e Fila Nave 1.1.

Esta arrumação intermédia permite preparar a organização do camião. Idealmente, um camião é carregado com paletes da mesma nave , mas em alturas em que a produção se encontra mais baixa, é permitido misturar paletes de naves diferentes no mesmo camião, de forma a cumprir os horários de carga e descarga. Contudo, é exigido que cada par de paletes empilhadas no camião, tenha a mesma nave de destino, isto é, cada pilha de paletes tem de pertencer à mesma nave, por forma a permitir uma melhor gestão e eficiência na carga e descarga dos camiões.

Relativamente às paletes vazias, estas são transportadas do APA para a Inspeção Final I quando o coordenador de turno da empresa de operações logística solicita reaprovisionamento de paletes. Esta é uma atividade sem regra definida, dependendo do julgamento e experiência do coordenador. Regra geral, os coordenadores encomendam paletes 7 a 8 vezes por turno. Cada camião transporta sempre 70 paletes vazias de cada vez. As paletes vazias que chegam à Inspeção Final I são movimentadas, pelos operadores da empresa de serviços logísticos, para o *buffer* identificado na Figura 32 com a nomenclatura “BB”. Posteriormente, à medida que é necessário reabastecer os buffers mais pequenos (sinalizados por SB na Figura 32), então os transportadores Continental dirigem-se ao BB e coletam paletes para transportar para os SB. Por questões de segurança, podem ser transportadas, no máximo, 6 paletes empilhadas.

4.3.2 Transporte Inspeção Final: caracterização da situação atual

Pela descrição realizada no capítulo 4.3, é possível entender que estamos perante um movimento de *outbound* logístico marcado por dois fluxos principais de materiais: movimento de paletes cheias e movimento de paletes vazias.

As paletes cheias podem provir de dois pontos distintos, - paletização manual (torres de paletização) ou paletização automática (*robots* de paletização) -, sendo que o ponto de destino é comum: o ponto de "Handover 3PL – Continental".

Uma vez retirada uma palete cheia, há a necessidade de realimentar o posto com uma palete vazia, por forma a permitir o início de uma nova paletização. Existem vários *buffers* distribuídos por esta área e, portanto, a decisão do *buffer* de onde se deve retirar a palete vazia está assente na distância mais curta, isto é, os transportadores optam por retirar material do *buffer* que se encontra mais perto do ponto de reabastecimento com esse mesmo material. O tempo de reabastecimento com palete vazia deve ser o mais reduzido possível para otimizar a produção. Regra geral, mal uma palete cheia é retirada e movimentada, uma palete vazia deve ser colocada na célula de onde foi retirada a palete cheia, dando-se preferência a reabastecer um posto com palete vazia antes de retirar uma palete nova de outro posto.

Não existem rotas pré-definidas para os transportadores, sendo que o *trigger* que despoleta a tarefa é visual, ou seja, os transportadores deslocam-se até aos locais de *picking* numa procura por uma palete pronta para ser movida. Importa notar que, por este motivo, há viagens que são realizadas sem movimentar qualquer material, contribuindo para o desgaste do veículo e importação de custos evitáveis ao produto; do mesmo modo, este tipo de procedimento baseado na observação e experiência dos operadores conduz a um número excessivo de distâncias percorridas por turno.

As paletes são movimentadas empilhadas em dois níveis ou em unidades singulares. Quando os transportadores identificam duas paletes de produto acabado prontas para ser movimentadas para o ponto de "*Handover* 3 PL – Continental", então retiram as paletes e empilham-nas, transportando duas de uma só vez; caso, naquele momento, não existam duas paletes disponíveis para movimentar ou caso o ciclo de paletização não esteja próximo de terminar, então os operadores podem optar por: a) - movimentar apenas uma palete até ao ponto de destino ou b) - retirar a palete cheia e pousar no chão, perto da máquina, esperando por uma segunda palete, por forma a permitir deslocar duas paletes de uma só vez. Assim, esta atividade depende do julgamento por parte do transportador alocado à tarefa.

4.3.3 Ala Oeste vs Ala Este

Por observação dos fluxos demarcados no *layout* da Figura 32, e colocando especial foco nas torres de paletização, é possível compreender, pela quantidade de setas marcadas no desenho da fábrica, que existem diversas posições de paletização neste posto. Na realidade, para além das posições "em chão", existem posições paralelas acima do solo, isto é, num piso superior. O piso superior encontra-se a 4 metros do solo e, portanto, há a necessidade de o empilhador elevar os garfos em altura para recolher

palete ou reabastecer a estação Importa também referir que esta é uma tarefa com bastante expressão ao longo do turno.

Pelo que supra foi referido, percebe-se que esta é uma tarefa que exige movimentos muito controlados para garantir a segurança da operação. Assim, e depois de reunir opiniões quer das pessoas do departamento de Inovação, quer de fornecedores deste tipo de tecnologias, considerou-se que o AGV poderia ter alguma dificuldade em recolher, com segurança, a matéria em altura. Neste sentido, foi descartada, desta análise, a proposta de automatização de transporte de material desde as torres até ao ponto de "*Handover* 3PL – Continental". Inicialmente, foi colocada a hipótese de automatizar o transporte apenas no rés-do-chão do edifício, contudo, chegou-se à conclusão de que, por continuar a ser necessário existir empilhadores para manusear o material no piso superior das torres, poderia haver conflito ao normal funcionamento do AGV se este fosse colocado num ambiente onde tivesse de coexistir quer com empilhadores, quer com humanos. Pelos argumentos suprarreferidos e uma vez que existia, à data do projeto, uma ideia de reestruturação da ala oeste para substituição das torres por paletizadores automáticos, então a automatização dos transportes na ala Oeste poderá ser idealizada aquando da reestruturação, tendo-se direcionado o projeto piloto para os transportes efetuados na ala Este. Com esta decisão, foi então desenvolvido um projeto piloto para um nicho da Inspeção Final, podendo, mais tarde, aquando do desenrolar do projeto de automatização total da Inspeção Final, estender o método aplicado para implementar AGVs no restante chão de fábrica da área. Em adição, o desenvolvimento de um projeto de automatização da ala Este acabou por se revelar importante pois, à data desta dissertação, existia um projeto de automatização, a decorrer, associado ao despacho de material para o APA, possibilitando-se, assim, a automatização total dos transportes de uma das partes da Inspeção Final.

4.3.4 Descrição do processo de transporte na ala Este

Para uma melhor compreensão do processo efetuado na ala Este, e por forma a sumarizar as informações até aqui descritas, foi elaborado o gráfico sequencial da Tabela 11, que não só resume as atividades que decorrem nesta zona, como também apresenta um registo dos respetivos tempos de trabalho e distâncias percorridas.

Foi considerado o cenário de movimentação simultânea de duas paletes, pois é o modo de operação mais comum.

Tabela 11 - Gráfico Sequencial do processo de transporte e paletização de pneus

Fluxograma Vertical do Processo				
Material: Paletes **Processo:** Transporte e Paletização de Pneus	**Atividade**	**Atual**	**Proposta**	**Ganho**
	Operação	263.81		
	Transporte	176.63		
	Espera/Armazenamento temporário	380.4		
Local: Inspeção Final Nova, Paletização Automática	Controlo	4.12		
Método: (x) Presente ( ) Proposto	Armazenagem	-		
	Distância total (*metros*)	287		
Folha 1/2	Tempo total (min)	13.75		

	Atividade	**Quantidade**	**Distância média (m)**	**Tempo (s)**	**Tipo de Atividade**					**Observações**
					○	⇨	D	□	▽	
1	Mover palete vazia para o *robot*	1	11	13.05						Empilhador Continental
2	Abrir palete			4.77						2 operadores
3	Carregar no botão para que a palete seja reconhecida pelo *robot*			1.24						
4	Encher palete com pneus			249.21						Tempo médio de uma máquina de paletização automática
5	Remover palete cheia do *robot*	1	3	6.63						Empilhador Continental
6	Colocar palete no solo		16	8.09						Empilhador Continental
7	Esperar por uma segunda palete para ser retirada			80.04						
8	Empilhar em dois níveis			8.59						
9	Mover para ponto "*Handover* 3PL – Continental"	2	83	29.52						Empilhador Continental
10	Ler *barcode* da palete e confirmar número de pneus			4.12						
11	Mover palete para *shuttle* de preparação do embarque	2	18	11.24						Empilhador empresa externa de operações logísticas
12	Armazenar temporariamente até chegada do camião			300						
13	Mover paletes do *shuttle* para o cais	2	39	26.2						Empilhador empresa externa de operações logísticas
14	Mover paletes do cais para o camião	2	30	24						Empilhador empresa externa de operações logísticas

Fluxograma Vertical do Processo				
Material: Paletes **Processo:** Transporte e Paletização de Pneus	**Atividade**	**Atual**	**Proposta**	**Ganho**
	Operação	263.81		
	Transporte	176.63		
	Espera/Armazenamento temporário	380.4		
Local: Inspeção Final Nova, Paletização Automática	Controlo	4.12		
Método: (x) Presente ( ) Proposto	Armazenagem	-		
	Distância total (*metros*)	287		
Folha 2/2	Tempo total (min)	13.75		

	Atividade	Quantidade	Distância média (m)	Tempo (s)	Tipo de Atividade					Observações
					○	⇨	D	□	▽	
15	Mover palete vazia do camião para *buffer* grande de paletes vazias		27	17.90						Empilhador empresa externa de operações logísticas
16	Mover paletes vazias para *buffers* intermédios		60	40						Empilhador empresa externa de operações logísticas
	TOTAL		287	824.6	4	9	2	1	0	

A Tabela 12, construída com base no trabalho de Costa & Arezes (2003) clarifica o significado de cada símbolo atribuído.

Tabela 12 – Clarificação da simbologia utilizada no gráfico sequencial

Designação	Símbolo	Significado
Operação		Representa as fases principais de um processo. Regra geral, o produto/material/matéria/peça é alterado ou modificado durante a operação.
Transporte		Representa deslocações de pessoas, matérias ou materiais de um ponto para outro.
Espera/Armazenamento temporário		Descreve um atraso ocorrido no decorrer de uma série de acontecimentos, como, por exemplo, a espera para movimentar material entre duas operações consecutivas.
Controlo		Indica controlo da qualidade e/ou verificação da quantidade.
Armazenagem permanente		Armazenagem controlada em que é requerida uma certa "autorização" para que o material, ou matéria, possa dar entrada ou saída do armazém.

Para obter os tempos dos elementos, foi realizado um estudo de tempos recorrendo a uma observação direta intensiva (cronometragem).

No recurso a esta técnica, existe um conjunto de variáveis aleatórias, tais como ligeiros erros de cronometragem, condições do meio e ritmo do operador, que impedem uma leitura constante para a mesma atividade (Costa & Arezes, 2003). Assim, e por forma a obter uma amostra representativa, com um nível de confiança (NC) de 95% e uma precisão de ±5%, foi determinado, para cada atividade, o

número mínimo de observações a efetuar (N'). Nestas condições de NC = 0,95, o nível de significância (ε) aplicado é de 0,05 e, consequentemente, utiliza-se um Z=1,96. Habitualmente, o valor de Z é arredondado para 2 unidades, tendo sido utilizado, para efeitos de cálculo neste estudo, um Z=2.

O valor de N' foi obtido através dos valores da média (m) e do desvio padrão (s), recorrendo, para tal, à equação (5):

$$N' = \left(\frac{Z * s}{\varepsilon * m}\right)^2 \tag{5}$$

Sendo N o número de observações efetuadas, então considerou-se ter uma amostra representativa quando a condição N'≤ N foi satisfeita.

O desvio padrão, por sua vez, foi obtido por duas vias. Para amostras com menos de 30 observações efetuadas, aplicou-se a equação (6):

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} \tag{6}$$

Para amostras superiores a 30 observações, (N≥30), a equação (7) foi aplicada:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N}} \tag{7}$$

O estudo efetuado para cada atividade encontra-se discriminado no Apêndice III do presente documento. Pela natureza inconstante de algumas tarefas, - como são caso "Esperar palete", "Aguardar até ser necessário mover para o camião" e atividades que dependem de distâncias -, não foi possível realizar o número mínimo de observações recomendadas, tendo sido efetuado o número máximo de observações possíveis para o tempo do projeto. No caso dos tempos para realizar os movimentos "Mover paletes cheias do *shuttle* para cais" e "Mover paletes cheias das naves do cais para o camião" ao invés de cronometragem, foi calculado o tempo de viagem considerando a velocidade e a distância. Para obter a velocidade dos veículos, foi efetuado, do mesmo modo, um estudo dos tempos, disponível no Apêndice III. As distâncias foram obtidas por análise ao *layout*, recorrendo, para tal, ao *software* AutoCAD.

Em suma, e pela análise das atividades destacadas no fluxograma vertical, é desde já possível entender que esta área é fortemente marcada por atividades de transporte que, sendo essenciais, não acarretam valor acrescentado ao produto final. Pelo gráfico circular da Figura 35 e pela Tabela 13, é ainda possível verificar que apenas 6% das atividades se traduzem em valor acrescentado para o produto, o que significa

que há uma necessidade de eliminar, reduzir ou otimizar as atividades atualmente desempenhadas nesta área da Inspeção Final.

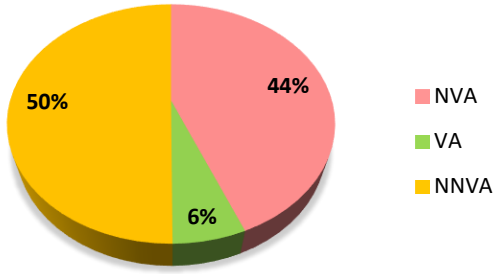


Figura 35 - Classificação das tarefas quanto ao seu valor para o cliente

A Tabela 13 discrimina os dados que permitiram obter o gráfico da Figura 35.

Tabela 13 - Classificação, de cada tarefa, quanto ao seu valor acrescentado

Atividade	Elemento(s) da Atividade	Classificação
Paletizar	Mover palete vazia para o *robot*	NNVA
	Abrir palete	NVA
	Carregar no botão para que a palete seja reconhecida pelo *robot*	NVA
	Encher palete com pneus	VA
Mover palete para o destino	Remover palete cheia	NNVA
	Colocar palete no solo	NVA
	Esperar por saída de 2ª palete para movimentar duas paletes empilhadas	NVA
	Empilhar em dois níveis	NVA
	Mover palete cheia para ponto "*Handover* 3PL - Continental"	NNVA
Preparar embarque (Empresa de Operações Logísticas)	Ler *barcode* da palete e confirmar número de pneus	NVA
	Mover palete cheia do ponto *double check* para *shuttle* para organizar por naves	NNVA
	Armazenar paletes até ser necessário mover	NVA
	Mover paletes cheias do *shuttle* para o cais	NNVA
	Mover paletes cheias do cais para o camião	NNVA
Reabastecer os *buffers* de vazias	Mover paletes vazias do camião para *buffer* grande de paletes vazias	NNVA
	Mover paletes vazias do *buffer* grande para *buffers* intermédios	NNVA

Por último, interessa referir que quando um empilhadora entrega material no destino, regressa quase sempre ao ponto de origem sem movimentar qualquer tipo de carga. Estas viagens em vazio são, também, consideradas um desperdício para o processo. Em média, são efetuados 27 transportes por hora de paletes cheias desde a paletização automática até ao ponto de *handover*, e, devido à política de reabastecimento, são movidas, do mesmo modo, 27 paletes vazias desde os buffers até às células de paletização automática. O número médio de paletizações realizadas em cada célula de paletização encontra-se representado na Tabela 14.

Tabela 14 – Número médio de paletizações realizadas por célula de paletização, por hora

Célula de Paletização	Paletizações /hora
Paletizador C	11
Paletizador D	5
Paletizador E	5
Manual	5

Estes valores foram obtidos por análise estatística de relatórios gerados pelo PLC da máquina, tendo sido analisado o período de laboração de 23 de junho a 6 de julho de 2021.

A Tabela 15 sumariza algumas métricas que caracterizam esta tarefa de transporte e manuseio de materiais:

Tabela 15 - Métricas relativas ao transporte e manuseio de materiais na Inspeção Final

Métrica
Tempo de *pick-up*/ palete cheia (em média): 6.63s
Tempo de *drop-off*/ palete cheia (em média): 1.77s
Tempo de *pick-up*/ palete vazia (em média): 2.91s
Tempo de *drop-off*/ palete vazia (em média): 4.93s
Velocidade média do empilhador: 2.26 m/s
Peso da palete cheia: aproximadamente 1000 kg

4.3.5 Síntese caracterização da situação inicial

As movimentações de materiais realizadas na Continental Mabor pautam por uma sequência de operações ainda muito artesanais, com elevada intervenção humana, enfrentando-se alguns desafios, tais como entregas realizadas mais cedo do que o previsto, resultando em acumulação de materiais nos buffers; suscetibilidade de ocorrência de erros e número elevado de veículos em circulação no chão de fábrica.

Por forma a melhorar esta tarefa sem valor acrescentado, foi proposta a automatização dos transportes internos de materiais, recorrendo, para tal, a veículos de condução autónoma. Assim, e com vista a esta automatização, foram realizados diferentes estudos e análises.

O primeiro estudo visou auscultar todos os fluxos de materiais realizados na fábrica de PLT da CMIP, caracterizando-se cada fluxo em termos de pontos de origem e de destino, tipo de carga movimentada, *trigger* que despoleta a operação e meio de transporte utilizado.

Findada esta fase, foi elaborada uma análise do potencial de automatização de cada fluxo. Nem todos os fluxos constituem candidatos ótimos a automatização. Assim, com base na literatura e no *know-how* dos colaboradores da CMIP, foram traçados pré-requisitos e critérios para a implementação de tecnologias de condução autónoma sendo que, com base nestes, foi elaborada uma matriz de peso

ponderado com objetivo último de avaliar cada fluxo. Dos fluxos candidatos, os 4 melhores classificados corresponderam a movimentações realizadas na Inspeção Final I, o que conduziu à realização de um estudo de caso nesta área.

A situação atual na Inspeção Final I foi analisada, tendo sido caracterizado o processo em termos de modos de operação, frequências de transporte, dinâmica das atividades, tempos de operação e valor acrescentado das tarefas. Desta análise da situação inicial, e por discussão com fornecedores de AGVs, foram encontrados entraves à automatização dos fluxos 49 e 50, tendo-se direcionado o projeto de automatização para os fluxos 51 e 52. Assim, o projeto piloto tem por base estudar a automatização das movimentações de materiais da paletização automática II até ao ponto de *Handover*, e o respetivo reabastecimento destes paletizadores com paletes vazias.

No capítulo que se segue serão abordados cenários alternativos de automatização destes fluxos. Com esta automatização pretende-se reduzir as ineficiências associadas a processos de movimentação de materiais, aumentar a flexibilidade da intralogística e alocar os operadores logísticos a tarefas de maior valor acrescentado.

5. PROJETO PILOTO: PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO DOS TRANSPORTES NA INSPEÇÃO FINAL

Uma vez caracterizada a situação atual e obtidos os dados relevantes para o desenvolvimento do projeto, foi projetada uma proposta de automatização dos transportes na Inspeção Final.

O presente capítulo descreve esta proposta, bem como as técnicas e ferramentas aplicadas. Este estudo resulta de um trabalho individual, apoiado pela equipa técnica de gestão de projetos da direção de inovação da CMIP.

5.1 Requisitos técnicos da solução: seleção do AGV para a Continental Mabor

Atualmente, o mercado de AGVs possui uma gama alargada de veículos e, portanto, foi necessário, desde início, atentar os principais requisitos para a implementação, por forma a afunilar a pesquisa e selecionar o AGV que melhor satisfizesse as necessidades da empresa.

O AGV a utilizar nesta área deverá ter uma capacidade para manusear uma carga de cerca de 2 toneladas, que corresponde ao peso máximo que se incorre aquando do transporte de duas paletes em simultâneo. A velocidade máxima permitida para o AGV deverá ser 2.7 metros por segundo (10 km/h), por forma a cumprir com as regulamentações de segurança impostas pela empresa para a circulação dentro dos edifícios. Sendo a segurança uma primazia, o AGV deverá estar provido de sensores para prevenir colisões. Dada a propensão da Continental para alterações no *layout*, o AGV deverá ter uma navegação flexível, o que significa que os métodos de navegação aberta são preferíveis aos métodos de navegação fixa. O método de navegação preferencial para a Continental é a navegação natural, contudo, a navegação LASER será permitida caso justifique uma melhoria significativa na precisão do movimento. O AGV selecionado deverá, ainda, ter a capacidade de elevar os garfos, pois poderá haver a necessidade de empilhar o material. Finalmente, o *software* de gestão do AGV encarregue de gerar as missões e controlar a navegação e tarefas do veículo, deverá estar integrado com o EWM (*Extended Warehouse Management*).

Neste sentido, pelo tipo de carga a movimentar e pelas tarefas a executar, o AGV a utilizar deverá estar integrado na categoria "AGV Empilhador", descrita na secção Tipos de AGV.

5.2 Proposta de novo *layout*

A gestão dos fluxos logísticos influencia diretamente o desempenho operacional do sistema. Neste sentido, um dos primeiros focos de ação prendeu-se com a seleção da localização dos pontos de recolha

e de entrega das cargas. O objetivo passou por reduzir as distâncias percorridas e os tempos de espera, com intuito de evitar a criação de *bottlenecks* nas tarefas de *pick-up* e de *drop-off*. De salientar que foi também definida, no *layout*, uma localização de descanso para os veículos autónomos.

No decorrer do projeto, foram realizadas reuniões com fornecedores de AGVs, sendo que os mesmos afirmaram que os AGVs do estilo "empilhador" não teriam qualquer entrave em recolher o material no próprio *robot* de paletização. Assim, manteve-se como local de *picking* a estação do *robot* paletizador. Já a área de *drop-off*, teve de ser reavaliada. A área utilizada, à data deste projeto, como local de *drop-off,* encontrava-se relativamente distante dos *robots* (aproximadamente 83 metros). Como o AGV se desloca a uma velocidade inferior à dos empilhadores conduzidos por operadores, um grande número de AGVs seria necessário para manter o *throughput* do sistema (movimentação de 27 paletes por hora, de cada tipo – cheias e vazias). Em adição, e uma vez que teriam de continuar a existir empilhadores a assegurar o transporte da ala Oeste até ao ponto de *handover*, manter o local de *drop-off* iria conduzir a um aumento do tráfego, pois tanto os AGVs como os empilhadores, estariam a convergir para a mesma área. Consequentemente, estaria ainda a incorrer-se numa baixa de eficiência dos AGVs, pois o sistema de segurança dos mesmos levá-los-ia a parar aquando da passagem de outro veículo.

Assim, a solução proposta foi de criar um ponto de *drop-off* para os AGVs num local diferente, segregando-se rotas e salvaguardando o bom funcionamento dos fluxos logísticos.

Optou-se por localizar o ponto de *drop-off* para os AGVs numa área do chão de fábrica onde existia, na altura, um ponto de leitura de códigos de barras das paletes em desuso, pois os empilhadores possuíam leitores de códigos de barras portáteis, não tendo a necessidade de parar nesta localização para efetuar o registo das paletes. Esta nova localização permitirá a redução da afluência de tráfego relativo à expedição, reduzindo a distância que os AGVs terão de percorrer e, consequentemente, o número de AGVs necessários. Com a introdução dos AGVs, e com este novo ponto de *drop-off*, um novo fluxo logístico foi proposto, por forma a segregar completamente as rotas dos empilhadores das rotas dos AGVs. Os novos fluxos logísticos (dos empilhadores e dos AGVs) e a localização do novo ponto de *drop-off* para os AGVs são visíveis na Figura 36.

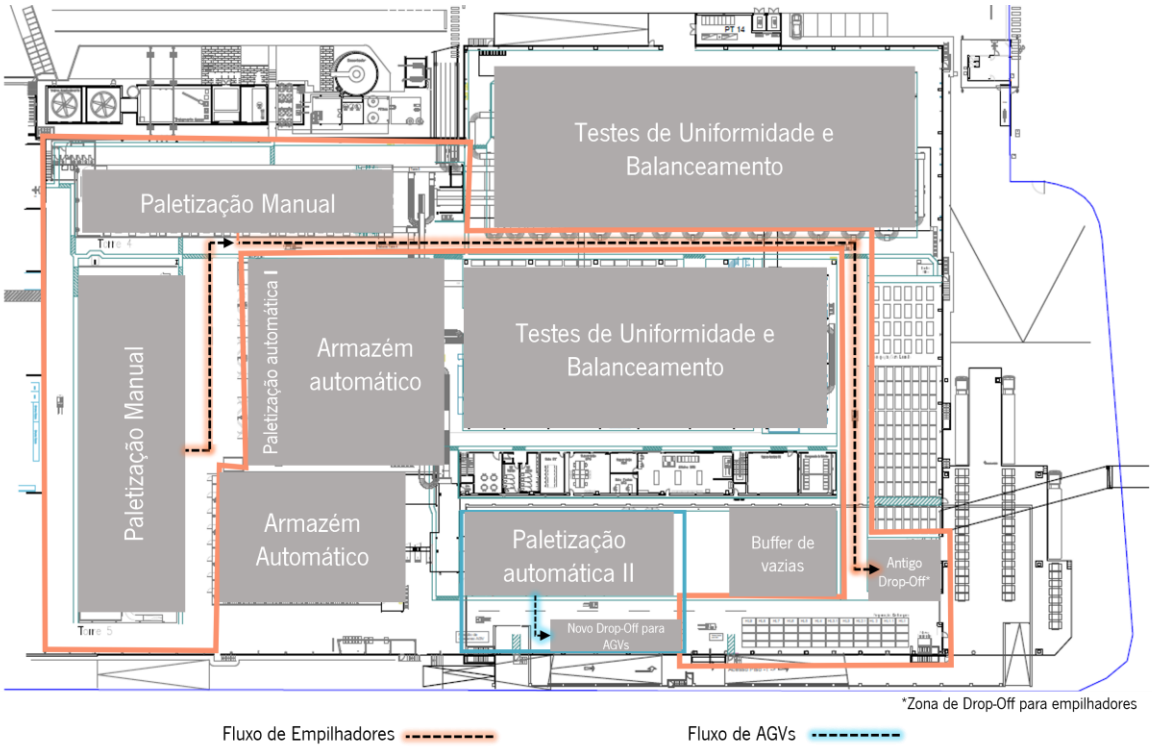


Figura 36 - Proposta de layout para segregação de rotas

Repare-se que neste cenário, e comparando com os fluxos assinalados na Figura 32, os empilhadores deixam de atravessar a zona dos *robots*. Em termos de distâncias médias a serem percorridas, com o trajeto proposto para os dos AGVs, estima-se um ganho significativo, pois ao invés de os AGVs percorrem 83 m até ao antigo ponto de *drop-off*, passam a percorrer apenas 16 m (redução de 80%). Além disso, resultará em menos tráfego perto da área de expedição. Relativamente à nova rota a percorrer por parte dos empilhadores, estima-se que a distância percorrida seja sensivelmente a mesma que percorriam quando atravessavam a zona da paletização automática.

O retorno de paletes vazias aos *robots* (abastecimento) foi também estudado. O AGV é uma tecnologia ágil, contudo, não tem a mesma destreza do Homem e, portanto, todo o local onde o AGV pega em material tem, de alguma forma, ser rígido, isto é, o material tem de estar sempre na mesma posição. Assim, os *buffers* tiveram de ser repensados, tendo-se traçado dois cenários:

→ **Cenário A :** *Conveyor* duplo (Figura 37)

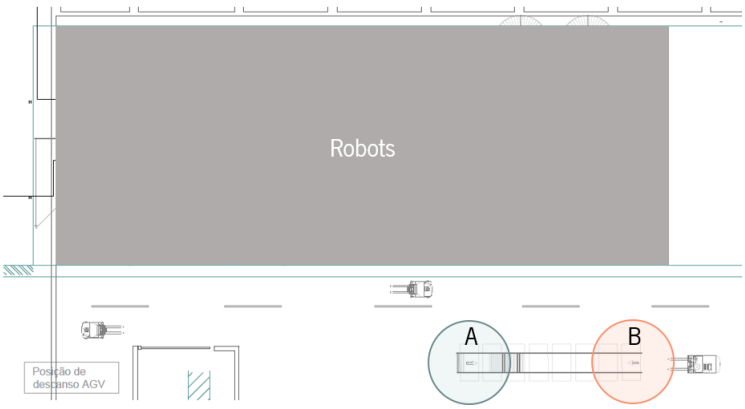


Figura 37 - Proposta de *layout* com *conveyor*s

O cenário A visa aplicar um *conveyor* de dois níveis sobrepostos (Figura 38) para estabelecer a ligação entre a empresa externa e os AGVs.

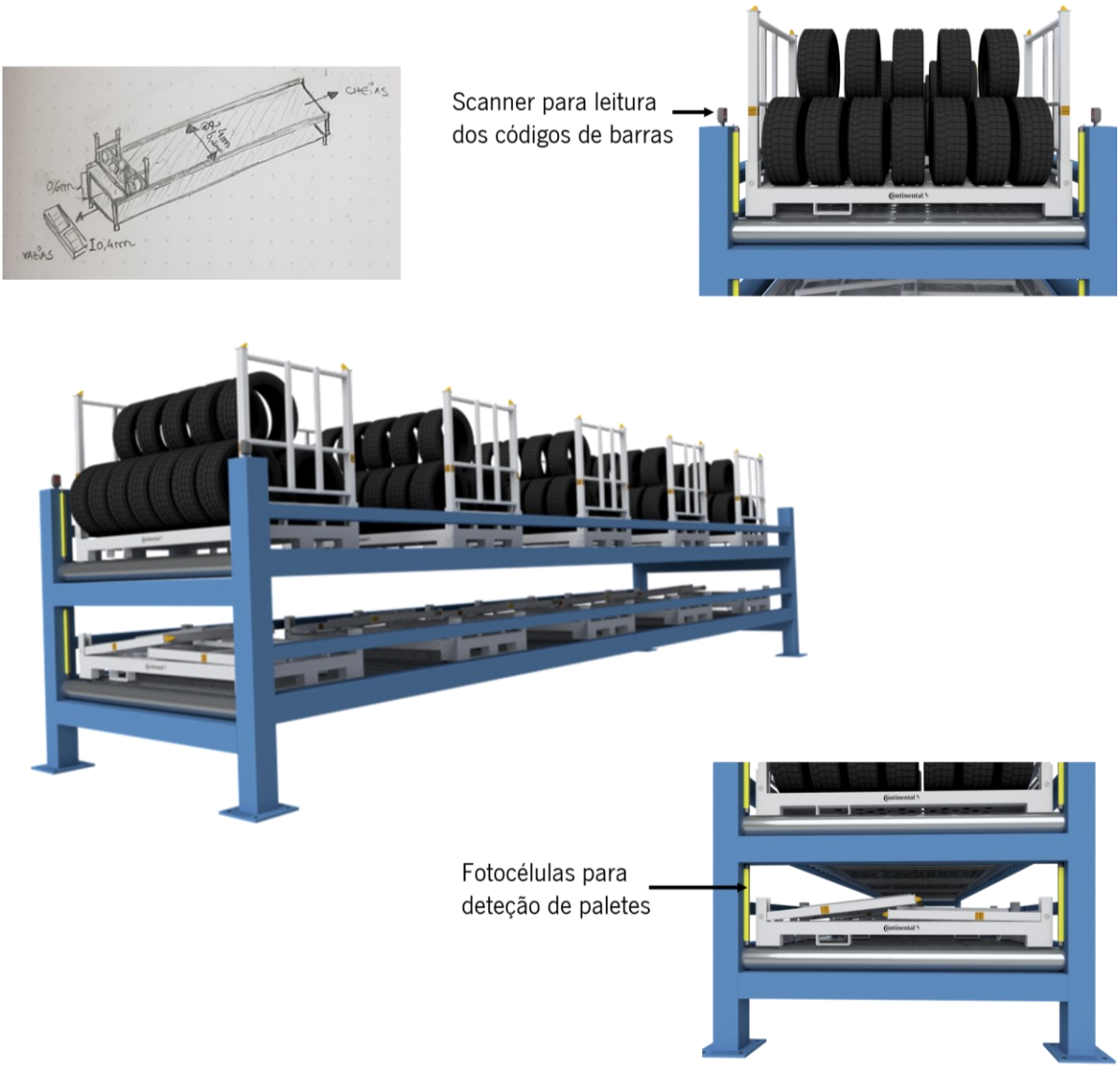


Figura 38 - Conveyor desenhado para o cenário A, com recurso ao *software* Inventor

Inicialmente, foi pensado colocar dois *conveyors* lado a lado, contudo, esta configuração iria diminuir a eficiência do AGV (e aumentar, consequentemente, o número de AGVs necessários), pois haveria uma distância adicional a percorrer e, portanto, uma maior janela temporal necessária para realizar a tarefa.

Assim, a solução passa por fazer circular paletes cheias no tapete de cima e paletes vazias no tapete de baixo. O lado A (Figura 37) seria exclusivo do AGV e, portanto, no *conveyor* de cima, o AGV entregaria as paletes cheias e no *conveyor* de baixo iria recolher as paletes vazias para realimentar os paletizadores. O lado B (Figura 37) seria exclusivo dos empilhadores da empresa externa. Do mesmo modo, do *conveyor* de cima seriam retiradas as paletes cheias, estando a empresa externa encarregue de aprovisionar o *conveyor* de baixo com as paletes vazias.

Com este cenário, reduzem-se as distâncias percorridas, otimizam-se os fluxos e garante-se um maior aproveitamento do AGV, reduzindo-se viagens em vazio (sempre que um AGV deixa paletes cheias no ponto A, regressa ao paletizador com palete vazia).

→ **Cenário B:** *Array* de posições em chão e dispensador de paletes (Figura 39)

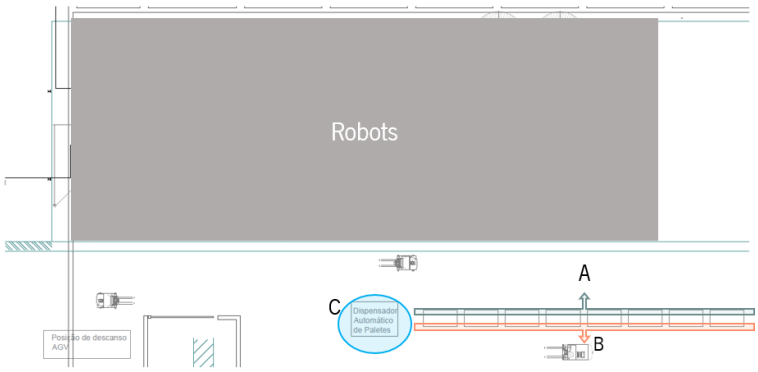


Figura 39 - Proposta de *layout* com *array* de posições

O cenário B pressupõe recorrer a um *array* de posições no chão, tal como ilustrado na figura, em que o AGV entrega material do lado A e o empilhador recolhe do lado B. Para tal, a solução técnica passa por colocar *dock stations*, que correspondem a estruturas desenhadas para interagir com o AGV. Estas *dock stations* podem variar desde simples marcações no chão, a calhas ou estantes, aprovisionadas com sensores para o AGV obter informação acerca do estado de ocupação da posição. A Figura 40 exemplifica um conjunto de posições marcadas no chão e o AGV a interagir com estas. De salientar que a solução do cenário B não pressupõe *racks*, tal como na Figura 40, mas sim apenas marcações em chão acompanhadas de sensores.



Figura 40 - Exemplo de *dock station* com marcação em chão para o AGV entregar material
(Trebilcock, 2020)

A Figura 41 exemplifica uma *dock station* construída com calhas.

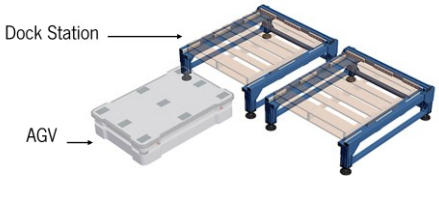


Figura 41 - Exemplo de *dock station* com calhas
(Vention, n.d.)

Para a recolha de paletes vazias (ponto C da Figura 39), foi pensada a colocação de um dispensador de paletes (*stacker/destacker*) como ilustrado na Figura 42.



Figura 42 - Imagem ilustrativa de um dispensador de paletes, com intervenção de um AGV
(Palomat, n.d.)

Os *layouts* (e respetivas análises) foram desenvolvidos com recurso ao *software* AutoCAD.

5.3 Cálculo analítico do número de veículos necessários

Uma vez identificados os locais de recolha e entrega das paletes, foi possível dimensionar o número de veículos necessários para assegurar as tarefas de transporte.

Existem diferentes abordagens para obter o número de AGVs necessários. Abordagens mais gráficas são importantes para visualizar o comportamento dos veículos e os movimentos, ao passo que abordagens quantitativas podem ser úteis para determinar, por exemplo, taxas de fluxo e tempos de operação (Ilić, 1994).

Do decorrer da interação com fornecedores desta tecnologia e da análise da literatura, resultaram quatro métodos plausíveis de ser utilizados para determinar o número de AGVs necessários:

1. Rácio de empilhadores por AGV;
2. Cálculo do *throughput* do sistema;
3. Abordagem *"From-To"*;
4. Simulação do Sistema.

O método A, descrito no *whitepaper* da AGV Network & Kollmorgen (2020) consiste em utilizar um rácio entre 1.3 e 2 AGVs para cada 1 empilhador utilizado atualmente no processo, aferindo, assim, um número provável de AGVs a utilizar na tarefa. Este é um método rápido que pode ser utilizado para aferir, grosseiramente, o número de AGVs necessários. No decorrer deste projeto de dissertação, recorreu-se a este método para aferir a viabilidade económica de cada transporte analisado para o projeto *intelligent Tires intralogistics* (capítulo 6) e, assim, priorizar os projetos.

O método B, apresentado por um fornecedor desta tecnologia, é mais robusto e consiste numa folha de cálculo assente em cálculos matemáticos e pressupostos. Nesta abordagem, assume-se que o funcionamento de um AGV, num sistema, pode ser dividido em duas principais categorias: as durações calculadas e as durações estimadas.

Consideram-se durações calculadas:

- Tempo necessário para realizar os movimentos de recolha e de entrega dos materiais;
- Tempo médio das viagens (considerando curvas, caminhos em linha reta, corredor principal, etc.);
- Tempo despendido em interface com equipamentos (por exemplo: autorização de uma máquina para entrar num dado perímetro).

Consideram-se durações estimadas:

- Bloqueio devido a congestionamento;

- Tempo de carregamento da bateria;
- Viagens sem material (em vazio);
- Limite máximo de utilização da frota.

O método C, estudado por Ilić (1994) e aplicado por Correia et al. (2020) no desenvolvimento de um projeto de implementação de AGVs, permite representar os fluxos dos materiais e caracterizá-los quanto a diferentes parâmetros, como é caso o número de entregas entre o ponto A e o ponto B e a distância entre esses mesmos pontos. Ilić sugere diferentes fórmulas matemáticas que permitem estimar o número de AGVs necessários para desempenhar uma tarefa. Esta abordagem é muito similar ao método B, contudo, desconsidera fatores como bloqueio ou tempo de carregamento.

Finalmente, o método D, utilizado, por exemplo, por T. Silva et al. (2016) e por Campos et al. (2017) remete para o uso da simulação computacional como meio para determinar o número de AGVs necessários. Os primeiros autores recorreram ao *software* Simio, ao passo que os segundos fizeram uso do *software* ARENA.

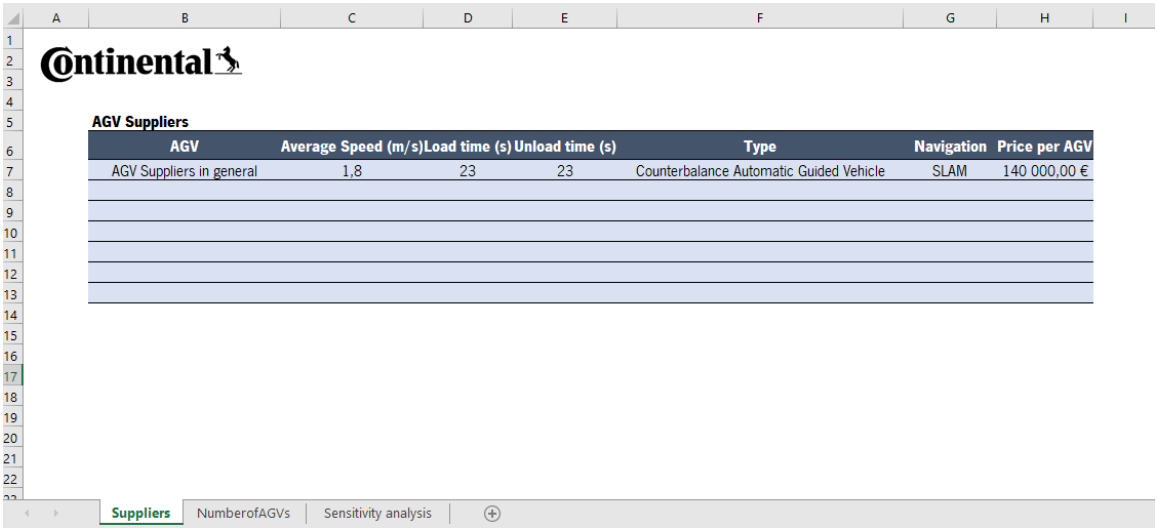
Com base nos métodos B e C, foi desenvolvido, para este projeto, um ficheiro de cálculo em Excel que permite fazer uma análise quantitativa do número de AGVs necessários para automatizar a tarefa de transporte de produto acabado.

Para obter o número de AGVs necessários, terão de ser recolhidas algumas informações junto do fornecedor e do chão de fábrica, tal como especificado na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados necessários recolher para realizar o cálculo analítico do número de AGVs

Dados a obter junto do fornecedor	Dados a obter no chão de fábrica
Velocidade de navegação do AGV	Distância entre o ponto de recolha e de entrega do material
Tempo de *loading* do material	Número de transportes efetuados por hora
Tempo de *unloading* do material	

Os dados relativos ao AGV são introduzidos numa folha nomenclada por "*Suppliers*", na qual se possibilita ao utilizador listar os diferentes fornecedores e, mais tarde, compará-los quanto ao número de AGVs necessários. A Figura 43 ilustra esta folha de Excel sendo que os dados aqui apresentados correspondem a valores de referência obtidos por *benchmarking*, após discussões com diferentes fornecedores desta tecnologia. .



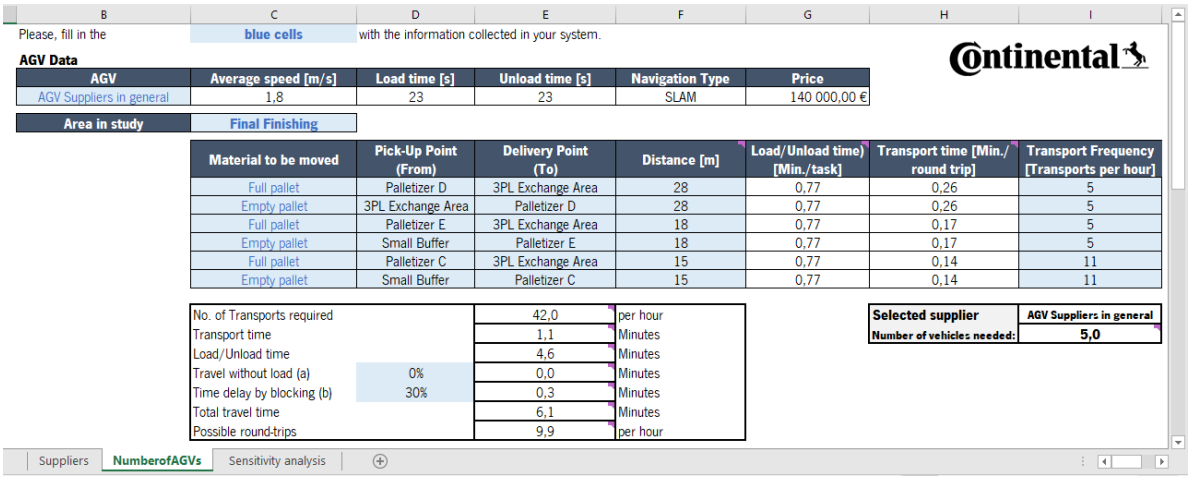
AGV Suppliers

AGV	Average Speed (m/s)	Load time (s)	Unload time (s)	Type	Navigation	Price per AGV
AGV Suppliers in general	1,8	23	23	Counterbalance Automatic Guided Vehicle	SLAM	140 000,00 €

Suppliers | NumberofAGVs | Sensitivity analysis

Figura 43 - Ilustração da folha de Excel para introdução das informações recolhidas junto do fornecedor

Uma vez introduzidos os dados do fornecedor, então o utilizador deverá introduzir os dados do processo, na folha "*Number of AGVs*", nas células coloridas a azul (Figura 44), identificando todos os fluxos de materiais que se pretende automatizar, pontos de recolha, pontos de entrega, distâncias e frequência de transporte (número de transportes por hora que devem ser realizados em cada fluxo). A Figura 44 ilustra a folha de cálculo com os respetivos dados e resultados obtidos para o transporte de paletes na Inspeção Final, sendo que o Apêndice IV inclui, de forma mais detalhada, os cálculos efetuados na folha de Excel.



Please, fill in the **blue cells** with the information collected in your system.

AGV Data

AGV	Average speed [m/s]	Load time [s]	Unload time [s]	Navigation Type	Price
AGV Suppliers in general	1,8	23	23	SLAM	140 000,00 €

Area in study: Final Finishing

Material to be moved	Pick-Up Point (From)	Delivery Point (To)	Distance [m]	Load/Unload time) [Min./task]	Transport time [Min./ round trip]	Transport Frequency [Transports per hour]
Full pallet	Palletizer D	3PL Exchange Area	28	0,77	0,26	5
Empty pallet	3PL Exchange Area	Palletizer D	28	0,77	0,26	5
Full pallet	Palletizer E	3PL Exchange Area	18	0,77	0,17	5
Empty pallet	Small Buffer	Palletizer E	18	0,77	0,17	5
Full pallet	Palletizer C	3PL Exchange Area	15	0,77	0,14	11
Empty pallet	Small Buffer	Palletizer C	15	0,77	0,14	11

No. of Transports required		42,0	per hour
Transport time		1,1	Minutes
Load/Unload time		4,6	Minutes
Travel without load (a)	0%	0,0	Minutes
Time delay by blocking (b)	30%	0,3	Minutes
Total travel time		6,1	Minutes
Possible round-trips		9,9	per hour

Selected supplier	AGV Suppliers in general
Number of vehicles needed:	5,0

Suppliers | NumberofAGVs | Sensitivity analysis

Figura 44 - Ilustração da folha de Excel para cálculo analítico do número de AGVs

Uma vez introduzidos todos os dados solicitados, é possível estimar o número de AGVs necessários para assegurar a tarefa.

De acordo com Ilić (1994), o número total de veículos pode ser facilmente estimado pelo número de viagens de "ida e volta" que cada veículo pode fazer por hora, face ao número total de viagens de "ida e volta" que deve ser feito pelo sistema.

O tempo necessário para efetuar uma viagem é dado pela equação (8):

$$T^0 = \frac{\bar{d}}{v} + t + \frac{\overline{d'}}{v} + t_b + t_e \quad (8)$$

Em que: T^0= tempo necessário para realizar uma volta completa, $\bar{d}$ = distância percorrida até ao ponto de destino, t= tempo de carga e descarga, $\overline{d'}$ = distância percorrida para regressar ao ponto de origem, t_b = tempo de atraso por bloqueio, v = velocidade média do AGV e t_e = tempo para viagens sem carga. As duas últimas varáveis foram adicionadas à fórmula inicial desenvolvida por Ilić (1994), por forma a contemplar:

- um tempo adicional da viagem devido a paragens inesperadas do AGV que, devido ao seu sistema de segurança, interrompe a marcha aquando do aparecimento de um obstáculo;
- tempo de viagens em que o AGV circula sem material.

O tempo despendido em viagens sem circulação de material é obtido através da fórmula (9):

$$t_e = f_e * (\frac{\bar{d}}{v} + \frac{\overline{d'}}{v}) \quad (9)$$

Em que f_e corresponde ao fator de circulação em vazio, estimado através da Tabela 17. A Tabela 17 foi construída assente em documentação interna da empresa.

Tabela 17 – Obtenção do "fator de circulação sem material" para calcular o tempo total necessário para o AGV executar a viagem

f_e	**Explicação**
0%	**Cenário pouco provável:** Ao entregar algo, o AGV leva sempre algo de volta do mesmo local (por exemplo, trazer caixa cheia e levar sempre de volta caixa vazia. Neste caso, a caixa vazia teria sempre de estar pronta para a recolha pelo AGV)
25%	Quando entrega alguma coisa, o AGV, **na maioria das vezes**, regressa à origem com algo que traz do mesmo local (por exemplo, entrega caixa cheia e, na maioria das vezes, regressa com uma caixa vazia - por vezes não há caixa vazia disponível)
50%	Em **metade dos transportes efetuados**, após a entrega de A para B, o AGV conduz de novo para A sem qualquer carga.
100%	**O pior dos casos:** Após a entrega de A a B, o AGV conduz sempre de volta a A sem qualquer carga

Este cálculo assume como pressuposto que o tempo para realizar as viagens em vazio é igual ao tempo para realizar as viagens em trabalho. Contudo, importa referir que se o AGV transitar entre tarefas diferentes, por exemplo, então este tempo pode ser efetivamente diferente.

O tempo de atraso por bloqueio é obtido através da fórmula (10):

$$t_b = f_b * (\frac{\bar{d}}{v} + \frac{\overline{d'}}{v} + t_e) \quad (10)$$

Em que f_b corresponde ao fator de bloqueio e é estimado através do espaço disponível nos corredores de circulação e do tráfego da zona. A Tabela 18 mostra como se obtém este fator. Importa referir que a Tabela 18 foi construída com base em informações presentes na documentação interna da empresa. Com base nesta tabela, o utilizador seleciona o fator de bloqueio.

Tabela 18 – Obtenção do "fator de bloqueio" para calcular o tempo total necessário para o AGV executar uma viagem

		Largura dos corredores		
		Corredores mais pequenos que o recomendado	Corredores com tamanho recomendado	Corredores maiores que o recomendado
Tráfego	reduzido	20	10	5
	moderado	30	20	10
	elevado	40	30	20

O tamanho recomendado para a largura dos corredores de circulação é obtido com base na Figura 45.

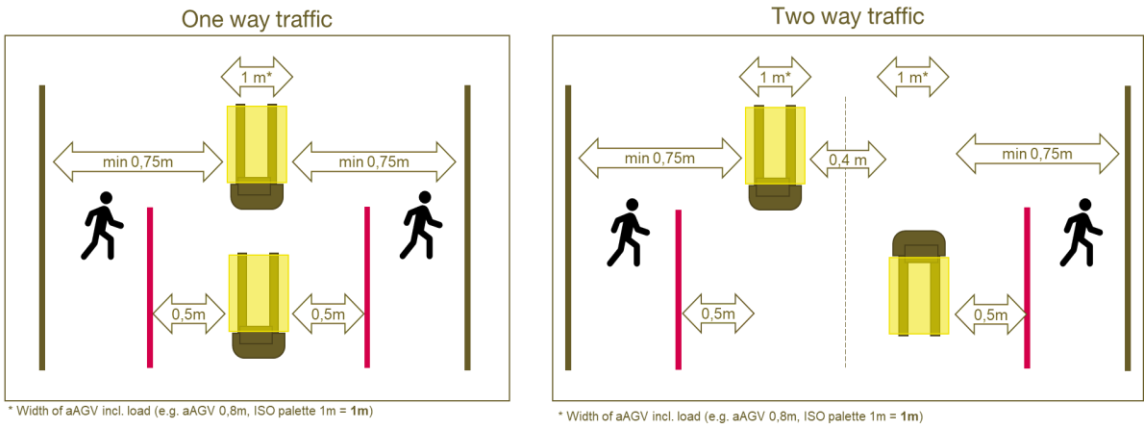


Figura 45 - Cálculo do tamanho requerido para o corredor de circulação

O número de viagens necessárias (R^0) é calculado através da fórmula (11):

$$R^0 = \frac{TD}{T^0} \tag{11}$$

Em que TD corresponde ao tempo disponível para trabalho (neste caso, os cálculos foram efetuados para 1 hora de trabalho, tendo sido utilizado um TD de 60 minutos, pois todos os dados relativos a tempo estão dimensionados para esta unidade).

Finalmente, o número de AGVs necessários (N) é obtido pela equação (12):

$$N = \frac{U^0}{R^0} \tag{12}$$

Em que U^0corresponde ao número de viagens requeridas. No Excel ilustrado na Figura 44, esta variável é obtida pelo somatório da frequência de transporte.

Para o processo estudado neste projeto de dissertação, obteve-se o resultado de 5 AGVs necessários.

Como as variáveis t_e e $t_b$foram adicionadas à fórmula original apresentada por Ilić, então foi efetuada uma análise de sensibilidade aos fatores f_e e f_b, com recurso à função "*What-If Analysis*" do *Excel*, por forma a melhor entender o efeito destas variáveis no resultado final do número de AGVs necessários para a Inspeção Final. A Figura 46 ilustra a análise realizada.

Análise de Sensibilidade	Cenários																			
	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	B.1	B.2	B.3	B.4	B.5	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5
Células variáveis:																				
Fator de circulação sem material	0%	0%	0%	0%	0%	25%	25%	25%	25%	25%	50%	50%	50%	50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
Fator de bloqueio	5%	10%	20%	30%	40%	5%	10%	20%	30%	40%	5%	10%	20%	30%	40%	5%	10%	20%	30%	40%
Células de resultado:																				
Número de AGVs	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0

Cenário atual

Figura 46 - Análise de sensibilidade ao efeito dos fatores f_e e f_b na obtenção do número de AGVs necessários

Por análise da Figura 46, é possível entender que o número de AGVs necessários para efetuar o transporte na Inspeção Final apenas aumenta em 1 recurso quando o f_e =100% e f_b>10%. Como nos cenários de automatização apresentados na secção 5.2 é esperado que sempre que o AGV entregue algo no local de destino, regresse ao ponto de origem com material, então, pode-se concluir que a introdução de 5 AGVs seria viável, do ponto de vista analítico.

5.4 Análise do desempenho do sistema de AGVs com recurso ao *software* de simulação computacional Simio

Os métodos de análise de desempenho podem incluir modelos analíticos e modelos de simulação (Peixoto et al., 2016). O método analítico é uma opção viável para estudar o número de AGVs necessários para uma tarefa, contudo, uma vez que para além do número de AGVs, se pretendia também avaliar diferentes configurações no *layout* e diferentes níveis de produção, então desenvolveu-se um modelo computacional de simulação discreta. Para tal, recorreu-se ao *software* Simio, pois permite uma modelação 3D que imita a disposição do sistema real, sendo necessário um nível de abstração baixo para desenvolver o modelo (Vieira et al., 2014); adicionalmente, a modelação e a animação são executadas como um único passo e a ligação direta com o *3D Warehouse* permite caracterizar os modelos com grande detalhe, tornando-os realistas (Vieira et al., 2014). Finalmente, importa referir que a ferramenta Simio se destaca como uma das ferramentas de simulação com maior crescimento no mercado (Dias et al., 2013).

O desenvolvimento de um modelo de simulação visou aferir se um determinado sistema de AGVs (que movimentam 1 palete de cada vez com uma velocidade média de 1.8m/s) conseguiria suportar a tarefa atualmente desempenhada pelos empilhadores, substituindo-os.

Foram objetivos desta modelação validar se a opção de 5 AGVs cumpria com os níveis de *throughput* necessário (27 paletes por hora) de modo que, para tal, foi modelado o processo de transporte de paletes desde os paletizadores, até ao novo ponto de *drop-off*, modelando-se tanto a chegada de pneus aos paletizadores, como os despachos para o armazém de produto acabado, permitindo ter uma visão mais global do desempenho dos AGVs no processo real.

Os subcapítulos seguintes clarificam a elaboração do modelo e os resultados obtidos através da simulação.

5.4.1 Explicação do modelo de simulação do sistema de AGVs

O *software* Simio recorre a uma abordagem de modelação por objetos, em que os modelos são construídos através da combinação de objetos que representam os componentes físicos dos sistemas.

Neste sentido, e para modelar o sistema, foram criados os seguintes objetos:

- 3 *Model Entities:* entidade *Pallet*, entidade *Tire* e entidade *TruckEntity* (Figura 47).

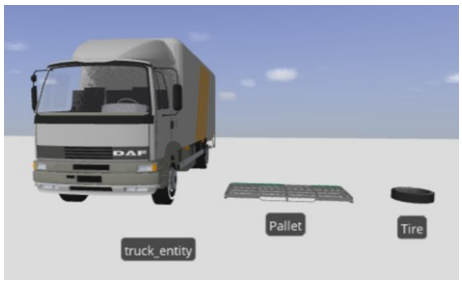


Figura 47 - Entidades *Truck*, *Pallet* e *Tire* no modelo de simulação Simio

As entidades correspondem a objetos dinâmicos que são processados no modelo. Neste caso, as paletes circulam vazias e são processadas nos paletizadores automáticos, que colocam os pneus na palete. Como no processo real existem diferentes artigos, então foram adicionados diferentes símbolos, isto é, imagens diferentes, à entidade do tipo *Tire*, por forma a representar as gamas de produtos e tornar a simulação visualmente mais similar ao processo real. Uma vez terminada a paletização, as paletes são encaminhadas para o armazém de produto acabado. A *model entity* do tipo *TruckEntity* é gerada para, posteriormente, ser combinada com as paletes completas e formar camiões com carga.

- 3 *Sources*: HBS, *Truck_Source* e *Buffer*. As *sources* correspondem a objetos responsáveis por gerar as *Model Entities*, com um determinado intervalo de tempo definido pelo utilizador. Assim, o modelo é composto por 1 HBS (Figura 48), que cria as entidades *Tire* para circularem no modelo. O tempo de chegada de pneus é definido segundo uma tabela que contempla dados reais da produção, reproduzindo uma cadência real de saída de pneus deste objeto. Um extrato desta tabela pode ser consultado na Figura 80 do Apêndice V ;

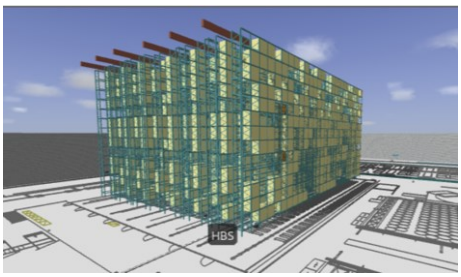


Figura 48 - *Source* HBS no modelo de simulação Simio

1 *Truck_Source*, que gera 1 entidade do tipo *Truck_Entity* a cada 10 minutos (Figura 49).



Figura 49 - Ilustração da *source* do tipo "Source_Camiões" e da entidade do tipo "Truck_Entity"

1 *Buffer* (Figura 50), que gera as entidades do tipo *Pallet*. Estas entidades são geradas somente quando um dos paletizadores está livre, ou seja, na medida do necessário. Por este motivo, o parâmetro de intervalo de chegada de entidades é definido *On Event*. Este "evento" tem por base um processo, o qual é explicado na Figura 82 do Apêndice V .

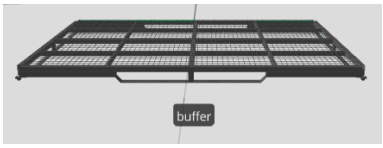


Figura 50 - Ilustração da *source* do tipo *Buffer* para gerar entidades do tipo Pallet

- 4 *Combiners* do tipo "Paletizadores" (Figura 51), que são responsáveis por combinar múltiplas entidades numa entidade "pai" (isto é, corresponde aos paletizadores que colocam a entidade *Tire* na entidade *Pallet*);

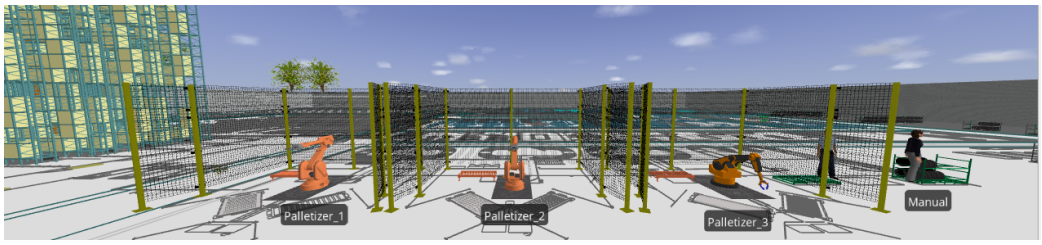


Figura 51 – Exemplo de *Combiners* do tipo paletizador, no modelo de simulação Simio

1 *combiner* do tipo *Truck* que é responsável por juntar as paletes ao camião, por forma a criar os despachos para o armazém de produto acabado.



Figura 52 - *Combiners* do tipo *Truck*, no modelo de simulação Simio

- *Vehicles* do tipo AGVs (Figura 53), que correspondem a transportadores que se deslocam para realizar as recolhas e entregas de material (*model entities*).

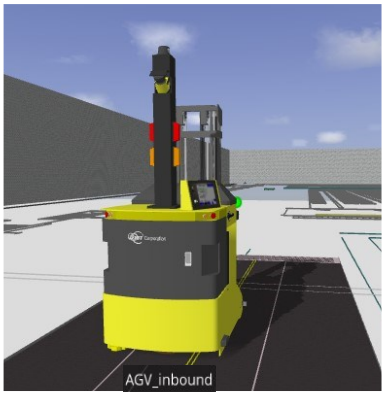


Figura 53 - *Vehicles* no modelo de simulação Simio

No que respeita a este objeto, o modelo é iniciado com apenas 1 recurso deste tipo, sendo adicionados mais recursos durante os testes ao sistema (explicados na 5.4.2). O veículo foi parametrizado com uma velocidade de 1.8m/s, e um tempo de *picking* e de *drop-off* de 23 segundos, para cada tarefa. Estes dados resultam do *benchmarking* realizado junto de diferentes fornecedores desta tecnologia.

- Ligações do tipo *path*, *connectors* e *conveyors* que fornecem um caminho através do qual as entidades podem circular. Nestas ligações foram utilizadas as dimensões reais dos trajetos.

A Figura 54 permite visualizar, de modo geral, o modelo de simulação.

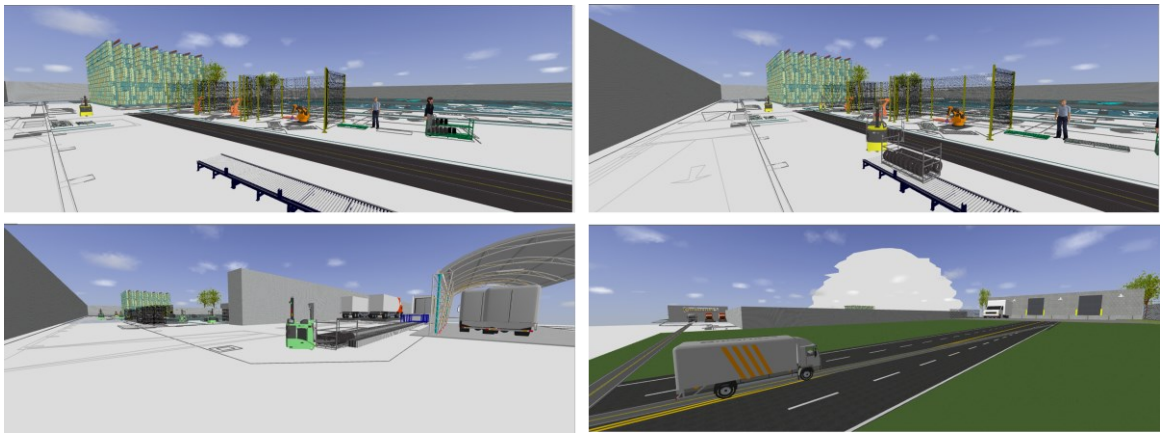


Figura 54 - Visão holística do modelo de simulação

Finalmente, e em suma, o modelo foi desenhado para realizar as seguintes ações (semelhantes ao que ocorria, à data do projeto, na área em estudo):

1. Num primeiro momento, os pneus são encaminhados para os paletizadores, através de *conveyors*. O HBS é o objeto responsável por gerar os pneus e os encaminhar para o paletizador correto. Para tal, o parâmetro de "chegada de pneus" foi parametrizado segundo uma tabela com dados reais da produção. Esta tabela contém horas exatas dos momentos em que o HBS real da fábrica encaminha pneus para os paletizadores. Assim, a tabela contempla dados sobre: dia, hora, tipo de pneu, tamanho do lote, paletizador de destino e tempo de paletização (processamento);

2. Uma vez chegados os pneus aos paletizadores, os pneus são colocados na palete, segundo o tamanho do lote em que chegam. O tempo de paletização corresponde ao tempo de paletização real do sistema físico.

3. Quando uma palete está completa, é despoletada uma missão de transporte para o AGV. Assim, o veículo desloca-se até ao paletizador, recolhe a palete cheia e encaminha-a para a zona de *drop-off*. Importa salientar que o modelo foi concebido para que uma palete vazia seja gerada assim que uma palete cheia é removida do paletizador. Em adição, foi implementada uma regra de prioridades em que, de modo a não comprometer a paletização e os despachos, é prioritário aprovisionar uma máquina com paletes vazias antes de remover novas paletes cheias. Isto significa que quando uma máquina possui uma palete cheia para remover e uma outra máquina se encontra vazia, é prioritário colocar uma palete vazia no paletizador antes de remover a nova

palete cheia, de forma a não parar a paletização e, consequentemente, não comprometer o ritmo de produção.

4. Uma vez entregue a palete na zona de *drop-off*, um veículo do tipo empilhador, que representa a empresa externa referida na secção 4.3.4, desloca-se até esta zona, remove a palete e entrega-a na zona de despacho, por forma a organizar as paletes no camião e encaminhá-las para o armazém de produto acabado. Mais detalhes sobre o modelo e os seus processos são explicados no Apêndice V do presente documento.

5.4.2 Resultados do sistema de simulação

Findada a etapa de modelação, procedeu-se à simulação do sistema. Para tal, foi gerada, no separador *Experiments*, uma experiência designada *Experiment 1*, que permitiu criar cenários diferentes de simulação e avaliar indicadores de *performance*. Em cada cenário, fez-se variar o número de AGVs no sistema, tendo sido estudados 4 cenários: no cenário 1, foi estudado o recurso a apenas 1 AGV para desempenhar as tarefas de transporte de materiais dos paletizadores para o ponto de *drop-off* e respetivo reabastecimento com paletes vazias; no cenário 2, foi estudado o desempenho de 3 AGVs para realizar as mesmas tarefas, por forma a avaliar se, com menos de 5 AGVs obtidos por cálculo analítico, seria ainda possível levar a cabo as tarefas e cumprir com o *throughput* necessário; no cenário 3, foi estudado o desempenho de um sistema com 5 AGVs, pretendendo validar-se o resultado obtido pelo cálculo analítico; finalmente, o cenário 4 visou estudar o desempenho de um sistema com 8 AGVs, por forma a perceber qual o impacto na *performance* do sistema ao introduzir mais veículos que aqueles que foram obtidos como "ótimo" no cenário analítico. Limitou-se a 8 o número de recursos pois, mais do que isso, iria introduzir entraves ao bom funcionamento do sistema, criando-se congestionamentos.

A Figura 55 expõe os resultados obtidos para um período de simulação de 8 horas.

Design | Response Results | Pivot Grid | Reports | Dashboard Reports | Input Analysis

Scenario			Replications		Controls	Responses					
	Name	Status	Required	Completed	NoAGVs	AGVS_UtilRate	C_Output	D_Output	E_output	F_Output	Total_Pallets_Moved
☑	Scenario1	Idle	10	10 of 10	1	99,0678	33	33	31	29	126
☑	Scenario2	Idle	10	10 of 10	3	88,0757	75	70	56	46	247
☑	Scenario3	Idle	10	10 of 10	5	78,185	78	71	56	44	249
☑	Scenario4	Idle	10	10 of 10	8	67,7711	81	72	56	44	253

Figura 55 - Resultados obtidos por simulação do sistema de AGVs, durante um período de 8 horas, com recurso ao software Simio

A variável de controlo "NoAGVs" corresponde ao número de recursos do tipo AGV que se fez variar no sistema. Ao nível das respostas do sistema (*responses*), foram avaliados os indicadores performativos AGVs_UtilRate (taxa de utilização do sistema de AGVs), C/D/E/F_Output (número de paletes que foram

transportadas dos paletizadores para o ponto de *handover*) e Total_Pallets_Moved (número total de paletes movidas).

A simulação permitiu aferir que seria impossível recorrer a apenas 1 veículo, pois o *throughput* do sistema não cumpria com as necessidades da produção. Uma vez que, à data do projeto, eram movimentadas, em média, 27 paletes por hora, seria esperado que, em 8h de produção, se assegurassem, no mínimo, 216 movimentos.

Com 3, 5 e 8 AGVs, o número de paletes movidas vai de encontro ao *throughput* necessário, assegurando, porventura, mais movimentos que os esperados. Contudo, quanto mais elevado for o número de AGVs na solução, mais avultado será o investimento e menos interessante se torna o projeto. Assim, e atentando a taxa de utilização, percebe-se que tanto 3 como 5 AGVs se demonstram interessantes, pois correspondem a uma taxa de utilização maior que 70% e menor que 90%, permitindo fazer face a problemas/necessidades que surjam, como, por exemplo, carregamento de bateria, interrupção de marcha por bloqueio ou manutenções, sem contribuir para o aumento dos desperdícios (como são caso as esperas).

Por forma a tomar uma decisão mais fundamentada, decidiu-se analisar, também, o comportamento do sistema numa hora de produção (Figura 56).

Design | Response Results | Pivot Grid | Reports | Dashboard Reports | Input Analysis

Scenario			Replications		Controls	Responses					
	Name	Status	Required	Completed	NoAGVs	AGVS_UtilRate	C_Output	D_Output	E_output	F_Output	Total_Pallets_Moved
☑	Scenario1	Idle	10	10 of 10	1	90,7802	5	6	4	0	15
☑	Scenario2	Idle	10	10 of 10	3	69,0687	7	11	9	0	27
☑	Scenario3	Idle	10	10 of 10	5	43,9009	7	11	10	0	28
☑	Scenario4	Idle	10	10 of 10	8	27,552	7	11	10	0	28

Figura 56 - Resultados obtidos por simulação do sistema de AGVs, durante um período de 1 hora, com recurso ao software Simio

Perante os dados obtidos na Figura 56, é possível aferir que, segundo o modelo de simulação, 3 AGVs seriam suficientes para levar a cabo a tarefa de movimentar paletes desde os paletizadores até ao ponto de *Handover*, assegurando o *throughput* necessário.

5.5 Análise crítica ao número de AGVs necessários: comparação dos métodos

Uma vez aferidos os resultados tanto pelo método analítico como pelo método de simulação computacional, foi necessário decidir a estratégia a adotar relativamente ao número de AGVs necessários.

Pelo método analítico, foram estimados 5 AGVs. Pelo método computacional, percebeu-se que o número ótimo de AGVs deverá estar entre 3 e 5.

Assim, e sendo que os AGVs são uma tecnologia modular, o número de recursos necessários pode ser incrementado ao longo do tempo. Deste modo, optou-se por estudar a viabilidade económica do pior cenário (5 AGVs), estudando, posteriormente, uma estratégia de implementação faseada que permita analisar, *in loco*, a viabilidade de utilização de apenas 3 AGVs.

5.6 Estudo económico do projeto de automatização dos transportes

Um projeto corresponde a um processo não repetitivo, com um início e um fim definido, e que acarreta a elaboração de orçamentos e planos financeiros. No caso deste projeto, foi definido um início previsto para janeiro de 2022, tendo uma duração estimada de 2 anos.

O estudo económico de um projeto permite analisar, avaliar e decidir acerca da viabilidade de execução do mesmo. Existem diferentes fluxos económicos envolvidos, como são caso: investimentos necessários, custos estimados e benefícios esperados. As secções 5.6.1 a 5.6.5 visam explicar, com maior detalhe, cada fluxo económico associado à formulação dos cenários A e B, suprarreferidas neste documento. O subcapítulo termina com a seleção do cenário mais viável.

5.6.1 Benefícios esperados

Como abordado na secção 2.3.3, existem diferentes benefícios associados à adoção de sistemas de AGVs em espaço fabril, nomeadamente, melhorias ao nível da segurança, diminuição/eliminação de danos no produto e/ou infraestruturas e aumento da produtividade. Contudo, importa denotar que o benefício financeiro associado à redução de mão-de-obra é o que tem maior impacto na avaliação económica do projeto. Todos os outros benefícios são considerados *soft facts*, pois remetem para oportunidades que, segundo a própria definição da palavra, podem ou não acontecer.

No caso de o transporte analisado ser automatizado com recurso a AGVs, é razoável assumir uma redução de transportadores, traduzindo-se em número de horas de trabalho poupadas, em diminuição do absentismo e em redução de necessidade de novas formações. Naturalmente, ao não incorrer nestes custos, então os mesmo passam a ser considerados benefícios. Importa salientar que o objetivo não será eliminar pessoas, mas sim otimizar as tarefas e aproveitar os recursos, alocando-os a tarefas de valor acrescentado. A longo prazo, o impacto reflete-se na inexistência da necessidade de empregar novos operadores para esta mesma tarefa.

Importa ainda referir que ao não recorrer a transportadores para realizar as tarefas, então também deixam de existir custos associados à manutenção dos empilhadores. Do mesmo modo, deixam ainda de existir custos de energia despendidos para alimentação elétrica destes veículos.

A Tabela 19 permite aferir os benefícios associados a estes projetos e as fórmulas aplicadas para os calcular. Todas as fórmulas foram calculadas numa base anual.

Tabela 19 - Benefícios associados a projetos de automatização

Benefício	Descrição	Fórmula	Descrição das variáveis
Redução de mão-de-obra	Corresponde às poupanças resultantes da redução de mão-de-obra para executar a tarefa	$C_{op} * N_{op} * N_t$	C_{op} : Custo de mão-de-obra (k€/ano) N_{op}: Número de mão-de-obra, por turno, que se estima reduzir com o projeto de automatização N_t: Número de turnos
Absentismo de longa duração (período superior a 30 dias de trabalho)	Corresponde ao custo incorrido aquando da falta de um operador, por questão de incapacidade de laboração, por um período superior a 30 dias. Neste caso, há necessidade de contratação de um novo operador para o posto de trabalho.	$(\frac{C_{op}}{12} * T_{FOJ} * 2) * N_{op} * N_t * Abs_{LD} + (\frac{C_{op}}{12} * T_f * N_{op} * N_t * Abs_{LD} + C_{form} * N_{op} * N_t * Abs_{LD}$	$\frac{C_{op}}{12}$: Custo mensal da mão-de-obra(k€/mês) T_{FOJ}: Tempo de formação *On Job* (1,2 meses)[2] N_{op}: Número de mão-de-obra, por turno, que se estima reduzir com o projeto de automatização N_t: Número de turnos Abs_{LD}: Taxa de absentismo de longa duração, na área de estudo (%/ano) C_{form}: Custo da entidade formadora T_f: Tempo de formação inicial (1,5 meses)[3]

[2] T_{FOJ} corresponde a 1,2 meses em que o operador está a operar na máquina, mas não ainda de forma confortável e, portanto, sem produzir com a mesma eficiência e produtividade de um operador experiente. O operador está, ainda, acompanhado por um colega experiente que, por estar alocado à formação, tem de ser também contabilizado o seu custo, o que explica a multiplicação desta parcela por "2".

[3] T_f corresponde ao período de tempo em que o operador recebe formação teórica e, portanto, não está a exercer as suas funções "*in loco*"

Benefício	Descrição	Fórmula	Descrição das variáveis
Absentismo de curta duração (até 30 dias de trabalho)	Corresponde ao custo incorrido aquando da falta de um operador, por questão de incapacidade de laboração, por um período inferior a 30 dias. Neste caso, os primeiros 3 dias são pagos na totalidade pela entidade patronal e, ao invés de se substituir o trabalhador, os colegas são pagos a 150% (que corresponde ao pagamento de horas extra)	$\frac{3}{CUDs} * C_{op} * N_{op} * N_t * Abs_{CD} + C_{op} * N_{op} * N_t * Abs_{CD} * 150\%$	CUDs: dias úteis de trabalho Abs_{CD}: Taxa de absentismo de curta duração, na área de estudo (%/ano) N_{op} : Número de mão-de-obra por turno N_t: Número de turnos C_{op} : Custo da mão-de-obra(k€/ano)
Flutuação	Corresponde ao custo incorrido aquando da flutuação de operadores. Flutuação corresponde a operadores que se reformam, que mudam de posto de trabalho ou que mudam de local de trabalho. Neste caso, existe contratação de novos operadores, sendo o cálculo similar ao realizado no absentismo de longa duração.	$(\frac{C_{op}}{12} * T_{OJT} * 2) * C_{op} * N_{op} * N_t * F_{op} + (\frac{C_{op}}{12} * T_f) * C_{op} * N_{op} * N_t * F_{op} + C_{form} * N_{op} * N_t * F_{op}$	$\frac{C_{op}}{12}$: Custo mensal da mão-de-obra (k€/mês) T_{OJT}: Tempo de formação *On Job* (1,2 meses) N_{op}: Número de mão-de-obra por turno N_t: Número de turnos F_{op}: Taxa de flutuação de operadores, na área de estudo (%/ano) C_{form}: Custo da entidade formadora
Manutenção do empilhador	Corresponde ao custo incorrido na manutenção preditiva, preventiva e curativa dos empilhadores	$C_{MEmp} * N_{Emp}$	C_{MEmp}: Custo de manutenção do empilhador (k€/ano) N_{Emp}: Número de empilhadores
Consumo de energia do empilhador	Corresponde ao custo incorrido para a alimentação energética do empilhador	$C_{EEmp} * N_{Emp}$	C_{EEmp}: Custo energético do empilhador (k€/ano) N_{Emp}: Número de empilhadores

5.6.2 Investimento associado à compra dos AGVs

Para avaliar o investimento necessário para a aquisição do sistema de AGVs, foram estabelecidas reuniões com fornecedores desta tecnologia. Contudo, à data da elaboração deste projeto, a escolha do modelo específico do veículo a adquirir não tinha (ainda) sido efetuada. No entanto, alguns orçamentos

já estavam disponíveis para determinar o investimento necessário para a aquisição dos veículos de condução autónoma, tendo sido projetada a análise financeira com base nestes valores.

5.6.3 Custos de operação do sistema de AGVs

A utilização de AGVs envolve despesas de eletricidade para carregamento das baterias e despesas para manutenção dos veículos. Estes custos de operação do sistema foram estimados reunindo dados relativos à manutenção dos AGVs existentes na unidade de CST.

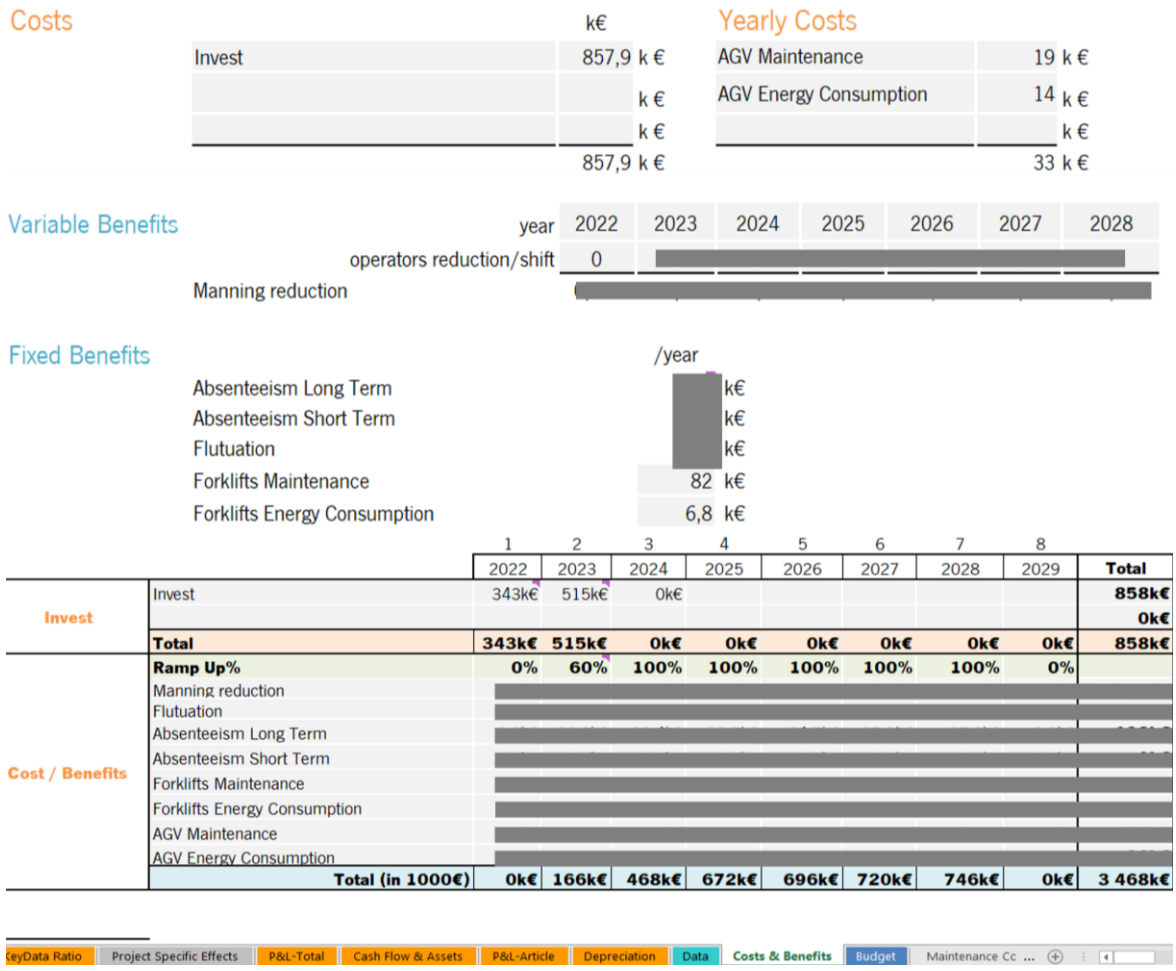
Relativamente às intervenções efetuadas para manutenção (preditiva, preventiva e curativa), foram considerados os custos de aquisição de peças de substituição e os custos de mão-de-obra.

5.6.4 Custos adicionais

A introdução de veículos guiados autonomamente requer, consequentemente, algumas modificações/alterações na dinâmica normal da fábrica. Assim, torna-se necessário preparar os locais de *pick-up* e de *drop-off* para a integração do AGV, dotando-os, por exemplo, de sensores (que informam o AGV no caso de a posição se encontrar ocupada com material), de *dock stations* e/ou de plataformas de apoio, como é caso o *conveyor* do cenário 1. É ainda essencial atentar que terão de se preparar as utilidades, como são caso a instalação de pontos de rede para providenciar acesso à *Internet* e a instalação de rede de energia para conduzir energia elétrica.

5.6.5 Poupanças Anuais

Após apurar os custos e benefícios referentes aos cenários de automatização A e B, é possível aferir as poupanças anuais associadas ao projeto de automatização dos transportes. A Figura 57 é ilustrativa da análise de custo/benefício efetuada para o cenário A.



Costs

	k€
Invest	857,9 k €
	k €
	k €
	857,9 k €

Yearly Costs

AGV Maintenance	19 k €
AGV Energy Consumption	14 k €
	k €
	33 k €

Variable Benefits

year	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
operators reduction/shift	0						
Manning reduction							

Fixed Benefits

	/year	
Absenteeism Long Term		k€
Absenteeism Short Term		k€
Flutuation		k€
Forklifts Maintenance	82	k€
Forklifts Energy Consumption	6,8	k€

		1	2	3	4	5	6	7	8	
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Total
Invest	Invest	343k€	515k€	0k€						858k€
										0k€
	Total	**343k€**	**515k€**	**0k€**	**0k€**	**0k€**	**0k€**	**0k€**	**0k€**	**858k€**
Cost / Benefits	**Ramp Up%**	**0%**	**60%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**0%**	
	Manning reduction									
	Flutuation									
	Absenteeism Long Term									
	Absenteeism Short Term									
	Forklifts Maintenance									
	Forklifts Energy Consumption									
	AGV Maintenance									
	AGV Energy Consumption									
	Total (in 1000€)	**0k€**	**166k€**	**468k€**	**672k€**	**696k€**	**720k€**	**746k€**	**0k€**	**3 468k€**

KeyData Ratio | Project Specific Effects | P&L-Total | Cash Flow & Assets | P&L-Article | Depreciation | Data | Costs & Benefits | Budget | Maintenance Cc ...

Figura 57 - Ilustração do cálculo dos custos e benefícios do cenário A

Por questões de privacidade de dados, alguns valores foram ocultados.

Relativamente à Figura 57, importa denotar:

- O investimento é realizado ao longo de dois anos. No primeiro ano do projeto é pago 40% do investimento total do projeto (343k€ para efeitos de *downpayment* do sistema de AGVs e preparação do terreno), realizando-se o restante pagamento no segundo ano (515k€);
- *Ramp-up* corresponde ao retorno percentual esperado das poupanças. Isto é: observando os custos variáveis, é possível atentar que a redução de mão-de-obra é efetuada de modo faseado. No primeiro ano do projeto não se espera reduzir mão-de-obra, pois a aquisição dos AGVs estará planeada para fevereiro do ano de 2023, retirando-se a totalidade da mão-de-obra apenas quando o sistema estiver a funcionar na sua plenitude. Do mesmo modo, a implementação dos AGVs será, também, faseada, apenas tendo a totalidade do sistema em funcionamento a partir do 3º ano de investimento. Isto significa que as poupanças têm de ser calculadas considerando estes fatores. Quando o sistema está em pleno funcionamento, os benefícios são retornados a

100%, mas quando o sistema está em fase de implementação, espera-se que os benefícios sejam na ordem dos 60%. Estes 60% correspondem a 7 meses com 3 de 5 AGVs em funcionamento, e 3 meses do ano de 2023 com os restantes 2 AGVs implementados. Assim: $\frac{7}{12} * \frac{3}{5} + \frac{3}{12} * \frac{5}{5} \cong 60\%$. O plano de implementação é abordado no capítulo 5.7 e clarifica o modo de atuação para realizar este projeto.

Deste modo, e calculando em termos médios, é possível aferir que o cenário A gera poupanças anuais na ordem dos 660k€. Foi elaborada a média com os valores dos anos 3 a 7, pois são os anos em que o sistema estará a funcionar na sua plenitude (*ramp-up* de 100%) e de forma estável. Relativamente ao segundo ano do projeto, em que o sistema estará em fase de implementação, espera-se uma poupança de cerca de 166 000€.

A Figura 58 ilustra a mesma análise, para o caso do cenário B.

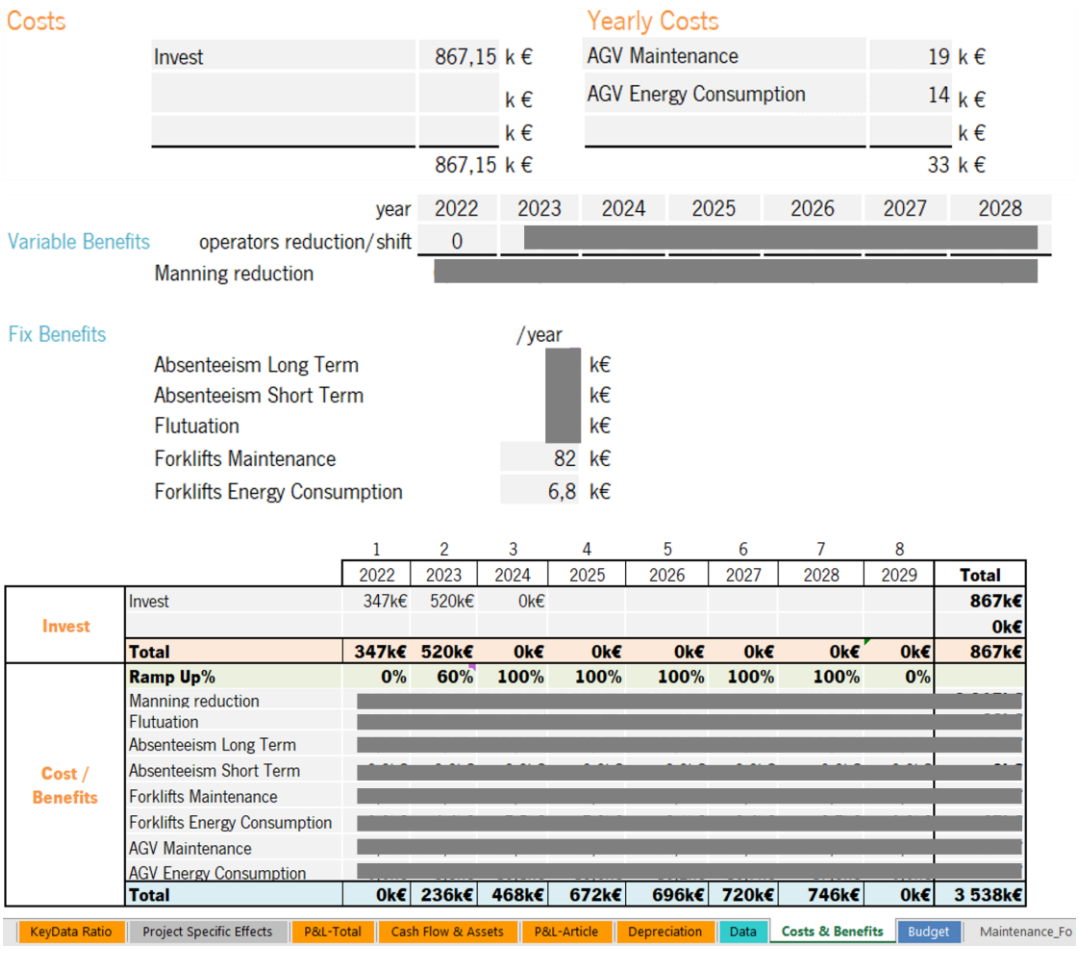


Figura 58 - Ilustração do cálculo dos custos e benefícios do cenário B

Uma vez que os projetos apenas diferem no montante investido, então as poupanças geradas são as mesmas (cerca de 660k€/ano). Relativamente ao segundo ano do projeto, em que o sistema estará em

fase de implementação, espera-se uma poupança de cerca de 236 000€. Esta poupança esperada é mais elevada, pois o investimento, neste ano, é também mais elevado.

5.6.6 Avaliação económica do projeto

A avaliação económica do projeto de implementação de AGVs foi efetuada recorrendo ao cálculo do IRR (*Internal Rate Return*), pois, para além de ser o método utilizado no dia a dia da empresa, é um método que considera o valor do dinheiro no tempo e, portanto, valoriza mais os fluxos financeiros imediatos, em detrimento dos fluxos subsequentes. Para tal, uma taxa mínima de atratividade (TA) foi definida pela empresa, a qual se encontra em 17%. Assim, projetos com um IRR inferior a 17% são considerados economicamente inviáveis.

A Tabela 20 resume a alocação dos investimentos associados ao cenário de automatização A, apresentado na secção 5.2. Os valores correspondem a valores de referência obtidos por *benchmarking* de fornecedores.

Tabela 20 – Mapa de investimentos para o cenário A

Cenário	Categoria de Investimento	Descrição	Preço unitário [€]	Unidade	Quantidade	Total [€]	Tipo de movimento
A	Equipamento	AGV	97 000,00 €	equipamento	5	485 000,00 €	Investimento
	Equipamento	*Conveyor A*	1 500,00 €	metro	16	24 000,00 €	Investimento
	Equipamento	*Conveyor B*	1 500,00 €	metro	16	24 000,00 €	Investimento
	Equipamento	Sensores (para colocar nos *conveyors*, para detetar as paletes)	500,00 €	equipamento	8	4 000,00 €	Investimento
	Equipamento	Leitores código de barras (para colocar nos *conveyors*)	250,00 €	equipamento	4	1000,00 €	Investimento
	Preparação do terreno	Desmantelamento do 1º ponto de *check*	2 000,00 €	atividade	1	2 000,00 €	Despesa
	Equipamento	Modificação do local de *pick up* (colocação de mecanismo abrir paletes de forma automática)	20 000,00 €	atividade	6	120 000,00 €	Investimento
	Utilidades	Pontos de rede; Rede de energia; Ar comprimido...	30 000,00 €	atividade	1	30 000,00 €	Despesa
	Licenças, projetos e simulações	EWM (*Extended Warehouse Management*)	10 000,00 €	*software*	1	10 000,00 €	Despesa
	Suporte	Instalação do sistema de AGVs	25 000,00 €	equipamento	5	125 000,00 €	Despesa
	Contingência					32 900,00 €	
TOTAL						**857 900,00 €**	

Do mesmo modo, a Tabela 21 sumariza o investimento para automatizar o transporte de paletes, recorrendo, para tal, ao cenário B.

Tabela 21 - Mapa de Investimentos para o cenário B

Cenário	Categoria de Investimento	Descrição	Preço unitário [€]	Unidade	Quantidade	Total [€]	Tipo de movimento
B	Equipamento	AGV	97 000,00 €	equipamento	5	485 000,00 €	Investimento
	Equipamento	*Stacker/Destacker*	50 000,00 €	equipamento	1	50 000,00 €	Investimento
	Preparação do terreno	Desmantelamento do 1º ponto de *check*	2 000,00 €	atividade	1	2 000,00 €	Investimento
	Equipamento	Dock Stations	1 000,00 €	equipamento	16	16 000,00 €	Investimento
	Equipamento	Modificação do local de *pick up* (colocação de mecanismo abrir paletes de forma automática)	20 000,00 €	equipamento	6	120 000,00 €	Despesa
	Utilidades	Pontos de rede; Rede de energia; Ar comprimido...	30 000,00 €	atividade	1	30 000,00 €	Despesa
	Licenças, projetos e simulações	EWM (*Extended Warehouse Management*)	10 000,00 €	*software*	1	10 000,00 €	Despesa
	Suporte	Instalação do sistema de AGVs	25 000,00 €	equipamento	5	125 000,00 €	Despesa
	Contingência					29 150,00 €	
TOTAL						**836 000,00 €**	

A nível de gestão do projeto, e por forma a minimizar os imprevistos, foi considerada uma parcela de contingência, a qual foi calculada tendo em consideração 5% do capital alocado a movimentos do tipo Investimento.

Para cálculo do IRR, foi considerado que os equipamentos depreciam a 10 anos.

Por forma a contabilizar a variação do valor do dinheiro no tempo, foi considerada uma taxa de inflação (i) de 3,5%.

Como o cálculo do IRR é similar ao cálculo do *Net Present Value* (NPV), foi também calculado este indicador, utilizando, para tal, uma taxa de 17%. Finalmente, foi ainda calculado o *payback time* (tempo de recuperação do investimento), que traduz o número de anos necessários para recuperar o investimento inicial do projeto.

A Tabela 22 resume os indicadores de avaliação do projeto calculados para cada um dos cenários.

Tabela 22 - Indicadores de avaliação económica do projeto

	Cenário A	Cenário B
NPV @17%	781 000€	818 000€
IRR (%)	47.1%	49.3%
Payback Time [a/m]	2 anos e 8 meses	2 anos e 7meses

Neste caso, como os IRR se encontram nos 47.1% e 49.3%, então consideram-se os dois projetos economicamente viáveis. O retorno esperado do investimento estima-se ocorrer dentro de 2 anos e 8 meses para o cenário A e dentro de 2 anos e 7 meses para o cenário B. O NVP é superior a 0 em ambos os cenários e, portanto, consideram-se ambos economicamente viáveis.

Uma vez que ambas as opções se demonstraram económica e estruturalmente viáveis, a decisão recaiu no IRR mais elevado. Assim, foi selecionado o cenário B como o mais ajustado. Complementarmente, uma vez que o cenário B não necessita de instalar *conveyors*, mas sim apenas marcações, então esta opção é, também, mais flexível, permitindo que a configuração seja facilmente reajustada em cenários futuros de maior automatização.

5.7 Plano de implementação

Por forma a tornar o projeto exequível e antecipar limitações/obstáculos à implementação do sistema, houve a necessidade de planear e mapear as ações que permitem atingir os objetivos propostos.

Neste sentido, foi traçado um plano de implementação a 2 anos que visa a concretização do cenário B na Continental Mabor. O cronograma de implementação apresentado na Figura 59 é ilustrativo deste planeamento.

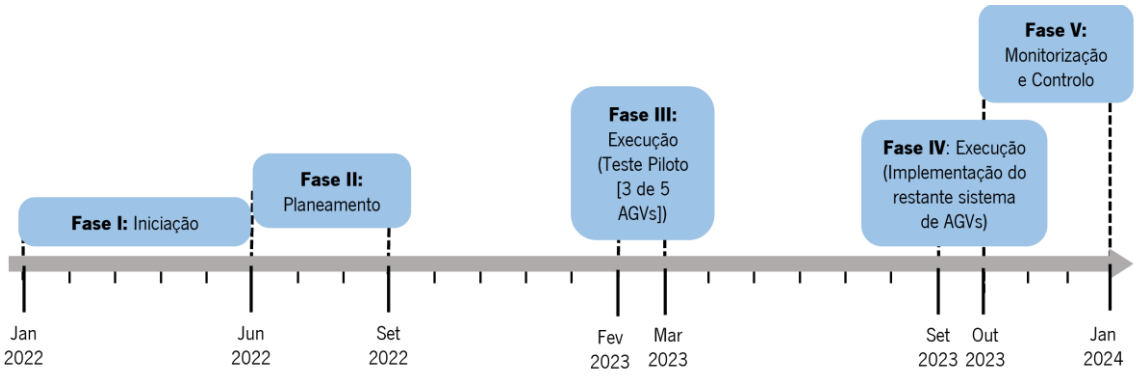


Figura 59 - Cronograma de implementação

A **fase I** – Iniciação -, corresponde à etapa de abertura do processo. Esta é uma fase fortemente marcada pela elaboração da documentação do projeto. Primeiramente, é criado um documento com os requisitos

técnicos da fábrica (*Plant Requirement Book*). Exemplos de requisitos prendem-se com a velocidade permitida de circulação dos veículos na fábrica, número de movimentos necessários realizar por hora, características da carga a movimentar, etc. Esta documentação visa descrever todas as necessidades do cliente (Continental), para que o fornecedor atente aos requisitos e proponha uma solução técnica que os satisfaça. Esta documentação serve de base para as discussões técnicas e comerciais com os fornecedores. Uma vez terminadas as discussões, é selecionado um fornecedor para realizar o projeto com a CMIP. Esta fase termina com a aprovação de ordem do projeto por parte da direção da empresa. Estima-se que esta fase tenha uma duração de cerca de 6 meses.

A **fase II** – Planeamento -, diz respeito aos preparativos necessários para receber os veículos na fábrica. Nesta fase, são realizadas as alterações necessárias ao terreno, como é caso o desmantelamento da zona de 1º *check* e a instalação das utilidades (pontos de rede, energia elétrica, entre outras necessidades). Nesta fase, são ainda preparadas as *dock stations* e é instalado o *stacker/destaker*. Este período termina com a reunião de *kickoff*, na qual o projeto é oficialmente iniciado. Na reunião de *kickoff* clarificam-se os objetivos, os prazos, a estrutura de trabalho, as oportunidades, os riscos do projeto, etc.). Esta fase tem uma duração estimada de, aproximadamente, 3 meses.

A **fase III** – Execução do Projeto Piloto -, corresponde à implementação dos 3 primeiros *robots*. Esta fase contempla tanto a entrega dos AGVs como a sua instalação e comissionamento. Consideram-se, ainda, as formações aos operadores. Uma vez instalados os 3 AGVs, existe um *ramp-up period* de 15 dias, em que a equipa do projeto acompanha a integração do AGV na dinâmica da fábrica e ajusta o sistema. Considera-se que o sistema estará apto quando forem executadas, de forma estável, todas as tarefas necessárias, ao longo de 15 dias. Estima-se que a fase III tenha, assim, uma duração de cerca de 1,5 meses.

A **fase IV**, por sua vez, corresponde à integração do restante sistema de AGVs. Esta fase está planeada para acontecer meio ano após a introdução dos primeiros AGVs, por forma a, neste período, analisar, controlar e monitorizar o sistema, corrigindo falhas. Este período permite, ainda, que a própria organização aprenda a coabitar com o veículo e a interagir com ele, estando os colaboradores mais preparados para rececionar a restante frota. Tal como na fase III, estima-se que o período de introdução destes 2 AGVs seja de cerca de 1,5 meses.

Finalmente, a última fase – **Fase V** -, diz respeito à fase de controlo e monitorização do sistema. Nesta fase, é analisada a performance do sistema por forma a adaptar o processo e melhorá-lo, continuamente, otimizando o sistema de AGVs e aumentando, consequentemente, a sua eficiência. Exemplos de

indicadores de performance a atentar nesta fase são: erros nas entregas, atrasos nas entregas, tempo em bloqueio e taxa de utilização.

O planeamento do projeto foi elaborado com recurso ao *software* MS Project. No Apêndice VI é possível consultar, com maior detalhe, todas as fases de implementação.

5.8 Análise crítica ao valor acrescentado das atividades com a implementação do projeto piloto

Como identificado no subcapítulo 4.3.4, à data do desenvolvimento deste projeto, a Inspeção Final possuía um grande número de atividades sem valor acrescentado para o cliente, bem como um número elevado de tarefas necessárias, mas sem valor acrescentado. Assim, tornou-se percetível que se tratava de um processo com margem para introdução de melhorias.

O projeto de automatização desenvolvido sugere as seguintes propostas de melhoria, identificadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Tabela sumário das propostas de melhoria para cada tarefa da IF

Atividade	Elemento(s) da Atividade	Classificação	Proposta de melhoria
Paletizar	Mover palete vazia para o *robot*	NNVA	Automatização com recurso a AGV
	Abrir palete	NVA	Automatização com recurso a mecanismo de abertura de paletes
	Carregar no botão para que a palete seja reconhecida pelo *robot*	NVA	Automatização com recurso a Interface "AGV – Robot"
	Encher palete com pneus	VA	
Mover palete para o destino	Remover palete cheia	NNVA	Automatização com recurso a AGV
	Colocar palete no solo	NVA	Eliminação
	Esperar por saída de 2ª palete para movimentar duas paletes empilhadas	NVA	Eliminação
	Empilhar em dois níveis	NVA	Eliminação
	Mover palete cheia para ponto "Handover 3PL - Continental"	NNVA	Automatização com recurso a AGV; Redefinição da localização
Preparar embarque (Empresa de Operações Logísticas)	Ler *barcode* da palete e confirmar nº pneus	NVA	Automatização com recurso a Scanners no AGV e interface com EWM
	Mover palete cheia do ponto *double check* para *shuttle* para organizar por naves	NNVA	Atividade alocada a **2º *layer*** de automatização
	Armazenar paletes até ser necessário mover	NVA	Atividade alocada a **2º *layer*** de automatização
	Mover paletes cheias do *shuttle* para o cais	NNVA	Atividade alocada a **2º *layer*** de automatização
	Mover paletes cheias do cais para o camião	NNVA	Atividade alocada a **2º *layer*** de automatização
	Mover paletes vazias do camião para *buffer* grande de paletes vazias	NNVA	Atividade alocada a **2º *layer*** de automatização

Atividade	Elemento(s) da Atividade	Classificação	Proposta de melhoria
Reabastecer os *buffers* de vazias	Mover paletes vazias do *buffer* grande para *buffers* intermédios	NNVA	Automatização com recurso a AGVs e mecanismos de aprovisionamento de paletes

É possível apurar que, com a proposta desenhada, poderá otimizar-se 50% das atividades NNVA (4 de um total de 8 tarefas identificadas como NNVA), recorrendo, para tal, à automatização dos processos.

Adicionalmente, poderão otimizar-se 86% das tarefas sem valor acrescentado, eliminando-se 43% das atividades (3 de um total de 7 tarefas) e automatizando outras 43% (3 de um total de 7 tarefas).

Por último, importa clarificar o significado de *2º layer* de automatização. Este termo refere-se a tarefas que não foram âmbito deste projeto, estando identificadas como oportunidades de melhoria em cenários futuros. No caso desta proposta, o foco foi alocado ao desenvolvimento de um conceito de automatização desde as células de paletização até ao ponto de transferência entre a Continental e a empresa externa de operações logísticas. Assim, melhorias das tarefas desempenhadas pela entidade externa, deverão ser atendidas depois de introduzir este projeto piloto.

Os gráficos da Figura 60 clarificam os dados suprarreferidos.

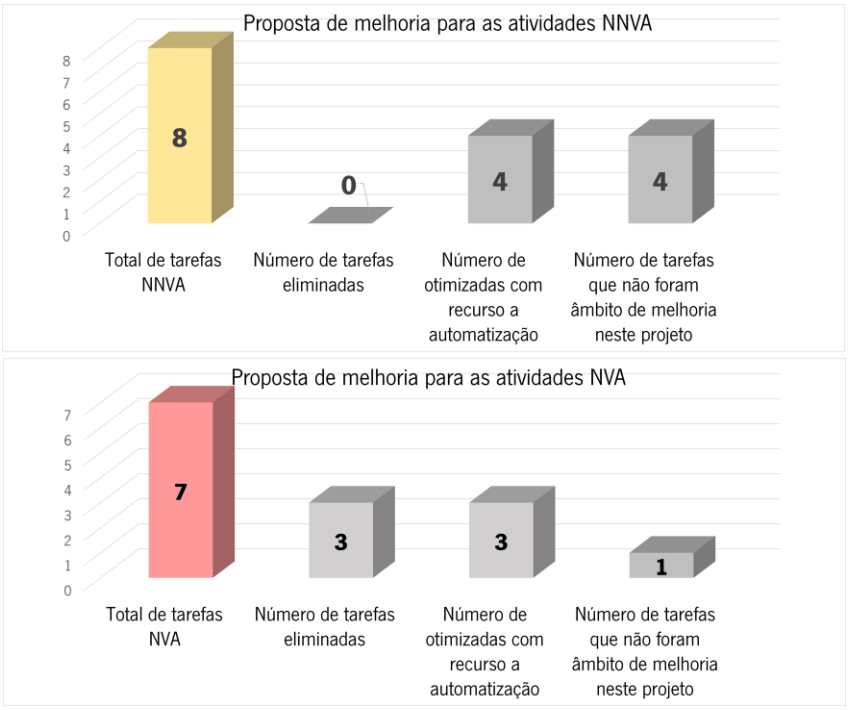


Figura 60 - Quantificação do impacto do projeto no domínio das tarefas NNVA e NVA

Assim, pelo gráfico supra identificado, é possível perceber que, perante um total de 8 tarefas NNVA identificadas, este cenário de automatização permite otimizar 4 tarefas sendo que 4 outras tarefas, por estarem fora do âmbito do trabalho desenvolvido neste projeto piloto, não foram impactadas por esta

automatização. Já relativamente às tarefas NVA, das 7 identificadas, é possível perceber que 3 foram eliminadas, 3 foram otimizadas com recurso a automatização e 1 tarefa ficou fora do âmbito deste projeto piloto.

5.9 Análise crítica às questões de investigação

No início deste projeto de dissertação, foram colocadas duas questões de investigação:

1. "Quais os requisitos que devem ser cumpridos para recorrer a transporte autónomo para movimentar materiais?"
2. "Que etapas devem ser utilizadas para introduzir tecnologias de condução autónoma, em ambiente industrial?".

Com base na revisão da literatura e no *know-how* da direção de Inovação da CMIP, foi possível responder à questão 1, traçando-se pré-requisitos e critérios de avaliação de potencial de automação. Assim, percebeu-se que existem 3 tipos de requisitos: requisitos do processo, das infraestruturas e das finanças. Ao nível do processo importa garantir que se está a desenhar um conceito de automação para uma tarefa que é morosa, repetitiva, monótona, ergonomicamente desafiante e/ou suscetível a erros. Ao nível estrutural, deverá garantir-se que o espaço físico permite acolher o veículo de navegação autónoma e que existe possibilidade de o conectar à rede das infraestruturas, permitindo uma ligação *wireless*. Finalmente, ao nível financeiro, é importante assegurar que existe verba disponível para investir neste projeto de automatização. Para avaliar estes pré-requisitos, podem ser traçados critérios de avaliação, tais como repetibilidade da tarefa, melhorias de segurança esperadas, frequências de transporte, espaço disponível para movimentação, etc.

Relativamente à questão 2, com base na literatura e na experiência deste caso de estudo, foi possível aferir as seguintes etapas:

- **Diagnóstico/Visão Holística do processo**
    - Levantamento de todos os processos internos que recorrem a pessoas para movimentar materiais;
    - Observar e recolher dados para caracterizar cada processo de movimentação de materiais, reconhecendo pontos de origem, destinos, produto transportado, *triggers* que despoletam o processo e outras informações pertinentes que auxiliem na compreensão do processo de produção;

- Avaliação de cada processo auscultado para identificação de oportunidades de automatização.

- **Definição de objetivos e requisitos**
  - Para o(s) processo(s) identificado(s) com potencial para automatizar, deverão ser definidos os requisitos técnicos da solução, isto é, *throughputs* que deverão ser cumpridos, caracterização das cargas que deverão ser movidas, bem como tipo de navegação preferível para o veículo autónomo, caracterização dos locais de *picking* e *drop-off*, etc.
- **Desenvolver um conceito de automatização**, isto é, decidir o número de veículos a utilizar e idealizar como os mesmos podem ser integrados na dinâmica da fábrica para minimizar "surpresas" antes, durante e depois da instalação;
- **Estudo de mercado**, para aferir características dos dipositivos, tais como custos das tecnologias e equipamentos de apoio, dimensões dos veículos, tipo de navegação utilizada e capacidade de carga que conseguem movimentar. Um estudo económico do projeto deverá ser conduzido para avaliar a viabilidade do projeto.
- **Testar possíveis soluções**, nesta fase pode ser interessante recorrer a modelos de simulação para testar diferentes configurações e fazer variar parâmetros de simulação, tais como, número de locais de *picking*, número de veículos no sistema, etc.
- **Começar "pequeno"**, instalando um projeto piloto numa pequena área, por forma a obter conhecimento acerca da dinâmica do AGV no ambiente físico das instalações e dar oportunidade aos técnicos de manutenção e operadores de se adaptarem aos novos requisitos/dinâmicas. Esta abordagem permite, ainda, ganhar experiência para aumentar a frota, numa fase posterior.

5.10 Limitações do caso de estudo

O caso de estudo desenvolvido contempla algumas limitações.

Dado o período de tempo associado ao desenvolvimento do projeto de dissertação, importa referir que os dados recolhidos reportam a análises de 4 meses de produção, o que pode não ser uma amostra representativa. Mais se acrescenta que os volumes de produção variam ao longo do ano e de ano para ano, o que significa que deverá ser efetuado um estudo mais pormenorizado, contemplando o *forecast* do ano seguinte, para retirar conclusões mais alinhadas com as necessidades do momento.

6. PROJETO iTi – *INTELIGENT TIRE INTRALOGISTICS*

Dado o estudo de diagnóstico realizado no decorrer deste projeto, foi possível iniciar trabalho no âmbito do projeto iTi, do acrónimo *intelligent Tire intralogistics*.. Este é um projeto da Direção de Inovação que surgiu derivado do trabalho realizado ao longo da resolução do caso de estudo apresentado nesta dissertação. Assim, o projeto iTi nasce para ser inserido na visão estratégica 2022/2030 e o objetivo passa por automatizar a intralogística da fábrica, ao longo de 8 anos, recorrendo, para tal, a soluções tecnologicamente interessantes nos domínios do armazenamento, manuseamento e transporte de materiais. Este projeto visa atentar todos os fluxos (de informação e de bens) desde a entrada de materiais na fábrica até à expedição do produto acabado.

Com este objetivo em mente, e aquando do diagnóstico das áreas, foram analisados, pela autora desta dissertação, todos os transportes da fábrica, por forma a compreender o processo de produção e entender tanto as atividades desempenhadas, como os entraves à automatização.

Cada processo refletiu-se num subprojecto do projeto macro e, para cada processo auscultado, foi desenhado um conceito de automatização, com respetiva orçamentação. Com base neste mapa de investimentos, foi calculado um IRR para cada um dos subprojectos. Assente neste IRR e nas atividades a desempenhar, foi estabelecida uma priorização das áreas de estudo, possibilitando, assim, a criação de um *roadmap* de implementação que permita balizar este projeto de automatização e torná-lo concretizável.

A seguinte metodologia foi adotada:

1. **Auscultação do processo**

   Nesta fase, procurou conhecer-se e compreender o processo produtivo e os fluxos de materiais dentro das instalações. Para tal, realizaram-se visitas constantes ao chão de fábrica. Os seguintes aspetos foram trabalhados:

   - Registo dos locais de origem e de destino dos materiais;
   - Caracterização das cargas movidas, isto é, identificação do *carrier* (*trolley* vs palete), dimensões do *carrier* em termos de largura, altura e comprimento, tipo de produto ou semiproduto a ser movido, volume da carga, etc.

- Compreensão dos modos de operação, isto é, rotas dos operadores logísticos, número de operadores envolvidos no transporte, quantidades movidas por viagem e frequência de movimentação das cargas.
- Caracterização dos espaços físicos, considerando a dimensão dos corredores e os desenhos dos *layouts*.
- Registo de restrições/entraves à automatização e de particularidades dos processos. Nesta fase, foi identificado se, por exemplo, haveria necessidades de automatizar processos auxiliares (como o armazenamento, por exemplo); se o espaço físico permitiria o AGV circular sem comprometer a sua eficiência, etc.

2. **Validação das oportunidades e criação de conceitos**

Uma vez recolhidos os dados necessários, foi criado um conceito de automação para cada processo. Nesta fase, foram criadas soluções para aspetos que impediam a automatização do processo, por forma a cumprir com o desígnio de automatizar todos os fluxos. Foram, ainda, pesquisadas as diferentes tecnologias disponíveis no mercado.

Nestes cenários de automatização, objetiva-se que o AGV interaja com o operador da máquina e não diretamente com esta. Assim, foram desenhadas as interações observáveis na Figura 61:

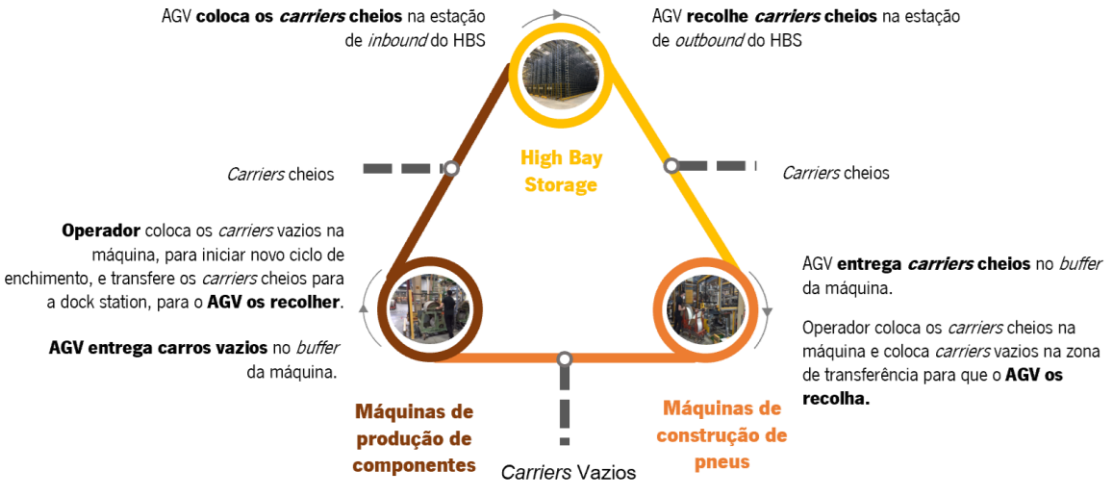


Figura 61 - Ilustração das interações Homem-AGV estabelecidas para criação dos conceitos de automatização no projeto iTi

Nesta fase de validação e criação de conceito, as seguintes ações foram tomadas:

- Pesquisa de tecnologias disponíveis no mercado;

- Estimativa do número de AGVs necessários, recorrendo, para tal, ao método 1 - Rácio de empilhadores por AGV -, abordado no subcapítulo 5.3. Foi utilizado o "pior cenário" em que se estimou que, para assegurar o trabalho de cada 1 operador logístico, seriam necessários 2 AGVs. No caso de fluxos assegurados por rebocadores que recorrem a atrelados, foi selecionado como alternativa os comboios logísticos (AGV com *trolleys* atrelados);
- Mapeamento dos custos. Para cada processo, foram mapeados os recursos necessários e os custos dos mesmos. Para tal, foram atentados aspetos como número de posições dos *buffers*, automatização dos *buffers* e criação de *dock stations*, utilidades, alteração das estações de *inbound* e *outbound* dos HBS para interação com os AGVs, etc.;
- Cálculo dos benefícios (recorrendo, para tal, ao mesmo método utilizado no subcapítulo 5.6);
- Cálculo do IRR.

3. **Criação de *roadmap***

   Por limitação de tempo do projeto, não foi possível traçar o *roadmap* completo. Contudo, a seguinte metodologia foi estabelecida:

   - Ordenação dos projetos por ordem decrescente de IRR;
   - Através da experiência da Direção de Inovação, analisar criticamente a ordenação obtida e estabelecer prioridades, dependências e paralelismos;
   - Criação de um cronograma do projeto (*roadmap*) com todos os subprojectos de automação, por forma a balizar o projeto no tempo e assegurar a sua concretização.

Importa referir que, nesta fase do projeto iTi, foram criados conceitos, o que significa que, posteriormente, aquando da iniciação de cada *subprojeto*, cada conceito será revisto e adaptado às necessidades do momento.

O Apêndice VII retrata um exemplo de mapeamento dos custos e a tabela resumo dos projetos com respetivo IRR.

7. Conclusões e Trabalho Futuro

Ao longo deste capítulo, são apresentadas as principais conclusões baseadas nas evidências obtidas com a realização deste projeto de dissertação. O capítulo termina com o levantamento de algumas sugestões de trabalhos futuros, no domínio das tecnologias de condução autónoma, na fábrica da Continental Mabor.

7.1 Conclusões

A Continental Mabor é uma empresa fornecedora de componentes da indústria automóvel e, como tal, o mercado em que se insere é altamente competitivo. Para alcançar a vantagem competitiva, é importante acompanhar as oportunidades existentes e adotar os sistemas que estejam na vanguarda da tecnologia, permitindo, consequentemente, aumentar a eficiência e a capacidade produtiva da fábrica.

Recentemente, a automatização dos processos tem-se revelado um aliado forte das empresas, sendo que a CMIP tem procurado aproveitar esta oportunidade. Assim, o objetivo primordial desta dissertação prendeu-se com demonstrar a viabilidade funcional e económica de implementar AGVs para automatizar o fluxo de transporte de produto acabado desde as células de paletização até ao ponto de transferência com a empresa de operações logísticas, com o objetivo de substituir o transporte tradicional de paletes, por um transporte autónomo.

Para atingir tais objetivos, foram estabelecidas várias fases de recolha de informação. Iniciou-se este projeto de dissertação por auscultar e estudar todos os transportes internos da fábrica que, à data, eram desempenhados com recurso a veículos conduzidos por Homem. Finda esta fase, e uma vez selecionado o transporte ótimo para abrir um caso de estudo mais pormenorizado, foram registados dados sobre tempos de transporte, distâncias percorridas, velocidades de movimentação, tempos de paletização e número de paletes movimentadas. Tanto foram recolhidos dados no chão de fábrica como junto dos fornecedores da tecnologia, por forma a analisar as ofertas do mercado. Foram estudados diferentes cenários de automatização, com configurações de *layout* diferentes e número de veículos necessários diferentes. Recorreu-se a cálculo analítico e a modelação computacional com recurso a *software* Simio para aferir o número de veículos necessários e compreender a integração dos veículos no espaço fabril. Concluiu-se que 5 AGVs será o número ótimo de veículos para desempenhar esta tarefa atualmente realizada por empilhadores. A introdução destes veículos implica reformular alguns processos e espaços físicos. Dos dois cenários traçados para implementar os AGVs (cenário A: reestruturação do *buffer*

recorrendo a um *conveyor* duplo; cenário B: reestruturação do *buffer* recorrendo a um *array* de posições no chão), concluiu-se que a configuração do cenário B seria a mais benéfica, tanto por se mostrar mais ágil e permitir que, a longo prazo, seja adaptável para uma automatização completa desde os paletizadores até ao camião, como por possuir um período de recuperação do investimento mais diminuto. Com a introdução de AGVs na fábrica, e seguindo os moldes do cenário B, estima-se que a empresa alcance poupanças anuais na ordem dos 660 000€, sendo o investimento retornado ao final de 2 anos e 7 meses. Em adição, espera-se que a automatização do transporte contribua significativamente para a melhoria dos indicadores de valor acrescentado das atividades. Com a implementação deste projeto, poderá otimizar-se 50% das atividades NNVA (4 de um total de 8 tarefas identificadas como NNVA), recorrendo, para tal, à automatização dos processos, bem como otimizar 86% das tarefas NVA, eliminando-se 43% das tarefas NVA (3 de um total de 7 tarefas) e automatizando outras 43%.

Por último, foi iniciado trabalho no sentido de traçar um *roadmap* para a introdução destas tecnologias na fábrica, considerando-se benéfico começar por automatizar o fluxo analisado neste caso de estudo – transporte de materiais entre os paletizadores e o ponto de *handover* com a empresa externa. Embora o objetivo, até 2030, seja automatizar todos os transportes internos da fábrica que recorram a pessoas para os efetuar, automatizar apenas um fluxo possibilita uma entrada suave com esta tecnologia, o que permitirá, por um lado, uma maior facilidade em obter aprovação por parte da gestão de topo, por outro, permitirá aos operadores ambientarem-se às novas dinâmicas e, finalmente, possibilitará preparar terreno para cenários de automatização mais completos e, consequentemente, complexos.

Importa referir que o trabalho desenvolvido permitiu ir de encontro aos objetivos inicialmente delineados, tendo sido estudados os processos internos de transporte de produtos e semi-produtos (capítulo 4.2), avaliadas as diferentes tecnologias disponíveis no mercado para transporte autónomo dos mesmos (capítulo 2.3.2), desenvolvida uma metodologia de análise de diferentes cenários de implementação de sistemas de condução autónoma (capítulo 5 e 6) e avaliado o potencial de aplicação do conceito desenvolvido à área específica da Inspeção Final I (capítulo 5). Por último, o desenvolvimento deste projeto de dissertação permitiu dar resposta às duas questões de investigação colocadas, pois foram estabelecidos requisitos que devem ser cumpridos para movimentar tecnologias de condução autónoma e as etapas seguidas no desenvolvimento deste caso de estudo, com base na revisão da literatura efetuada, permitiram explorar uma abordagem possível para implementar tecnologias de condução autónoma, em ambiente industrial.

7.2 Evidências aferidas

De modo geral, a realização deste projeto permitiu compreender que a substituição de empilhadores por AGVs é um tema polarizado.

Por um lado, a viabilidade económica destes projetos acaba por ser justificada com facilidade pois, embora os investimentos iniciais possam ser elevados, a recuperação do investimento é relativamente curta. Tal acontece, essencialmente, devido ao fator mão-de-obra. Um *robot* tem capacidade para laborar em regime contínuo, ao longo dos diferentes turnos, ao passo que o homem apenas executa tarefas durante um período laboral limitado de 8 horas.

Por outro lado, e atentando agora no campo funcional, é facilmente percetível que um *robot* não terá a mesma polivalência e destreza de um operador, o que significa que a complexidade da tarefa ditará a capacidade de integração dos AGVs. No caso de a tarefa não ser repetitiva, isto é, não ter sempre o mesmo *modus operandi*, haverá entrave à operação por parte de um AGV. Do mesmo modo, no caso de a tarefa exigir julgamento por parte do operador, encontra-se, também, um obstáculo à automatização.

Contudo, e pesando os vários prós e contras, é possível gerar um entendimento comum de que os AGVs contribuem significativamente para o aumento da eficiência das organizações, tornando-as competitivas, ágeis e com maior disponibilidade de informação para tomada de decisão. Adicionalmente, as condições de segurança são significativamente melhoradas, pois os AGVs são construídos na base da segurança, estando providos de câmaras, sensores e outros dispositivos de segurança. Por último, importa referir que os avanços tecnológicos, neste campo, têm escalado de forma visível, estando o mercado dotado de uma oferta alargada destes veículos e dispondo, portanto, de veículos cada vez mais ágeis, mais autónomos e mais eficientes, aumentando, consequentemente, o leque de oportunidades de automatização das tarefas em meio industrial.

7.3 Sugestões para trabalho futuro

Os trabalhos futuros, em redor deste projeto, poderão centrar-se na redução do número de veículos na solução ou no acoplamento de tarefas, por parte dos AGVs.

Os projetos de automatização revelam-se tão mais aliciantes quanto menor for a ordem de grandeza do investimento. Assim, sendo que os AGVs correspondem a uma tecnologia de integração modular, no desenrolar do plano de implementação, poderá analisar-se, na fase III, a viabilidade de o sistema laborar com apenas 3 veículos; do mesmo modo, poderá ser estudada a disponibilidade do sistema completo,

com os 5 AGVs, entregar as paletes diretamente no camião, acoplando-se tarefas e transformando o transporte, até ao despacho, totalmente automatizado.

Trabalhos futuros poderão, ainda, ser direcionados para a investigação de tecnologias de condução autónoma com capacidade de transporte de duas paletes em simultâneo, bem como pesquisar mais fornecedores, no sentido de encontrar uma tecnologia com investimento menos avultado.

Por último, sugere-se a adoção da metodologia utilizada para desenvolver este caso de estudo como ponto de partida para desenvolver novos projetos de inovação e de automatização associados a tecnologias de condução autónoma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdirad, M., & Krishnan, K. (2020). Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *EMJ - Engineering Management Journal*, *00*(00), 1–15. https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935

AGV Network, & Kollmorgen. (2020). *AGV Cost Whitepaper* (p. 33). https://www.agvnetwork.com/index.php/download-area/category/2-ebooks-and-white-papers#

Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. In *Engineering Science and Technology, an International Journal* (Vol. 22, Issue 3, pp. 899–919). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006

Amr, M., Ezzat, M., & Kassem, S. (2019). Logistics 4.0: Definition and Historical Background. *NILES 2019 - Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference*, 46–49. https://doi.org/10.1109/NILES.2019.8909314

Angeli Poli, G., Nayara Saviani, T., & Glória Júnior, I. (2018). Logistics 4.0: A Systematic Review. *Iberoamerican Journal of Project Management*, *9*(2), 32–47. http://www.ijopm.org/index.php/IJOPM/article/view/390

Atab Automationsteknik AB. (n.d.). *History*. Retrieved July 10, 2021, from https://atab.se/our-company/history/

Automation Academy by WorkFusion. (2019). *Guide to Automation: Identifying the right processes to automate*. https://automationacademy.com/en/blog/guide-automation-identifying-right-processes-automate

Azevedo, T. A. C. R. (2016). *Revisão dos tempos-padrão no setor de construção de pneus* [Master's Thesis - Instituto Politécnico do Porto, Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto]. http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/7953/1/DM_TiagoAzevedo_2016.pdf

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1245–1252. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045

Basler Vision Technologies. (2016, October 5). *Warehouse Logistics in the Age of Industry 4.0*. Vehicles Are Getting Smart. https://www.wileyindustrynews.com/en/news/warehouse-logistics-age-industry-40

Bastian, S., Hellwig, M., Massold, W., Scholz, S., Jacobi, N., Hüttenhein, C., Klose, J., Paulus-Rohmer, D., & Schott, T. (2018). From Lean to Industry 4 . 0 – More than just the Vision of a Smart Factory. *White Paper from Bosch Industry Consulting*, *November*.

Baudin, M. (2005). *Lean Logistics The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods* (1st ed.). Productivity Press.

Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2017). Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 3970–3984. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.057

Benevides, C. (2021). *The Advantages and Disadvantages of Automated Guided Vehicles (AGVs)*. Conveyco. https://www.conveyco.com/advantages-disadvantages-automated-guided-vehicles-agvs/

Bittencourt, V. L., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2019). Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(13), 904–909. https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.11.310

Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, *150*, 119790. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790

Campos, T. M. C., Do Sameiro Carvalho, M., Oliveira, J. A., Silva, P. V., & Machado, T. (2017). Using discrete simulation to support internal logistics process design. *Proceedings of International*

Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE, *October*, 11–13. http://hdl.handle.net/1822/52891

Carvalho, J. C., Guedes, A. P., Arantes, A. J. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., Dias, J. C. Q., Menezes, J. C. R. de, Ferreira, L. M. D. F., Do Sameiro Carvalho, M., Oliveira, R. C., Azevedo, S. G., & Ramos, T. (2017a). Gestão dos Transportes na Gestão da Cadeia de Abastecimento. In M. Robalo (Ed.), *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (2nd ed., pp. 193–225). Edições Sílabo, LDA.

Carvalho, J. C., Guedes, A. P., Arantes, A. J. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., Dias, J. C. Q., Menezes, J. C. R. de, Ferreira, L. M. D. F., Do Sameiro Carvalho, M., Oliveira, R. C., Azevedo, S. G., & Ramos, T. (2017b). Logística e Gestão Logísica. In M. Robalo (Ed.), *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (pp. 23–63). Edições Sílabo, LDA.

Chen, D., Doumeingts, G., & Vernadat, F. (2008). Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future. *Computers in Industry*, *59*(7), 647–659. https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.016

Chen, Y., Wu, Y., & Xing, H. (2017). A Complete Solution for AGV SLAM Integrated with Navigation in Modern Warehouse Environment. *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, 6–11. https://doi.org/10.1109/CAC.2017.8243934

Continental Mabor. (n.d.). *Processo Produtivo*. Intranet.

Continental Portugal. (n.d.). *Marcas pneus Continental*. Retrieved March 8, 2021, from https://www.continental-pneus.pt/ligeiros/empresa/sobre-nós/unidades-negócio-pneus/unidades-negócio-pneus

Continental Portugal. (2020). *Manual do Colaborador*.

Continental Reifen Deutschland GmbH. (2010). *Continental*.

Continental Tires. (n.d.-a). *How a tire is made*. Retrieved February 28, 2021, from https://www.continental-tires.com/car/tire-knowledge/tire-basics/tire-production

Continental Tires. (n.d.-b). *Tire Components*. Retrieved February 25, 2021, from https://www.continental-tires.com/car/tire-knowledge/tire-basics/tire-components

Corecon. (n.d.). *Custom C500 Electric People Mover*. Retrieved July 10, 2021, from http://coreconagvs.com/products/C500.php

Correia, N., Teixeira, L., & Ramos, A. L. (2020). Implementing an AGV system to transport finished goods to the warehouse. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, *5*(2), 241–247. https://doi.org/10.25046/aj050231

Costa, L. F. T. G., & Arezes, P. M. F. M. (2003). *Introdução ao estudo do trabalho*.

Cronin, C., Conway, A., & Walsh, J. (2019). State-of-the-art review of autonomous intelligent vehicles (AIV) technologies for the automotive and manufacturing industry. *30th Irish Signals and Systems Conference, ISSC 2019*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ISSC.2019.8904920

Da Silva, V. L., Kovaleski, J. L., Pagani, R. N., Silva, J. D. M., & Corsi, A. (2020). Implementation of Industry 4.0 concept in companies: empirical evidences. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, *33*(4), 325–342. https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1699258

Da Xu, L., & Duan, L. (2018). Big Data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. *Enterprise Information Systems*, *13*(2), 148–169. https://doi.org/10.1080/17517575.2018.1442934

Davis, N., Companiwala, A., Muschard, B., & Petrusch, N. (2020). 4th Industrial Revolution Design Through Lean Foundation. *Procedia CIRP*, *91*, 306–311. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.102

De Ryck, M., Versteyhe, M., & Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 54, pp. 152–173). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.12.002

Dharmasiri, P., Kavalchuk, I., & Akbari, M. (2020). Novel implementation of multiple automated ground vehicles traffic real time control algorithm for warehouse operations: Djikstra approach. *Operations and Supply Chain Management*, *13*(4), 396–405. https://doi.org/10.31387/oscm0430279

Dias, L. M. S., Vieira, A. A. C., & Oliveira, G. A. B. P. J. A. (2013). Discrete Simulation Software Ranking – a Top List of the Worldwide Most Popular and Used Tools. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, *53*(9), 1689–1699.

Dos Santos, L. M. A. L., da Costa, M. B., Kothe, J. V., Benitez, G. B., Schaefer, J. L., Baierle, I. C., & Nara, E. O. B. (2020). Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *88887*. https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2020-0156

Douaioui, K., Fri, M., Mabroukki, C., & Semma, E. A. (2018). The interaction between industry 4.0 and smart logistics: Concepts and perspectives. *2018 International Colloquium on Logistics and Supply Chain Management, LOGISTIQUA 2018*, *0021266798*, 128–132. https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA.2018.8428300

DPM Mechanical Engineering. (n.d.). *Application areas and AGVs in Logistics*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.daumundpartner.de/en/AGV-of-dpm-Daum-and-Partner/vehicles-and-carriers-for-AGV-of-dpm/logistik.html

Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *8*(2), 56–58. https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079

Dunn, W. C. (2005). Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control. In *Control*. Artech House Publishers.

Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, *54*, 13–18. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162

Esmaeilian, B., Behdad, S., & Wang, B. (2016). The evolution and future of manufacturing: A review. In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 39, pp. 79–100). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001

Eurostat. (2020). *Accidents at work statistics*. Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Analysis_by_activity

Facchini, F., Ole´skówole´sków-Szłapka, J., Ranieri, L., & Urbinati, A. (2019). *A Maturity Model for Logistics 4.0: An Empirical Analysis and a Roadmap for Future Research*. https://doi.org/10.3390/su12010086

Fakhri, A. B., Mohammed, S. L., Khan, I., Sadiq, A. S., Alkazemi, B., Pillai, P., & Choi, B. J. (2020). Industry 4.0: Architecture and equipment revolution. *Computers, Materials and Continua*, *66*(2), 1175–1194. https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012587

Feld, W. M. (2001). Lean manufacturing—tools, techniques, and how to use them. In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 20, Issue 1). https://doi.org/10.1016/s0278-6125(01)80022-4

Feledy, C., & Luttenberger, S. (2017). *A State of the Art Map of the AGVS Technology and a Guideline for How and Where to Use It*. 1–115. http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/8911830

Ferreira, P. V. (n.d.). *Textos de apoio Análise de Projetos - Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial*.

Gattullo, M., Scurati, G. W., Fiorentino, M., Uva, A. E., Ferrise, F., & Bordegoni, M. (2019). Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *56*, 276–286. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.10.001

Gerkey, B. P., & Matarić, M. J. (2004). A formal analysis and taxonomy of task allocation in multi-robot systems. *International Journal of Robotics Research*, *23*(9), 939–954. https://doi.org/10.1177/0278364904045564

Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *29*(6), 910–936.

https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057
Glistau, E., & Machado, N. I. C. (2018). Logistics 4.0 and the revalidation of logistics concepts and strategies. *MultiScience - XXXII. MicroCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*. https://doi.org/10.26649/musci.2018.023
Glynn, F. (2021). *Voice Picking System in a Warehouse*. What Is Voice Picking? https://6river.com/what-is-voice-picking/
Google Earth. (n.d.). *Continental Mabor Indústria de Pneus*. Retrieved October 28, 2021, from https://earth.google.com/web/@41.35686385,-8.53856272,60.07027058a,1716.76311579d,35y,28.32652073h,70.36820101t,0r
Gregor, T., Krajčovič, M., & Więcek, D. (2017). Smart Connected Logistics. *Procedia Engineering*, *192*, 265–270. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.046
Gul, F., Alhady, S. S. N., & Rahiman, W. (2020). A review of control algorithm for autonomous guided vehicle system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, *20*(1), 552–562. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i1.pp552-562
Guo, Z., Zhou, D., Zhou, Q., Zhang, X., Geng, J., Zeng, S., Lv, C., & Hao, A. (2020). Applications of virtual reality in maintenance during the industrial product lifecycle: A systematic review. In *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 56, pp. 525–538). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.07.007
Handling Specialty. (n.d.). *AGV - Advantages and Disadvantages*. https://www.handling.com/agv-advantages-and-disadvantages/
Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. In *Technische Universitat Dortmund* (Vol. 1, Issue 1). https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248
A 7-Step Guide to Implementing Robotic Automation, (2015). https://www.teamhgs.com/sites/default/files/case-studies/a-7-step-guide-to-implementing-robotic-automation.pdf
Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, *89*, 23–34. https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002
Hrušecká, D., Lopes, R. B., & Juřičková, E. (2019). Challenges in the introduction of AGVs in production lines: Case Studies In The Automotive Industry. *Serbian Journal of Management*, *14*(1), 233–247. https://doi.org/10.5937/sjm14-18064
IHI Corporation. (n.d.). *IHI AS/RS(Automated Storage/Retrieval System)*. Retrieved August 28, 2021, from https://www.ihi.co.jp/logistics/e/products/jidousouko.html
IKV Robot. (n.d.). *Heavy duty load transfer AGV*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.ikvrobot.com/agv/heavy-burden-carriers-AGV.html
Ilić, O. . (1994). Analysis of the Number of Automated Guided Vehicles Required in Flexible Manufacturing Systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *9*, 382–389. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF01748483
Jayaram, S., Connacher, H. I., & Lyons, K. W. (1997). Virtual assembly using virtual reality techniques. *CAD Computer Aided Design*, *29*(8), 575–584. https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00094-2
Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2014*, 2–4. https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843
JBT Corporation. (n.d.-a). *Clamp AGV*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/products/special-application-agvs/clamp
JBT Corporation. (n.d.-b). *Forklift Material Handling Automated Guided Vehicles (AGVs)*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-

applications/products/forked-agvs

Jung, W. K., Kim, D. R., Lee, H., Lee, T. H., Yang, I., Youn, B. D., Zontar, D., Brockmann, M., Brecher, C., & Ahn, S. H. (2021). Appropriate Smart Factory for SMEs: Concept, Application and Perspective. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *22*(1), 201–215. https://doi.org/10.1007/s12541-020-00445-2

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, *April*, 1–84. https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf

Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Noh, S. Do. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, *3*(1), 111–128. https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5

Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. *Computers and Electrical Engineering*, *81*, 106522. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106522

Konecranes. (n.d.). *Automated Guided Vehicles*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.konecranes.com/equipment/container-handling-equipment/automated-guided-vehicles

Lee, S. Y., & Yang, H. W. (2012). Navigation of automated guided vehicles using magnet spot guidance method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *28*(3), 425–436. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.11.005

Li, G., Hou, Y., & Wu, A. (2017). Fourth Industrial Revolution: technological drivers, impacts and coping methods. *Chinese Geographical Science*, *27*(4), 626–637. https://doi.org/10.1007/s11769-017-0890-x

Liu, X., Cao, J., Yang, Y., & Jiang, S. (2018). CPS-based smart warehouse for industry 4.0: A survey of the underlying technologies. *Computers*, *7*(1), 0–17. https://doi.org/10.3390/computers7010013

Lottermoser, A., Berger, C., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2017). Method of Usability for Mobile Robotics in a Manufacturing Environment. *Procedia CIRP*, *62*, 594–599. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.122

Magnum Automation Inc. (n.d.). *AGV/AGC Assembly Line*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.magnum-inc.com/systems/agvs-agcs/agc-assembly-line/

Marques, M. (2020, July 2). *Comunicado de Imprensa*. Continental. https://www.continental.com/pt-pt/imprensa/comunicados-de-imprensa/continental-mabor-lousado-226318

Matthews Automation Solutions. (n.d.). *How to Successfully Implement Autonomous Mobile Robots (AMRs) into Order Fulfillment*. https://matthewsautomation.com/wp-content/uploads/2015/12/Matthews_Collabortive-AMR.pdf

Max AGV. (n.d.). *Maxi Carrier*. Retrieved July 10, 2021, from https://maxagv.com/project-item/cx100-maxi-carrier/

Melacini, M., Moretti, E., Perotti, S., Prataviera, L. B., & Tappia, E. (2019). Evolution of automated guided vehicles (AGVs) in the logistics 4.0 landscape: A classification framework and empirical insights. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, *1*, 374–381. http://hdl.handle.net/11311/1118603

Miranda, P. M. dos S. (2009). *Modelos de Simulação e Optimização de um Sistema de Transporte de Paletes com AGVs* [Master's thesis, Universidade do Minho, Repositório Institucional da Universidade do Minho]. http://hdl.handle.net/1822/10776

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2019). Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, *233*(5), 1342–1361. https://doi.org/10.1177/0954405417736547

Monden, Y. (2012). *TOYOTA Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time* (4th ed.). Productivity Press.

Ngo, H. Q. T., Nguyen, T. P., & Nguyen, H. (2019). Research and develop of AGV platform for the logistics warehouse environment. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 881). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02683-7_32

Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, *221*, 107476. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011

Oztemel, E., & Gursev, S. (2018). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *31*(January 2020), 127–182. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8

Palomat. (n.d.). *Pallet Staker/Destacker*. Retrieved August 3, 2021, from https://www.palomat.cz/

Peixoto, R., Dias, L., Carvalho, M. S., Pereira, G., & Geraldes, C. A. S. (2016). An automated warehouse design validation using discrete simulation. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 199–204. https://doi.org/10.1109/ITSC.2016.7795554

Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1206–1214. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032

Piedrahita, A. F. M., Gaur, V., Giraldo, J., Cardenas, A. A., & Rueda, S. J. (2018). Virtual incident response functions in control systems. *Computer Networks*, *135*, 147–159. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.01.040

Radivojevic, G., & Milosavljevic, L. (2019). The Concept of Logistics 4.0. *Proceedings of the 4Th Logistics International Conference*, 283–292.

Rocha, L. F., Moreira, A. P., & Azevedo, A. (2010). Flexible internal logistics based on AGV system's: A case study. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 43, Issue 17). IFAC. https://doi.org/10.3182/20100908-3-PT-3007.00049

Rodič, B. (2017). Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. *Organizacija*, *50*(3), 193–207. https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017

Rohrer, M. W. (1998). Simulation of Manufacturing and Material Handling Systems. In J. Banks (Ed.), *HANDBOOK OF SIMULATION Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. Wiley-Interscience.

Sabattini, L., Digani, V., Secchi, C., Cotena, G., Ronzoni, D., Foppoli, M., & Oleari, F. (2013). Technological roadmap to boost the introduction of AGVs in industrial applications. *Proceedings - 2013 IEEE 9th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2013*, *September*, 203–208. https://doi.org/10.1109/ICCP.2013.6646109

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research methods for business students* (7th ed.). Pearson Education Limited.

Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0 - Potentials for creating smart products: Empirical research results. *Lecture Notes in Business Information Processing*, *208*(June), 16–27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3_2

SCOOT. (n.d.). *AGV Tugger*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.scottautomation.com/products/tugger-agv-automatic-guided-vehicle/

Scurati, G. W., Gattullo, M., Fiorentino, M., Ferrise, F., Bordegoni, M., & Uva, A. E. (2018). Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0.

Computers in Industry, *98*, 68–79. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.001

Shenzhen Lisheng Automation Technology Co., L. (n.d.). *Piggyback AGV*. Retrieved July 22, 2021, from https://pt.made-in-china.com/co_lishengautomation/product_Agv-Robot-Automatic-Guided-Vehicle-Roller-Conveyor-Robot_ouuygsirg.html

Silva, T., Dias, L. S., Nunes, M. L., Pereira, G., Sampaio, P., Oliveira, J. A., & Martins, P. (2016). Simulation and economic analysis of an AGV system as a mean of transport of warehouse waste in an automotive OEM. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, *2013*, 241–246. https://doi.org/10.1109/ITSC.2016.7795561

Skapinyecz, R., Illés, B., & Bányai. (2018). Logistic aspects of Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *448*(1), 0–11. https://doi.org/10.1088/1757-899X/448/1/012014

SSI SCHAEFER. (n.d.-a). *AGVs for large load carriers*. Retrieved January 16, 2021, from https://www.ssi-schaefer.com/en-ph/products/conveying-transport/automated-guided-vehicles/agvs-for-large-load-carriers-652348

SSI SCHAEFER. (n.d.-b). *AGVs for small load carriers*. Retrieved July 10, 2021, from https://www.ssi-schaefer.com/pt-pt/produtos/conveying-transport/veículos-automaticamente-guiados-agvs-/fahrerloses-transportsystem-weasel-187760

Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, *40*(Icc), 536–541. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129

Taliferro, A. (2016, September 13). *Industry 4.0 and distribution centers*. Deloitte Insights. https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/warehousing-distributed-center-operations.html

Tang, C. S., & Veelenturf, L. P. (2019). The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *129*(June), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.004

Tellis, W. (1997). Application of a Case Study Methodology. *The Qualitative Report*, *3*(3), 1–19. https://doi.org/10.46743/2160-3715/1997.2015

Trebilcock, B. (2020). *GECOM Corp's next-generation automatic guided vehicles (AGV)*. https://www.mmh.com/article/gecom_corps_next_generation_automatic_guided_vehicles_agv/agvs

Ullah, M. I., Ajwad, S. A., Irfan, M., & Iqbal, J. (2016). Non-linear control law for articulated serial manipulators: Simulation augmented with hardware implementation. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, *22*(1), 3–7. https://doi.org/10.5755/j01.eee.22.1.14094

Ullrich, G. (2015). Automated guided vehicle systems. A primer with Practical Applications. In *Computers in Industry* (Vol. 2, Issue 4). Springer Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44814-4

Uniroyal. (n.d.). *Componentes de um Pneu*. Retrieved February 25, 2021, from https://www.uniroyal.pt/ligeiros/guia-de-pneus/guia-de-pneus/componentes-de-um-pneu

Varzim, T., & Santos, R. (2020). *As 10 maiores exportadoras e as 10 maiores importadoras de 2019*. Jornal de Negócios. https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/as-10-maiores-exportadoras-e-as-10-maiores-importadoras-de-2019

Vention. (n.d.). *Pallet Docking Stations*. Retrieved August 4, 2021, from https://vention.io/designs/pallet-docking-stations-for-mir-5001000-121539

Vestin, A., Safsten, K., & Lofving, M. (2020). Revealing the content of Industry 4.0: A Review of Literature. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, *13*, 563–574. https://doi.org/10.3233/ATDE200195

Vieira, A., Dias, L., Pereira, G., & Oliveira, J. (2014). Comparison of simio and arena simulation tools. *12th Annual Industrial Simulation Conference, ISC 2014*, 5–13.

Vitasek, K. (2013). *Supply Chain Management Terms and Glossary*. CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary.

https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921

von Tunzelmann, N. (2003). Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions. *Structural Change and Economic Dynamics*, *14*(4), 365–384. https://doi.org/10.1016/S0954-349X(03)00029-8

Wagner, D. (2012). Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking. In Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*.

Wang, K. (2016). *Logistics 4.0 Solution-New Challenges and Opportunities*. *Iwama*, 68–74. https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.13

Wang, T. M., Tao, Y., & Liu, H. (2018). Current Researches and Future Development Trend of Intelligent Robot: A Review. *International Journal of Automation and Computing*, *15*(5), 525–546. https://doi.org/10.1007/s11633-018-1115-1

Waters, D. (2003). *Logistics: An introduction to Supply Chain Management* (1st ed.). Palgrave Macmillan.

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, *28*(3), 579–584. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143

Wilson, M. (2015). *Implementation of Robot Systems. An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing.* (1st ed.). Elsevier Inc.

Winkelhaus, S., & Grosse, E. H. (2020). Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. *International Journal of Production Research*, *58*(1), 18–43. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1612964

Womack, James P., Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*.

Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, *56*(8), 2941–2962. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806

Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IISE Transactions*, *51*(11), 1190–1216. https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383

Yang, Q., Lian, Y., & Xie, W. (2020). Hierarchical planning for multiple AGVs in warehouse based on global vision. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *104*(February), 102124. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102124

Yao, F., Keller, A., Ahmad, M., Ahmad, B., Harrison, R., & Colombo, A. W. (2018). Optimizing the Scheduling of Autonomous Guided Vehicle in a Manufacturing Process. *Proceedings - IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2018*, 264–269. https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471979

Yao, X. (2018). *Industry 4.0 in Logistics* (Issue March) [Politecnico di Torino]. https://webthesis.biblio.polito.it/7078/1/tesi.pdf

Yavas, V., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *135*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101864

Zaitova, A. (2021). Logistics Management. *International Scientific and Methodical Conference "Crisis and Risks Engineering for Transport Services,"* 92–105. http://eir.pstu.edu/handle/123456789/30027

Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2020). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *0*(0), 1–33. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085

Zhong, R. Y., Huang, G. Q., Lan, S., Dai, Q. Y., Chen, X., & Zhang, T. (2015). A big data approach for logistics trajectory discovery from RFID-enabled production data. *International Journal of Production Economics*, *165*, 260–272. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.014

Zhou, C., & Chen, Y. (2012). Additive manufacturing based on optimized mask video projection for improved accuracy and resolution. *Journal of Manufacturing Processes*, *14*(2), 107–118. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2011.10.002

APÊNDICE I - REGISTO DO DIAGNÓSTICO DOS TRANSPORTES NA FÁBRICA DA CONTINENTAL MABOR

As figuras desde a Figura 62 até à Figura 65 são ilustrativas de um registo completo para diagnóstico do transporte na zona de pesagem automática de pigmentos.

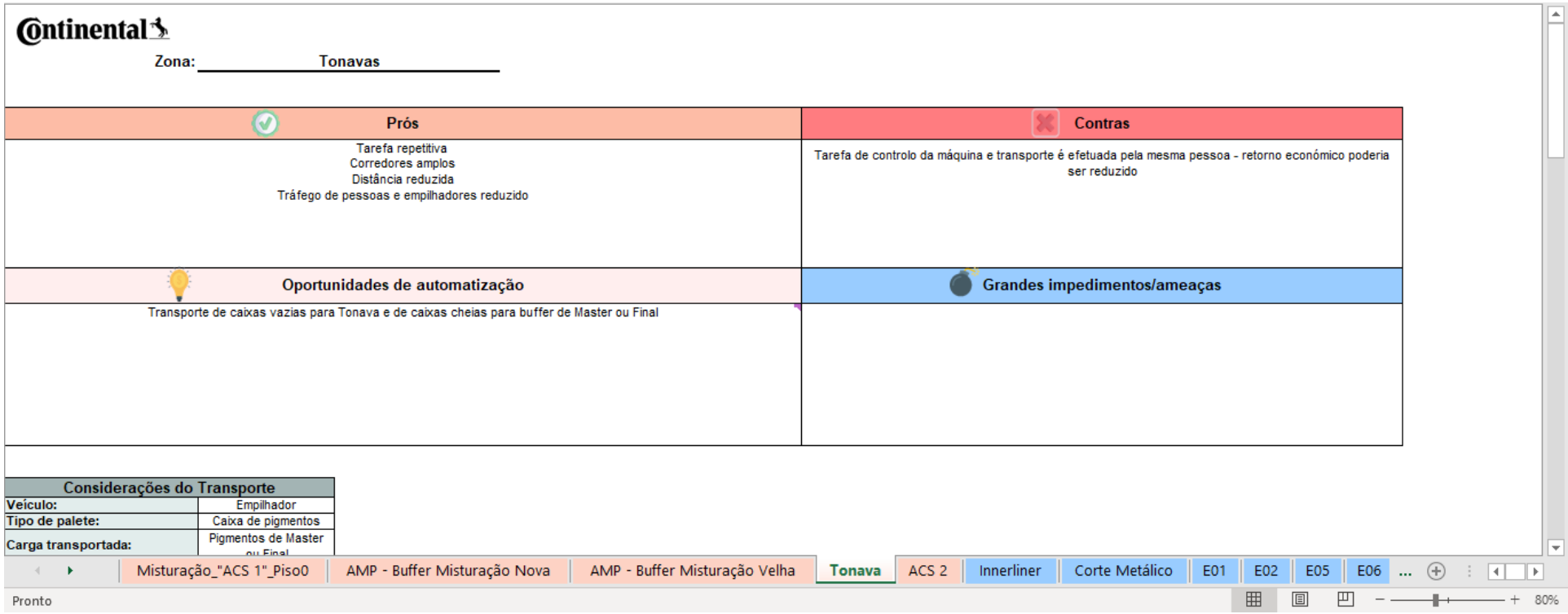
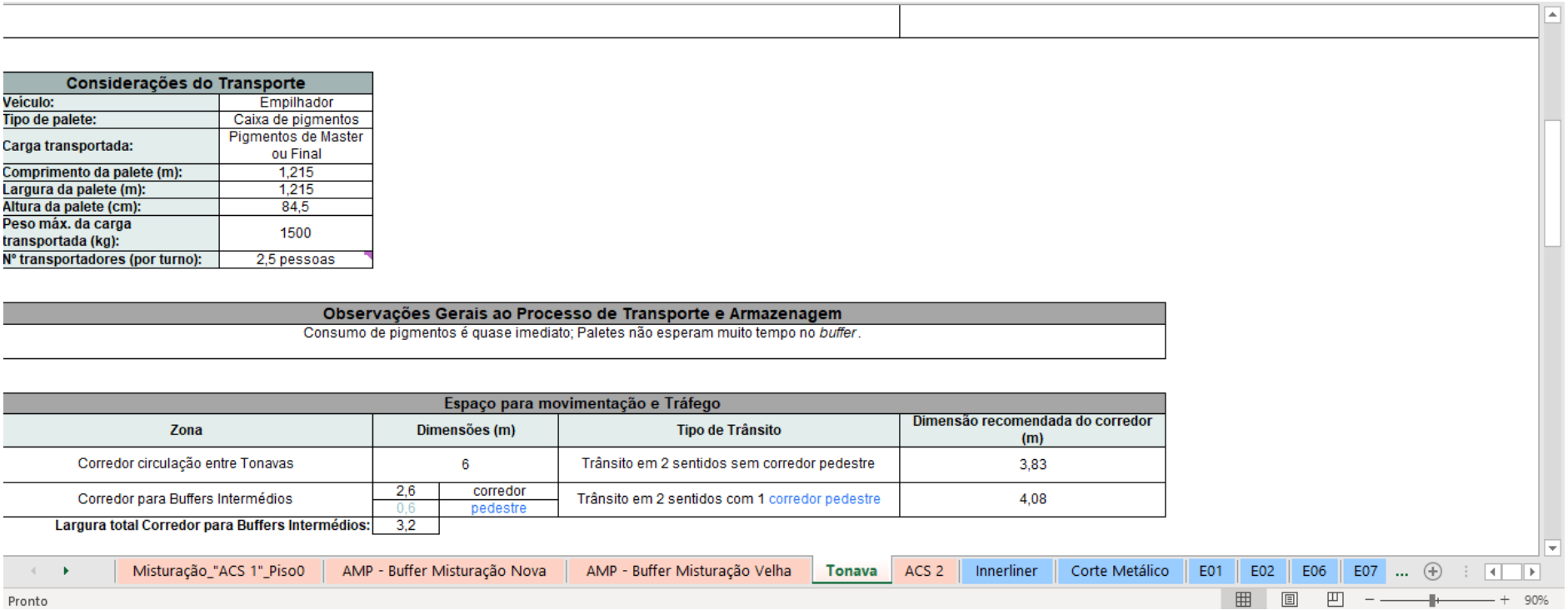


Figura 62 - Ilustração da folha de registo de transportes (parte 1)

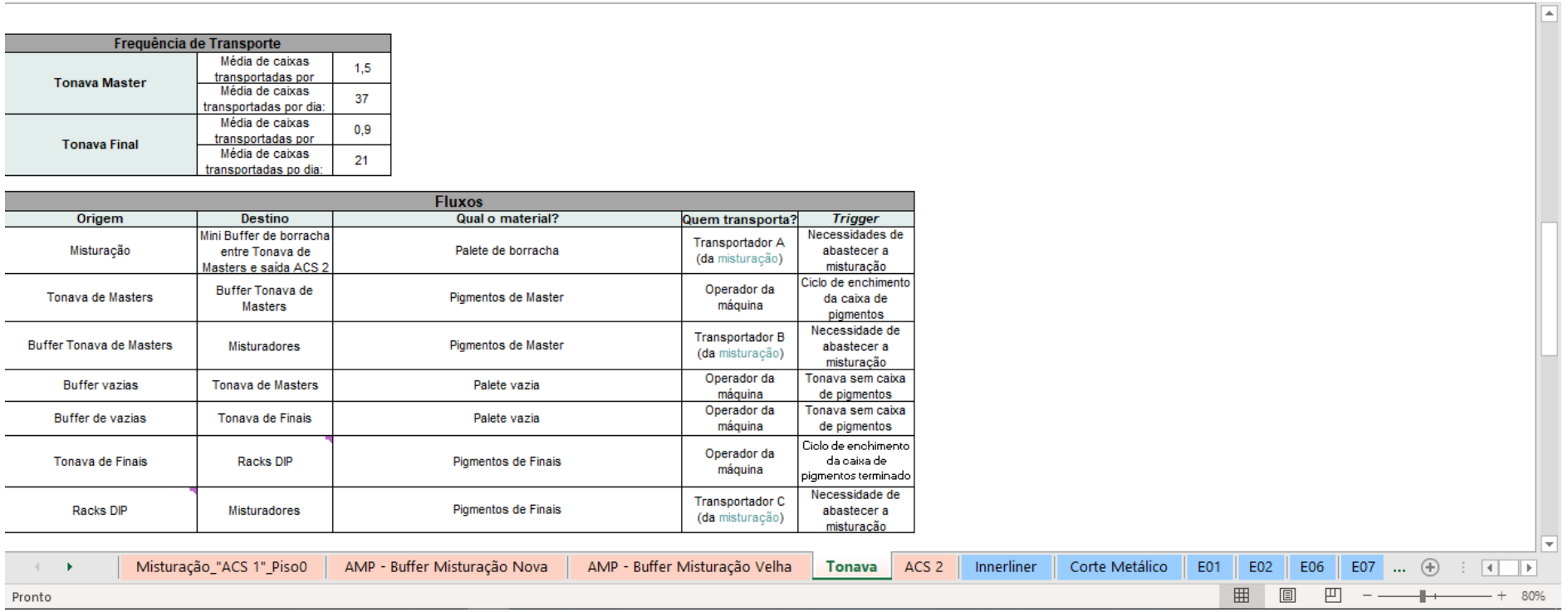


Considerações do Transporte	
Veículo:	Empilhador
Tipo de palete:	Caixa de pigmentos
Carga transportada:	Pigmentos de Master ou Final
Comprimento da palete (m):	1,215
Largura da palete (m):	1,215
Altura da palete (cm):	84,5
Peso máx. da carga transportada (kg):	1500
Nº transportadores (por turno):	2,5 pessoas

Observações Gerais ao Processo de Transporte e Armazenagem
Consumo de pigmentos é quase imediato; Paletes não esperam muito tempo no *buffer*.

Espaço para movimentação e Tráfego				
Zona	Dimensões (m)		Tipo de Trânsito	Dimensão recomendada do corredor (m)
Corredor circulação entre Tonavas	6		Trânsito em 2 sentidos sem corredor pedestre	3,83
Corredor para Buffers Intermédios	2,6	corredor	Trânsito em 2 sentidos com 1 corredor pedestre	4,08
	0,6	pedestre		
Largura total Corredor para Buffers Intermédios:	3,2			

Figura 63 - Ilustração da folha de registo de transportes (parte 2)



Frequência de Transporte		
Tonava Master	Média de caixas transportadas por	1,5
	Média de caixas transportadas por dia:	37
Tonava Final	Média de caixas transportadas por	0,9
	Média de caixas transportadas po dia:	21

Fluxos				
Origem	Destino	Qual o material?	Quem transporta?	*Trigger*
Misturação	Mini Buffer de borracha entre Tonava de Masters e saída ACS 2	Palete de borracha	Transportador A (da misturação)	Necessidades de abastecer a misturação
Tonava de Masters	Buffer Tonava de Masters	Pigmentos de Master	Operador da máquina	Ciclo de enchimento da caixa de pigmentos
Buffer Tonava de Masters	Misturadores	Pigmentos de Master	Transportador B (da misturação)	Necessidade de abastecer a misturação
Buffer vazias	Tonava de Masters	Palete vazia	Operador da máquina	Tonava sem caixa de pigmentos
Buffer de vazias	Tonava de Finais	Palete vazia	Operador da máquina	Tonava sem caixa de pigmentos
Tonava de Finais	Racks DIP	Pigmentos de Finais	Operador da máquina	Ciclo de enchimento da caixa de pigmentos terminado
Racks DIP	Misturadores	Pigmentos de Finais	Transportador C (da misturação)	Necessidade de abastecer a misturação

Figura 64 - Ilustração da folha de registo de transportes (parte 3)

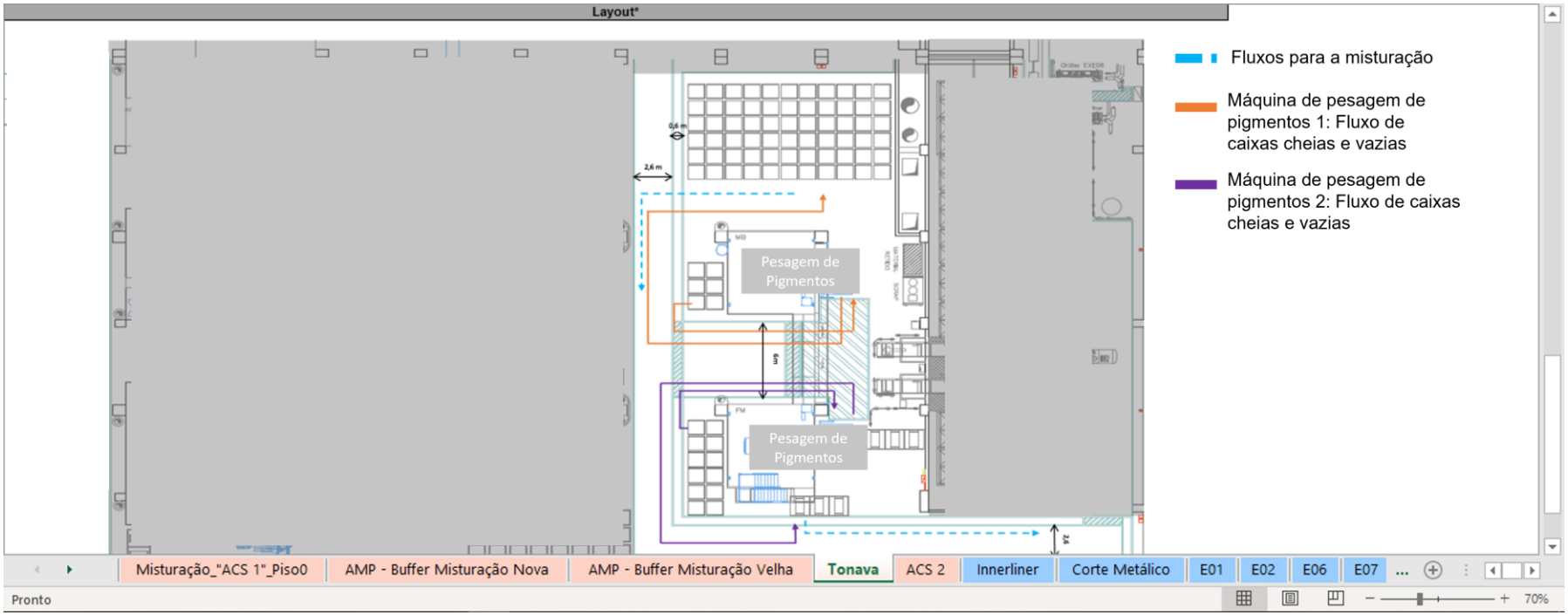


Figura 65 - Ilustração da folha de registo dos transportes (parte 4)[4]

[4] A Figura 65 é ilustrativa de um registo de *layout*. Por questões de privacidade de dados, alguns elementos foram ocultados.

APÊNDICE II - ESTABELECIMENTO DE PRIORIDADES DE AUTOMATIZAÇÃO

Neste apêndice é possível encontrar o conjunto de fluxos analisados no decorrer do processo de diagnóstico e a matriz de decisão preenchida para obter o melhor candidato a automatizar.

Tabela 24 - Fluxos logísticos analisados, por área da fábrica

Fluxo	Área	Origem	Destino	Material movimentado	*Trigger*	Quem transporta?
1	Misturação I	Misturadores	*Buffer* misturadores	Palete de composto de borracha	Paletização terminada - palete à saída da paletização automática	Operador da máquina, com rebocador de mão
2	Misturação I	*Buffer* misturadores	Armazenamento automático borracha 1 -inbound station	Palete de composto de borracha	Palete aprovada pelo reómetro - etiqueta de "aprovado" na palete	Transportador com empilhador
3	Misturação I	Armazenamento automático borracha 1 -outbound station	Misturação	Palete de composto de borracha	Necessidade de abastecer as máquinas da misturação - visualização de falta de *stock* no cliente	Transportador com empilhador
4	Misturação I	Armazenamento automático borracha 1 -outbound station	Preparação a Quente	Palete de composto de borracha	Necessidade de abastecer as máquinas da preparação a quente - visualização de falta de *stock* no cliente	Transportador com empilhador
5	Misturação II	Misturadores	Armazenamento automático borracha 2 – inbound station	Palete de composto de borracha	Tarefa realizada em automático	*Conveyor*
6	Misturação II	Armazenamento automático borracha 2 -outbound station	Preparação a Quente	Palete de composto de borracha	Necessidade de abastecer as máquinas da preparação a quente - visualização de falta de *stock* no cliente	Transportador com empilhador
7	Receção Materiais I	Armazém de borracha	Buffer intermédio Misturação I	Matéria-prima	Necessidade de abastecimento do buffer	Transportador com empilhador
8	Misturação I	*Buffer* intermédio Misturação I	Misturação I	Matéria-prima	Necessidade de abastecer os misturadores	Transportador com empilhador
9	Receção Materiais I	Armazém de borracha	Buffer intermédio Misturação II	Matéria-prima	Necessidade de abastecimento do buffer	Transportador com empilhador
10	Misturação II	Buffer intermédio Misturação II	Misturação II	Matéria-prima	Necessidade de abastecer os misturadores	Transportador com empilhador
11	Receção Materiais I	Buffer vazias Misturação I	Armazém de borracha	Paletes vazias	Visualização de paletes no local	Transportador com empilhador
12	Receção Materiais I	Buffer vazias Misturação II	Armazém de borracha	Paletes vazias	Visualização de paletes no local	Transportador com empilhador
13	Misturação III - Químicos	Buffer vazias	Máquina pesagem de pigmentos A	Caixas de pigmentos vazias	Necessidade de iniciar o ciclo da máquina	Operador da máquina, com empilhador

Fluxo	Área	Origem	Destino	Material movimentado	*Trigger*	Quem transporta?
14	Misturação III - Químicos	Buffer vazias	Máquina pesagem de pigmentos B	Caixas de pigmentos vazias	Necessidade de iniciar o ciclo da máquina	Operador da máquina, com empilhador
15	Misturação III - Químicos	Máquina pesagem de pigmentos A	*Buffer* composto A	Caixas de pigmentos do composto A	Fim do ciclo de enchimento da caixa	Transportador com empilhador
16	Misturação III - Químicos	Máquina de pesagem de pigmentos B	*Buffer* composto B	Caixa de pigmentos do composto B	Fim do ciclo de enchimento da caixa	Transportador com empilhador
17	Misturação III - Químicos	*Buffer* composto A	Misturadores	Caixas de pigmentos do composto A	Necessidade de abastecer os misturadores - visualização de falta de *stock* no cliente	Transportador com empilhador
18	Misturação III - Químicos	*Buffer* composto B	Misturadores	Caixa de pigmentos do composto B	Necessidade de abastecer os misturadores - visualização de falta de *stock* no cliente	Transportador com empilhador
19	Misturação I&II	Misturadores	Buffer vazias	Caixas de pigmentos vazias	Visualização de paletes vazias no posto	Transportador com empilhador
20	Preparação a frio I	Máquina corte têxtil	Buffer da máquina/zona livre no corredor	Cassette Tela Cheia	Ciclo da máquina completo	Operador da máquina move manualmente
21	Preparação a frio I	Buffer da máquina/Corredor	Armazenamento automático Tela - entrada	Cassette Tela Cheia	Cassetes no buffer	Transportador com rebocador
22	Preparação a frio I	Armazenamento automático Tela - saída	Módulos de Construção	Cassette Tela Cheia	Necessidade de abastecer a construção	Transportador com rebocador
23	Preparação a frio I	Módulos de Construção	Buffer vazias/corredor	Cassette Tela Vazia	Cassetes no buffer	Transportador com rebocador
24	Preparação a frio II	Máquina corte metálico	Parque de *breaker*	Cassette de *breaker* cheia	Ciclo da máquina completo	Operador da máquina move manualmente
25	Preparação a frio II	Parque de *breaker*	Módulos de Construção	Cassette de *breaker* cheia	Necessidade de abastecer a construção	Transportador com rebocador
26	Preparação a frio II	Módulos de Construção	Buffer vazias/corredor	Cassette de *breaker* vazia	Cassetes no buffer	Transportador com rebocador
27	Preparação a frio III	Calandra	Patternoster	Rolo calandrado	Fim do ciclo de calandragem	Transportador de empilhador com adaptador
28	Preparação a frio III	Patternoster	Máquinas de corte	Rolo calandrado	Necessidade de abastecer as máquinas de corte	Transportador de empilhador com adaptador
29	Preparação a frio III	Máquinas de corte	Buffer de rolos calandrados vazios	Rolo calandrado vazio	Fim da carga de tecido	Transportador de empilhador com adaptador
30	Preparação a Quente I	Racks da Extrusora de pisos	Posições de alimentação das extrusoras	Composto de borracha	Necessidade de alimentar a máquina	Operador da máquina
31	Preparação a Quente I	Posições de alimentação das extrusoras de pisos	Misturação	Mesas vazias	Visualização de mesas vazias a ocupar a área (Trigger visual)	Transportador com empilhador

Fluxo	Área	Origem	Destino	Material movimentado	*Trigger*	Quem transporta?
32	Preparação a Quente I	Extrusora de pisos	Parque de pisos	Cassette de pisos	Fim do ciclo da máquina	Transportador com rebocador de pisos
33	Preparação a Quente I	Parque de pisos	Máquinas de construção	Cassette de pisos	Necessidade de abastecer a construção	Transportador com rebocador de pisos
34	Preparação a Quente I	Racks da Extrusora de paredes	Posições de alimentação das extrusoras	Composto de borracha	Necessidade de alimentar a máquina	Operador da máquina
35	Preparação a Quente I	Posições de alimentação das extrusoras de paredes	Misturação	Mesas vazias	Visualização de mesas vazias a ocupar a área (Trigger visual)	Transportador com empilhador
36	Preparação a Quente I	Extrusora de paredes	Parque de cassettes de paredes	Cassette de paredes	Fim do ciclo da máquina	Transportador com rebocador de pisos
37	Preparação a Quente I	Parque de cassettes de paredes	Máquinas de construção	Cassette de paredes	Necessidade de abastecer a construção	Transportador com rebocador de pisos
38	Preparação a quente II	Máquina de produção de núcleos talões	Parque de núcleos de talão	Carro de talões	Fim do ciclo da máquina	Operador da máquina (manual)
39	Preparação a quente II	Parque de núcleos de talão	Máquina de aplicação de cunha de talão	Carro de talões	Necessidade de abastecer a máquina	Operador da máquina (manual)
40	Preparação a quente II	Máquinas de construção	Parque de núcleos de talão	Carro de talões vazio	Existência de carros vazios nos módulos de construção - visual	Transportador com rebocador
41	Preparação a quente III	Máquina de aplicação de cunha de talão	Parque de talões	Carro de talões com cunha	Carro completo	Operador da máquina (manual)
42	Preparação a quente III	Parque de talões	Máquinas de construção	Carro com talões	Necessidade de abastecer os módulos de construção	Transportador com rebocador
43	Preparação a quente IV	Máquina de produção da camada	Buffer de cassetes de camada	Cassetes de camada	Fim do ciclo de enrolamento da camada	Operador da máquina (manual)
44	Preparação a quente IV	Buffer de cassetes de camada	Armazenamento automático de Innerliner	Cassetes de camada	Material não vai ser usado nas máquinas de construção nessa hora	Transportador com rebocador
45	Preparação a quente IV	Armazenamento automático de Innerliner/ Buffer de cassetes de camada	Máquinas de construção	Cassetes de camada	Necessidade de abastecer os módulos de construção	Transportador com rebocador
46	Preparação a quente IV	Máquinas de construção	Buffer de cassetes vazias	Cassetes de camada vazias	Existência de cassetes vazias nos módulos de construção	Transportador com rebocador
47	Preparação a quente V	Máquina automática de aplicação de cunha de talão	Parque de talões	Carro de talões com cunha	Carro completo	Operador da máquina (manual)
48	Preparação a quente V	Parque de talões	Máquinas de construção	Carro com talões	Necessidade de abastecer os módulos de construção	Transportador com rebocador
49	Inspeção Final I	Paletização automática 1	Ponto de Handover com empresa externa de operações logísticas	Paletes com pneus	Paletização completa (visualmente transportadores percebem que amarras foram libertadas e quadro digital mostra "completed")	Transportador com empilhador

Fluxo	Área	Origem	Destino	Material movimentado	*Trigger*	Quem transporta?
50	Inspeção Final I	Paletização manual nas torres	Ponto de Handover com empresa externa de operações logísticas	Paletes com pneus	Paletização completa (visualmente transportadores percebem que palete está completa)	Transportador com empilhador
51	Inspeção Final I	Paletização automática 2	Ponto de Handover com empresa externa de operações logísticas	Paletes com pneus	Paletização completa (visualmente transportadores percebem que amarras foram libertadas e quadro digital mostra "completed")	Transportador com empilhador
52	Inspeção Final I	Buffer vazias	Paletizadores	Paletes vazias	Necessidade de abastecer os paletizadores	Transportador com empilhador

Tabela 25 - Matriz de decisão de peso ponderado para diagnóstico e priorização da zona a desenvolver o caso de estudo

Critérios de avaliação de potencial	Espaço disponível para a movimentação	Tarefa repetitiva	Melhoria de condições de segurança esperadas (colisões, ergonomia, etc.)	Redução de mão-de-obra esperada[5]	Tráfego (pessoas, equipamentos, ...)	Facilidade de implementação	Frequência do transporte		
Escala de importância	**6**	**4**	**4**	**5**	**3**	**7**	**7**		
Possível Zona de implementação								**CI**	**Potencial de automatização (%)**
Fluxo 1 - Misturação I	1	10	2		3	2	3	80,00	50,31%
Fluxo 2 - Misturação I	1	10	2		3	2	3	85,00	53,46%
Fluxo 3 - Misturação I	1	10	2		3	2	3	82,50	51,89%
Fluxo 11 - Receção Materiais I	1	10	2		3	2	3	82,50	51,89%
Fluxo 12 - Receção Materiais I	1	10	2		3	2	3	82,50	51,89%
Fluxo 13 - Misturação III - Químicos	2	10	2		1	3	1	87,50	55,03%
Fluxo 14 - Misturação III - Químicos	2	10	2		1	3	1	87,50	55,03%
Fluxo 15 - Misturação III - Químicos	2	10	2		1	3	1	87,50	55,03%
Fluxo 16 - Misturação III - Químicos	2	10	2		1	3	1	87,50	55,03%
Fluxo 17 - Misturação III - Químicos	2	10	2		1	3	1	87,50	55,03%

[5] Por questões de privacidade de dados, esta coluna foi ocultada.

	Critérios de avaliação de potencial	Espaço disponivel para a movimentação	Tarefa repetitiva	Melhoria de condições de segurança esperadas (colisões, ergonomia, etc.)	Redução de mão-de-obra esperada[5]	Tráfego (pessoas, equipamentos, ...)	Facilidade de implementação	Frequência do transporte		
	Escala de importância	6	4	4	5	3	7	7		
Possível Zona de implementação									**CI**	**Potencial de automatização (%)**
Fluxo 18 - Misturação III - Químicos		2	10	2		1	3	1	87,50	55,03%
Fluxo 19 - Misturação I&II		2	10	2		1	3	1	90,00	56,60%
Fluxo 20 - Preparação a frio I		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 21 - Preparação a frio I		2	10	2		2	3	3	96,00	60,38%
Fluxo 22 - Preparação a frio I		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%
Fluxo 23 - Preparação a frio I		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%
Fluxo 24 - Preparação a frio II		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 25 - Preparação a frio II		2	10	2		2	2	3	89,00	55,97%
Fluxo 26 - Preparação a frio II		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%
Fluxo 27 - Preparação a frio III		2	10	2		2	3	3	98,50	61,95%
Fluxo 28 - Preparação a frio III		2	10	2		2	3	3	98,50	61,95%
Fluxo 29 - Preparação a frio III		2	10	2		2	3	3	98,50	61,95%
Fluxo 30 - Preparação a Quente I		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 31 - Preparação a Quente I		2	10	2		2	3	2	89,00	55,97%
Fluxo 32 - Preparação a Quente I		2	10	2		2	3	3	96,00	60,38%
Fluxo 33 - Preparação a Quente I		2	10	2		2	2	3	99,00	62,26%
Fluxo 34 - Preparação a Quente I		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 35 - Preparação a Quente I		2	10	2		2	3	2	89,00	55,97%
Fluxo 36 - Preparação a Quente I		2	10	2		2	3	3	96,00	60,38%
Fluxo 37 - Preparação a Quente I		2	10	2		2	2	3	99,00	62,26%
Fluxo 38 - Preparação a quente II		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 39 - Preparação a quente II		2	10	2		2	3	3	96,00	60,38%
Fluxo 40 - Preparação a quente II		2	10	2		2	3	3	101,00	63,52%
Fluxo 41 - Preparação a quente III		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 42 - Preparação a quente III		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%
Fluxo 43 - Preparação a quente IV		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 44 - Preparação a quente IV		2	10	2		2	3	3	96,00	60,38%
Fluxo 45 - Preparação a quente IV		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%

	Critérios de avaliação de potencial	Espaço disponivel para a movimentação	Tarefa repetitiva	Melhoria de condições de segurança esperadas (colisões, ergonomia, etc.)	Redução de mão-de-obra esperada[5]	Tráfego (pessoas, equipamentos, ...)	Facilidade de implementação	Frequência do transporte		
	Escala de importância	6	4	4	5	3	7	7		
Possível Zona de implementação									**CI**	**Potencial de automatização (%)**
Fluxo 46 - Preparação a quente IV		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%
Fluxo 47 - Preparação a quente V		2	10	3		2	3	3	100,00	62,89%
Fluxo 48 - Preparação a quente V		2	10	2		2	2	3	94,00	59,12%
Fluxo 49 - Inspeção Final I		2	10	2		3	3	3	108,00	67,92%
Fluxo 50 - Inspeção Final I		2	10	2		3	3	3	103,00	64,78%
Fluxo 51 - Inspeção Final I		2	10	2		3	3	3	103,00	64,78%
Fluxo 52 - Inspeção Final I		2	10	2		3	3	3	108,00	67,92%

APÊNDICE III - REGISTO DE OBSERVAÇÕES NA INSPEÇÃO FINAL: ESTUDO DOS TEMPOS E RECOLHA DE DADOS

O Apêndice III retrata os registos das observações efetuadas para caracterizar a situação atual. As figuras das páginas 124 a 126 remetem para o estudo dos tempos das atividades de recolha e entrega de paletes.

Drop-Off (Média) [s]	3,35
Pick-Up (Média) [s]	4,77

Atividade: *Pick-up* das Paletes Cheias

Nota: A contagem de tempo inicia no momento em que o transportador entra na máquina (passa os sensores) e termina quando sai da máquina

Tempo observado (s)	7,68	5,65	5,64
	6,44	5,08	7,94
	7,36	7,08	6,76
	8,4	6,76	6,34
	6,76	8,01	6,76
	5,25	4,39	5,56
	7,09	6,11	7,13
	7,33	5,83	7,15
	6,61	6,16	6,43
	7,42	5,44	5,57
	6,43	8,01	6,64
	6,23	5,64	6,04
	7,75	4,67	6,11
	7,07	7,41	7,54
	7,67	7,78	7,35

desvio padrão:	0,943962
média:	6,63
N':	32
N:	45
Número de Observações suficientes porque N'<=N	

Figura 66 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de recolha de paletes cheias, por parte do empilhador, na Inspeção Final, e sumário dos tempos médios de todos os *Pick-ups* e de todos os *Drop-offs*

Atividade: *Drop-off* das Paletes Cheias

Nota: A contagem de tempo inicia no momento em que o transportador inicia movimento de descida da palete, até que remove os garfos

Tempo Observado (s)	1,39	1,26	1,31	1,31	1,91	2,3	2,1	1,26
	1,45	1,97	1,65	2,7	1,45	2,3	1,92	1,65
	1,97	1,55	1,78	1,26	1,91	1,65	2,1	2,7
	1,38	1,26	1,25	2,18	2,1	1,45	2,1	1,38
	1,39	1,56	1,25	1,81	2,1	1,51	2,13	1,9
	1,77	1,19	1,9	1,18	2,36	1,91	1,58	1,84
	2,1	1,45	1,77	2,63	1,66	2,11	1,45	2,03
	1,28	1,97	1,64	2,04	1,43	1,71	1,71	1,96
	2,45	1,38	1,91	2,3	1,86	1,32	1,92	2,76
	1,37	1,39	2,17	2,17	1,58	1,32	1,77	2,04

desvio padrão: 0,392934
média: 1,77

N': 78
N: 80

Número de Observações suficientes porque N'<=N

Figura 67 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de entrega de paletes cheias, por parte do empilhador, na Inspeção Final

Atividade: *Pick-up* das Paletes Vazias

Nota: A contagem de tempo inicia no momento em que o transportador introduz garfos na palete até que remove palete da pilha do buffer

Tempo Observado (s)	3,09	3,42	3,35	2,2	2,03	3,69	2,96
	3,69	2,96	4,33	2,03	2	3,34	3,18
	2,89	2,94	4,33	3,1	2,01	3,36	3,34
	2,43	3,35	3,35	1,97	1,98	3,21	2,89
	2,26	3,28	2,36	2,89	2,36	3,28	2,59
	2,24	3,21	2,22	3,48	2,59	3,35	3,42
	3,34	2,49	2,64	2,04	2,96	2,96	
	3,81	2,95	2,82	2,04	2,87	2,89	
	3,34	2,89	3,14	1,98	3,12	2,82	
	3,12	3,16	3,09	1,9	3,44	3,11	

desvio padrão: 0,56782884
média: 2,91

N': 61
N: 66

Número de Observações suficientes porque N'<=N

Figura 68 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de recolha de paletes vazias, por parte do empilhador, na Inspeção Final

Atividade: *Drop-off* das Paletes Vazias

Nota: A contagem de tempo inicia no momento em que o transportador entra no perímetro da máquina até que palete encaixa na máquina

Tempo Observado (s)	3,94	5,12	4,91	5,8	
	4,37	6,37	6,37	5,6	
	4,66	5,91	5,91	5,13	
	4,65	4,98	6,48	3,95	
	5,44	5,43	5,43	4,36	
	4,66	4,58	4,58	4,65	
	3,25	4,99	4,99	5,16	
	6,46	4,91	4,99	4,98	
	5,85	4,27	3,08	5,6	
	4,21	3,62	4,34	4,66	
	4,66	5,18	4,34	4,27	

desvio padrão:	0,80115096
média:	4,93
N':	42
N:	44
Número de Observações suficientes porque N'<=N	

Figura 69 - Registo dos tempos cronometrados na tarefa de entrega de paletes vazias, por parte do empilhador, na Inspeção Final

Nas figuras das páginas 127, 128 e 129, encontram-se os registos dos tempos e distâncias para cálculo da velocidade de movimentação dos empilhadores. Foram observados 3 trajetos para obter a velocidade média de movimentação do empilhador. As velocidades foram obtidas considerando as distâncias e os tempos cronometrados.

Origem	Destino	Distância até destino (m)	Tempo (s)	Velocidade média do empilhador (m/s)
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	36	2,6
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	30,19	3,1
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	45,18	2,1
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	36,17	2,6
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	45,15	2,1
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	34,97	2,7
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	28,97	3,2
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	36,27	2,6
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	36,17	2,6
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	34,98	2,7
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	30,26	3,1
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	36,17	2,6
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	34,97	2,7
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	34,74	2,7
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	39,14	2,4
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	42,28	2,2
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	39,14	2,4
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	40,11	2,3
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	38	2,4
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	38,28	2,4
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	38,76	2,4
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	39,15	2,4
Paletizador D	Handover 3PL - Conti	93	39,15	2,4
Médias:		**93,00**	**37,14**	**2,5**

Velocidade (Paletizador D - Destino)

desvio padrão:	0,291367
média (m/s):	2,5
N':	21
N:	23

Número de Observações suficientes porque N'<=N

Figura 70 - Registo dos tempos cronometrados para estimativa de velocidade do empilhador, por análise do percurso entre o paletizador D e o destino

Origem	Destino	Distância até destino (m)	Tempo (s)	Velocidade média do empilhador (m/s)
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	22,93	3,3
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	25,74	2,9
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	25,18	3,0
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	24,07	3,1
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	23,21	3,2
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	31,43	2,4
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	27	2,8
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	26,05	2,9
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	30,83	2,4
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	24,97	3,0
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	22,93	3,3
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	25,74	2,9
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	24,97	3,0
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	27	2,8
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	26,05	2,9
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	30,83	2,4
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	32,1	2,3
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	27	2,8
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	27	2,8
Paletizador C	Handover 3PL - Conti	75	30,11	2,5
Médias:			**26,76**	**2,8**

Velocidade (Paletizador C - Destino)

desvio padrão:	0,291519
média (m/s):	2,8
N':	17
N:	20

Número de Observações suficientes porque N'<=N

Figura 71 - Registo dos tempos cronometrados para estimativa de velocidade do empilhador, por análise do percurso entre o paletizador C e o destino

Origem	Destino	Distância até destino (m)	Tempo (s)	Velocidade média do empilhador (m/s)
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	32	2,6
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	27,21	3,1
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	30,66	2,7
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	31,95	2,6
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	32,16	2,6
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	33,89	2,4
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	32,1	2,6
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	27,19	3,1
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	23,67	3,5
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	24,3	3,4
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	27,19	3,1
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	32,16	2,6
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	29,18	2,8
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	32	2,6
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	27,95	3,0
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	31,16	2,7
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	28,15	2,9
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	84	27,45	3,1
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	32,95	2,5
Paletizador E	Handover 3PL - Conti	83	27,11	3,1
Médias:		**83,05**	**29,52**	**2,8**

Velocidade (Paletizador E - Destino)

desvio padrão:	0,300869
média (m/s):	2,8
N':	18
N:	20

Número de Observações suficientes porque N'<=N

Figura 72 - Registo dos tempos cronometrados para estimativa de velocidade do empilhador, por análise do percurso entre o paletizador E e o destino

Velocidade média	
8,12	km/h
2,26	m/s

Figura 73 - Cálculo da velocidade média de movimentação dos empilhadores

A Figura 74 contempla os registo das observaçôes para as restantes tarefas da Inspeçâo Final, sustentando o gráfico sequencial da Tabela 11.

Elemento	Tempo Observado																		
Mover palete vazia para o *robot*																			
Abrir palete	4,5	4,2	4,3	5,2	4,6	5,3	5,3	5,9	5,3	6,1	4,3	4,4	4	6,2	4,7	4,4	5,3	4,4	4,6
Carregar no botão para que a palete seja reconhecida pelo *robot*	1,1	1,2	1,1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,1	1,1	1,2	1,5	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
Encher palete com pneus																			
Esperar por/procurar uma palete disponível para ser retirada	9,3	35	62	56	89	62	76	92	10	8	9,3	35	65	56	89	62	76	92	35
Remover palete cheia																			
Colocar palete no solo																			
Mover palete cheia para *double check*																			
Empilhar em dois níveis	8,8	9	7,8	8,8	8,9	8,7	8,5	8,8	7,9	8,8									
Ler bar*code* da palete e confirmar pneus	3	3,9	4,1	4	3,3	4,1	4,1	3,3	3,7	4,2	5,7	3,7	3,9	3,7	3,6	4,3	4,5	4,4	4
Mover palete cheia do ponto *"Handover 3PL - Continental"* para *shuttle* para organizar por naves																			
Aguardar até ser necessário formar um camião																			
Mover paletes vazias do camião para *buffer* grande de paletes vazias	18	19	15	19	21	18	18	15	18	19	18	19	18	18					

Elemento	Tempo Observado (cont.)																			Average	unidades
Mover palete vazia para o *robot*																				13,05	segundo
Abrir palete	5,3	4,4	4,4	4,4	4	5,3	4,3	4,3	5,21	4,4										4,77	segundo
Carregar no botão para que a palete seja reconhecida pelo *robot*	1,1	1,1	1,4	1,1	1,1	1,2	1,1	1,5	1,24	1,5										1,24	segundo
Encher palete com pneus																				4,15	minuto
Esperar por/procurar uma palete disponível para ser retirada	76	76	60	28	195	86	87	68	26,54	89	65	195	93	71	69	187	368	94	86	80,04	segundo
Remover palete cheia																				6,63	segundo
Colocar palete no solo																				8,09	segundo
Mover palete cheia para *double check*																				29,52	segundo
Empilhar em dois níveis																				8,59	segundo
Ler bar*code* da palete e confirmar pneus	4,3	4,4	4,4	4,5	5,7	4,3	4,5	4	4,08	4,2	4	4,1	4,1							4,12	segundo
Mover palete cheia do ponto *"Handover 3PL - Continental"* para *shuttle* para organizar por naves																				11,24	segundo
Aguardar até ser necessário formar um camião																					
Mover paletes vazias do camião para *buffer* grande de paletes vazias																				17,90	segundo

Elemento	Estudo de Tempos				
Mover palete vazia para o *robot*	Estudado noutra Tab				
Abrir palete	**s:** 0,62	**m (s):** 4,77	**N':** 27	**N:** 29	Número de Observações suficientes porque N'<=N
Carregar no botão para que a palete seja reconhecida pelo *robot*	**s:** 0,17	**m (s):** 1,24	**N':** 28	**N:** 29	Número de Observações suficientes porque N'<=N
Encher palete com pneus	Estudado noutra Tab				
Esperar por/procurar uma palete disponível para ser retirada	**s:** 65,18	**m (s):** 80,04	**N':** 1061	**N:** 38	Efetuar mais observações
Remover palete cheia	Estudado em outra Tab				
Colocar palete no solo	Cálculo: Distância/Velocidade (tempo de transporte) + drop-off				
Mover palete cheia para *double check*	Estudado em outra Tab				
Empilhar em dois níveis	**s:** 0,41	**m (s):** 8,59	**N':** 4	**N:** 10	Número de Observações suficientes porque N'<=N
Ler bar*code* da palete e confirmar pneus	**s:** 0,55	**m (s):** 4,12	**N':** 28	**N:** 32	Número de Observações suficientes porque N'<=N
Mover palete cheia do ponto *"Handover 3PL - Continental"* para *shuttle* para organizar por naves	Estudado em outra Tab				
Aguardar até ser necessário formar um camião					
Mover paletes vazias do camião para *buffer* grande de paletes vazias	**s:** 1,51	**m (s):** 17,90	**N':** 11	**N:** 14	Número de Observações suficientes porque N'<=N

Legenda
N: observações realizadas
N': observações necessárias
µ: Média
ϴ: Desvio padrão
Mais de **20** observações necessárias
Atingido **número mínimo** de 10 observações necessárias

Figura 74 - Registo das observações para estudo dos tempos de cada tarefa da Inspeção Final

O tempo de “Encher palete com pneus”, observável na Figura 74, foi obtido por análise da documentação gerada pelo PLC da máquina.

A Figura 75 ilustra a folha do ficheiro de *Power BI* que auxiliou no tratamento dos dados que permitiram obter o número médio de paletes que dão saída, por hora, nos paletizadores.

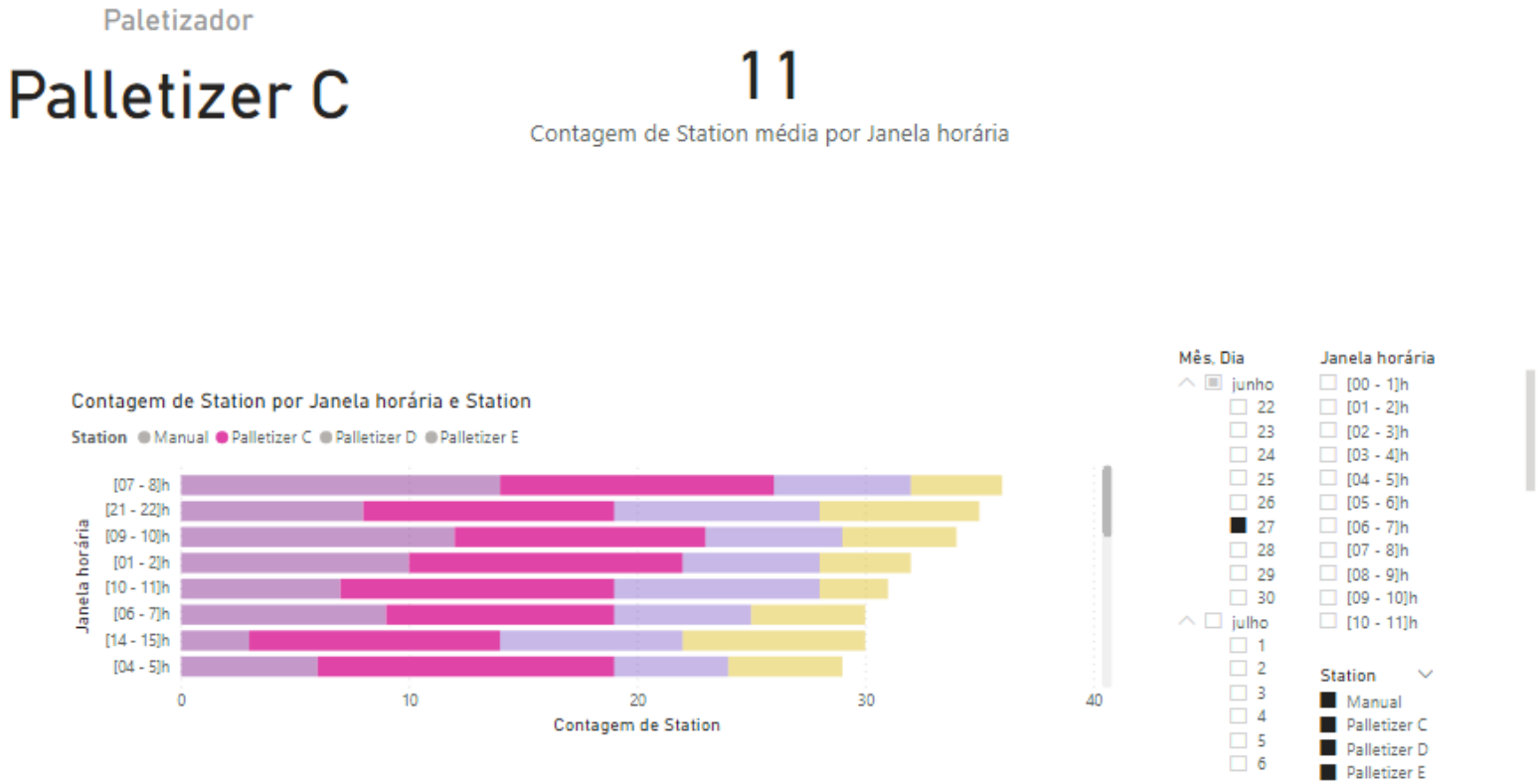


Figura 75 - Ilustração da folha de PowerBI para determinação do número médio de paletizações por hora

APÊNDICE IV - CÁLCULO ANALÍTICO DO NÚMERO DE AGVS

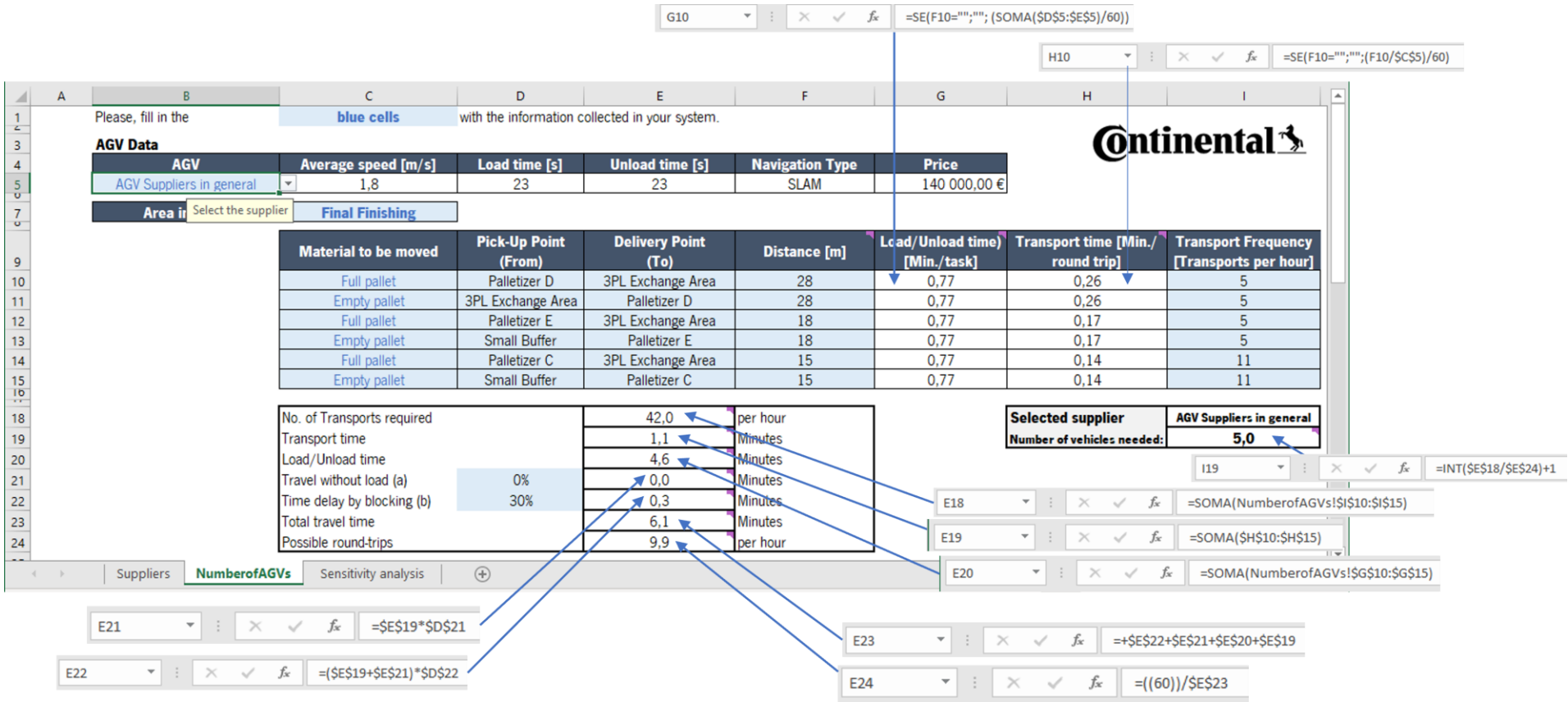


Figura 76 - Folha de cálculo, em Excel, para estimar o número de AGVs (com explicação dos campos)

APÊNDICE V - PROCESSOS CRIADOS PARA A MODELAÇÃO DO SISTEMA DE AGVS NO *SOFTWARE* SIMIO

Por forma a facilitar o trabalho de modelação do sistema, foram criadas as diferentes categorias ilustradas na Figura 77.

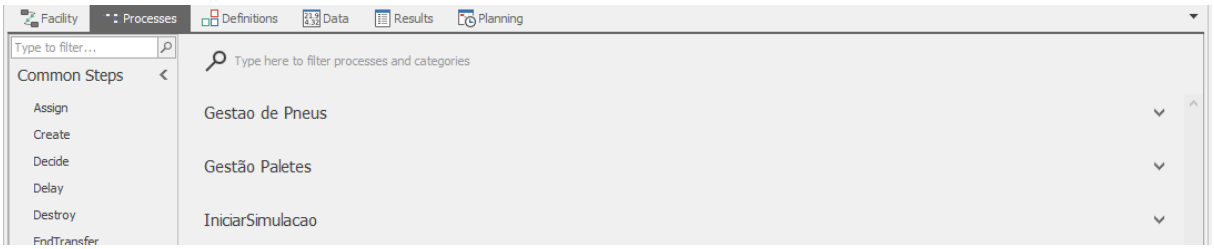


Figura 77 - Categorias dos processos utilizados para modelação do sistema de AGVs

As secções abaixo explicam, com maior detalhe, cada categoria e respetivos processos.

Categoria: Gestão de Pneus

A categoria "Gestão de Pneus", em geral, e o processo "Atribuir Passadeira" (Figura 78), em particular, têm por objetivo garantir que os pneus são encaminhados para a passadeira do paletizador correto.

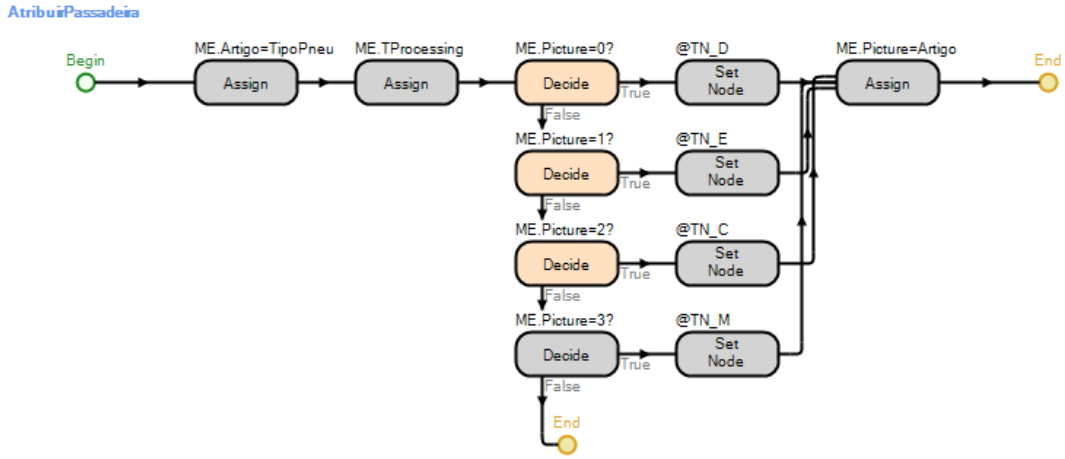


Figura 78 - Processo "Atribuição de Passadeira" na categoria "Gestão de Pneus"

Para tal, no nodo de saída do HBS (Figura 79), é analisado o tipo de pneu que está em circulação (através do *step Decide*).

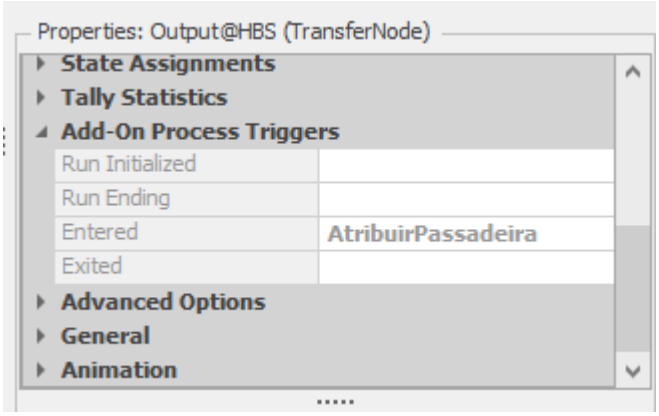


Figura 79 - Atribuição do processo "AtribuirPassadeira" no nodo de saída do HBS

Uma vez identificado o pneu (por comparação entre a imagem do pneu [*Active Symbol*] e a informação tabelada na coluna "Tipo Pneu" da Figura 80), o mesmo é encaminhado para a passadeira do paletizador de destino, através do *step Set Node*.

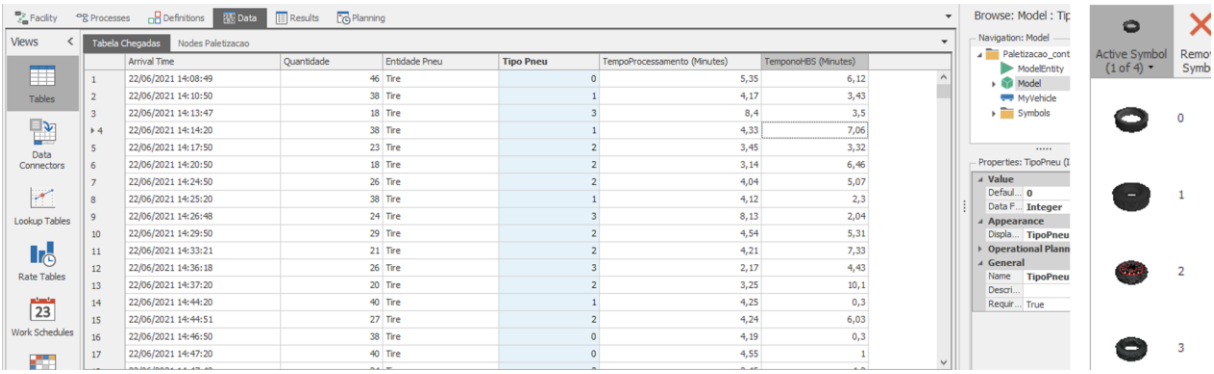


Figura 80 - Tabela com informação para libertação de pneus da *source* HBS

Categoria: Gestão de Paletes

A categoria "Gestão de Paletes" compreende os processos associados à entidade *Pallet*.

O processo da Figura 81 é exemplificativo de um dos contadores utilizados para rastrear o número de paletes paletizadas nos paletizadores.

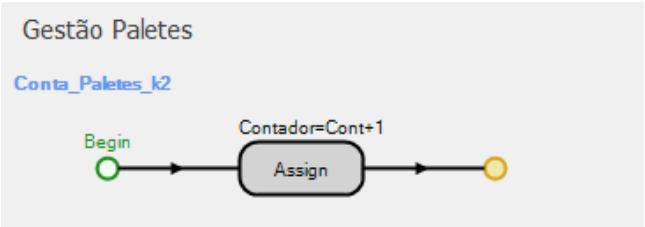


Figura 81 - Exemplo de processo de contagem de paletes

O processo da Figura 82 foi criado com vista a gerar a entidade *Pallet*.

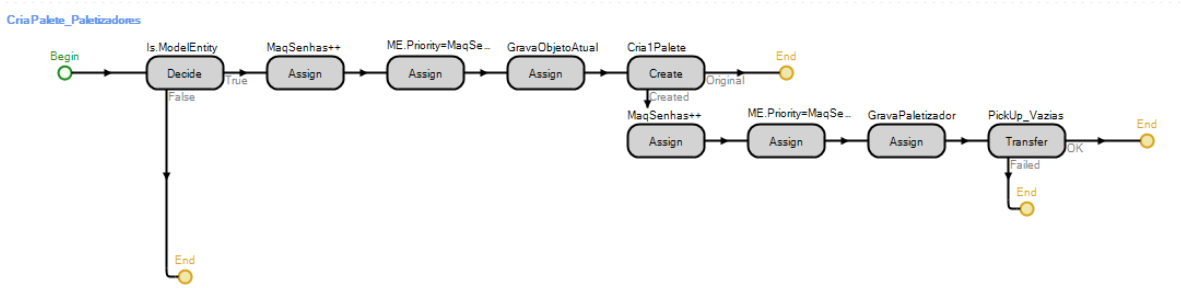


Figura 82 - Processo de criação de paletes vazias no modelo

Numa primeira instância, é validado o tipo de objeto que está a "percorrer" o processo, através do *step Decide.* Esta etapa do processo assegura que as ações são tomadas para os objetos do tipo *Model Entity* e não para os veículos que transportam estas entidades. Posteriormente, é atribuída uma prioridade à palete, através de um "sistema de senhas". A variável *MaqSenhas* corresponde a um contador e funciona tal como os sistemas de senhas que se encontram nas filas das caixas de atendimento. O valor inicial da variável *MaqSenhas* é 0. Assim, quando a primeira palete está cheia, é atribuída a senha 1 e gravado, na variável *ObjetoPrecisaPalete* (Figura 83), o paletizador onde esta palete se encontra.

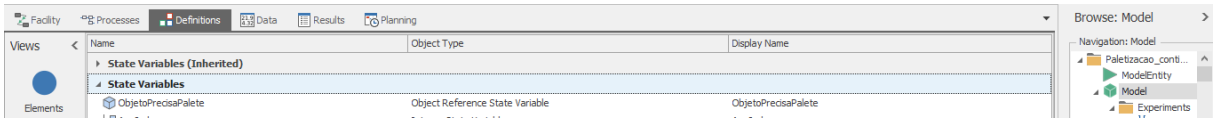


Figura 83 - Variável do modelo denominada por "ObjetoPrecisaPalete"

De imediato, é despoletada a criação de uma nova palete vazia (*step Create*), a qual fica com uma nova senha, incrementando o número à senha anterior. Em adição, é gravado, na variável "ObjetoPaletizadorDestino" (Figura 84), o nodo/local onde será necessário reaprovisionar com a palete vazia criada, garantindo o normal fluxo de material.

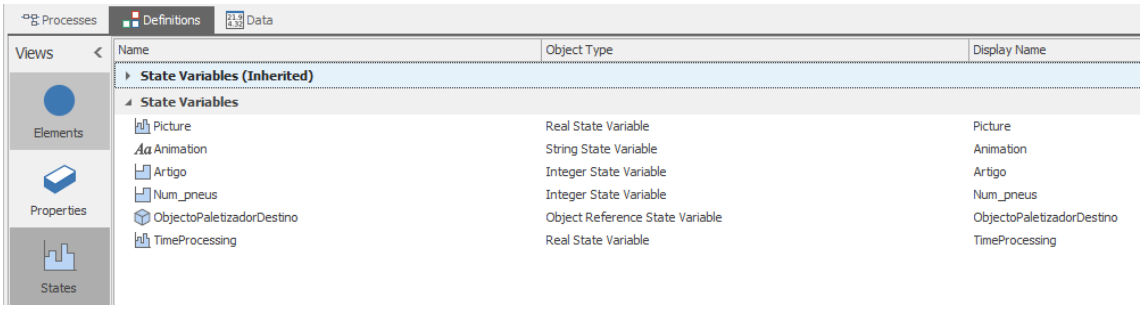


Figura 84 - Variável da Model Entity denominada de "ObjetoPaletizadorDestino"

Este processo permite que o AGV recolha as paletes segundo a regra da prioridade mais baixa, o que significa que o AGV recolhe, primeiro, uma palete cheia, depois, recoloca uma palete vazia no mesmo

paletizador de onde retirou a palete cheia, e só depois recolhe uma nova palete cheia num outro paletizador.

O processo "CriarPalete_Paletizadores" é despoletado no nodo de saída (*output*) de cada paletizador. A Figura 85 é exemplificativa da atribuição desta propriedade no nodo de saída do Paletizador D.

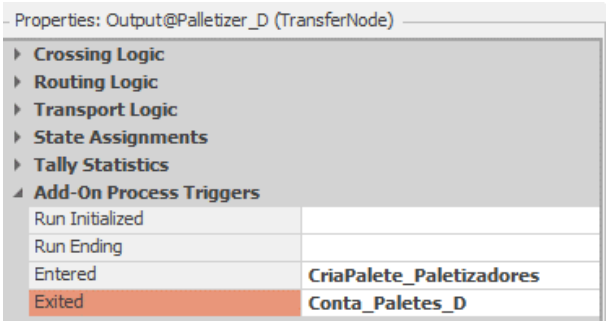


Figura 85 - Exemplo da atribuição do processo de criação de paletes nos paletizadores

A Figura 86 remete para a gestão da entrega das entidades do tipo *Pallet* (paletes vazias).

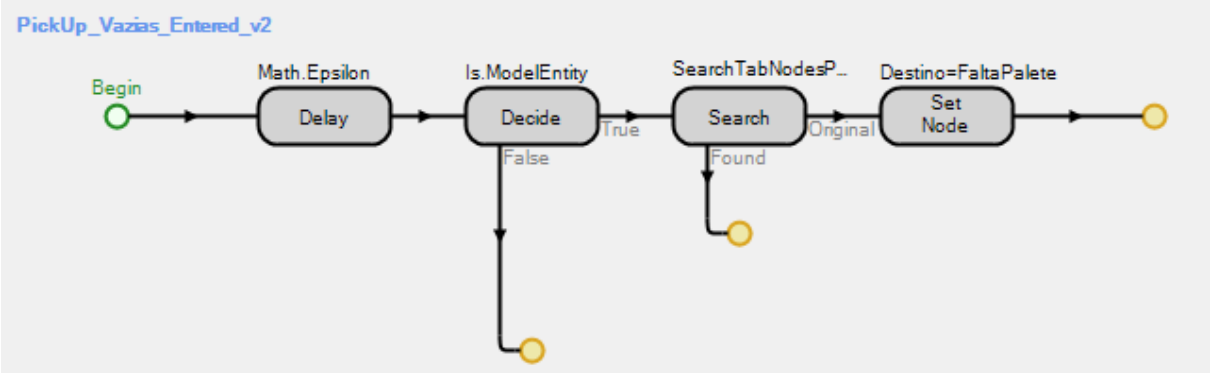


Figura 86 - Gestão da recolha das paletes

Neste processo, é primeiro validado o tipo de objeto a percorrer o processo, através de um *step Decide*. Novamente, esta etapa permite que apenas as *Model Entities* do tipo *Pallet* percorram o processo (impedindo que objetos do tipo veículo, que transportam estas entidades, percorram o processo). De seguida, é efetuada uma comparação de valores entre a tabela com os nodos de paletização (Figura 87) e o nodo do paletizador que ficou gravado na variável *ObjetoPrecisaPalete* (Figura 88), durante o processo CriarPaletes_Paletizadores, como necessitário de reaprovisionamento com palete vazia.

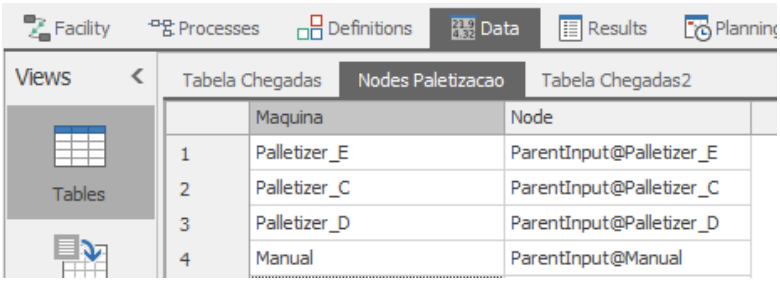


Figura 87 - Tabela para pesquisa dos nodes de paletização e comparação com a variável "ObjetoPrecisaPalete"

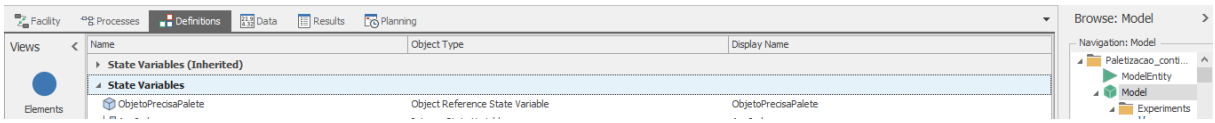


Figura 88 - Variável do modelo denominada por "ObjetoPrecisaPalete"

Esta pesquisa na tabela é assegurada pelo *step Search*. Uma vez encontrado o paletizador com necessidade da palete, então é registado o nodo de destino (*step Set Node*) e o AGV pode transportar a palete até ao paletizador.

Este processo é despoletado no nodo definido como ponto de recolha de vazias para o AGV (Figura 89).

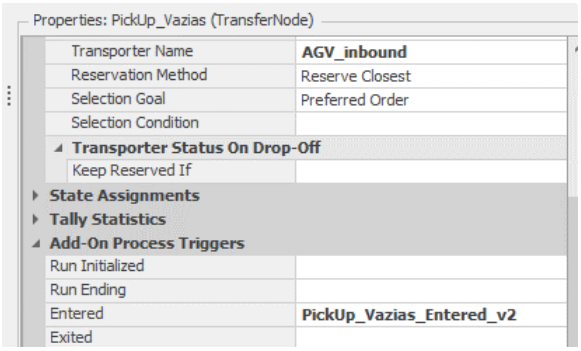


Figura 89 - Ilustração do processo “Pickup_vazias_entered” a ser despoletado no nodo de recolha de paletes vazias

Os três processos da Figura 90 correspondem a processos que alteram as imagens da entidade *Pallet*, tornando a simulação visualmente mais intuitiva e idêntica ao sistema físico.

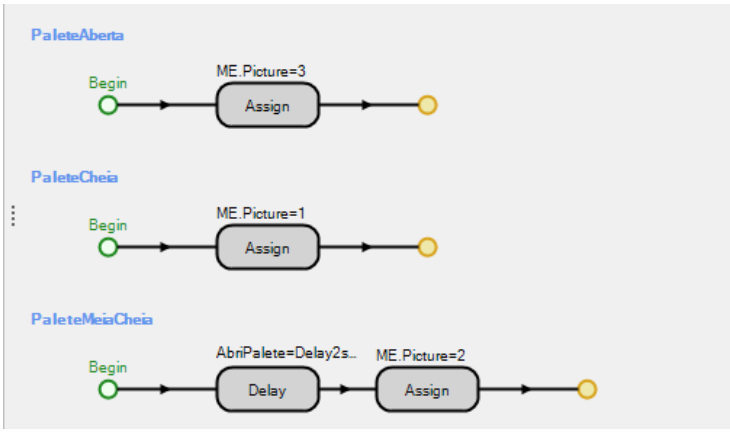


Figura 90 - Processos de atribuição de imagens diferentes às entidades do tipo *Pallet*

O processo "PaleteAberta" é utilizado para, no início da paletização, alterar a imagem de uma palete vazia fechada, para uma palete vazia, mas aberta (Figura 91).

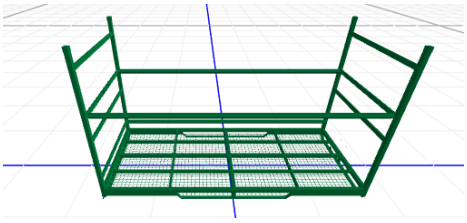


Figura 91 - Ilustração de uma palete vazia e aberta, no modelo de simulação do *software* Simio

O processo "PaleteCheia" corresponde à atribuição de uma imagem de uma palete com pneus, indicando quando uma palete está completa e pronta para ser removida do paletizador (Figura 92).

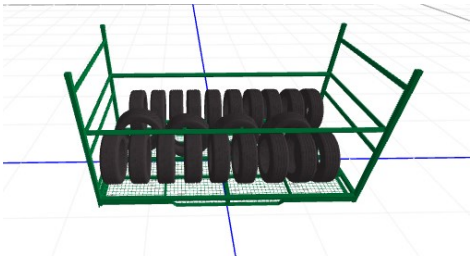


Figura 92 - Ilustração de uma palete completa, no modelo de simulação do *software* Simio

O processo "PaleteMeiaCheia" diz respeito à atribuição de uma imagem de uma palete com alguns pneus, por forma a indicar que a paletização está a acontecer no paletizador, mas não está ainda terminada (Figura 93).

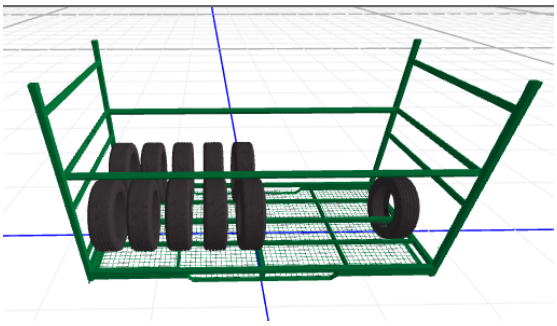


Figura 93 - Ilustração de uma palete com metade da paletização completa, no modelo de simulação do *software* Simio

Todos estes processos são despoletados nos *combiners* do tipo Paletizador (Figura 94).

Add-On Process Triggers	
Run Initialized	
Run Ending	
Parent Entered	
Member Entered	
Before Processing	PaleteAberta
Processing	PaleteMeiaCheia
After Processing	PaleteCheia
Exited	
Failed	

Figura 94 - Atribuição dos processos de gestão visual de paletes, nos objetos *combiner* do tipo paletizador

Categoria: Iniciar Simulação

A categoria Iniciar Simulação contempla 1 processo desenhado para aprovisionar paletes no início da paletização. O processo ilustrado na Figura 95 corresponde a um evento único do tipo *On Run Initialized* que permite que a simulação inicie já com paletes vazias nos paletizadores. Assim, no momento é que a simulação inicia, são criadas 4 paletes vazias, através do *step Create*. Posteriormente, estas paletes são transferidas para os paletizadores através do *step Transfer*. Esta transferência é imediata e independente de um transportador.

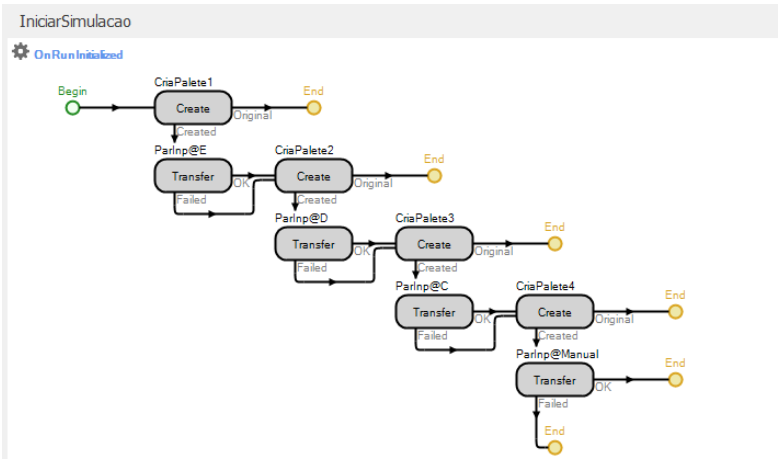
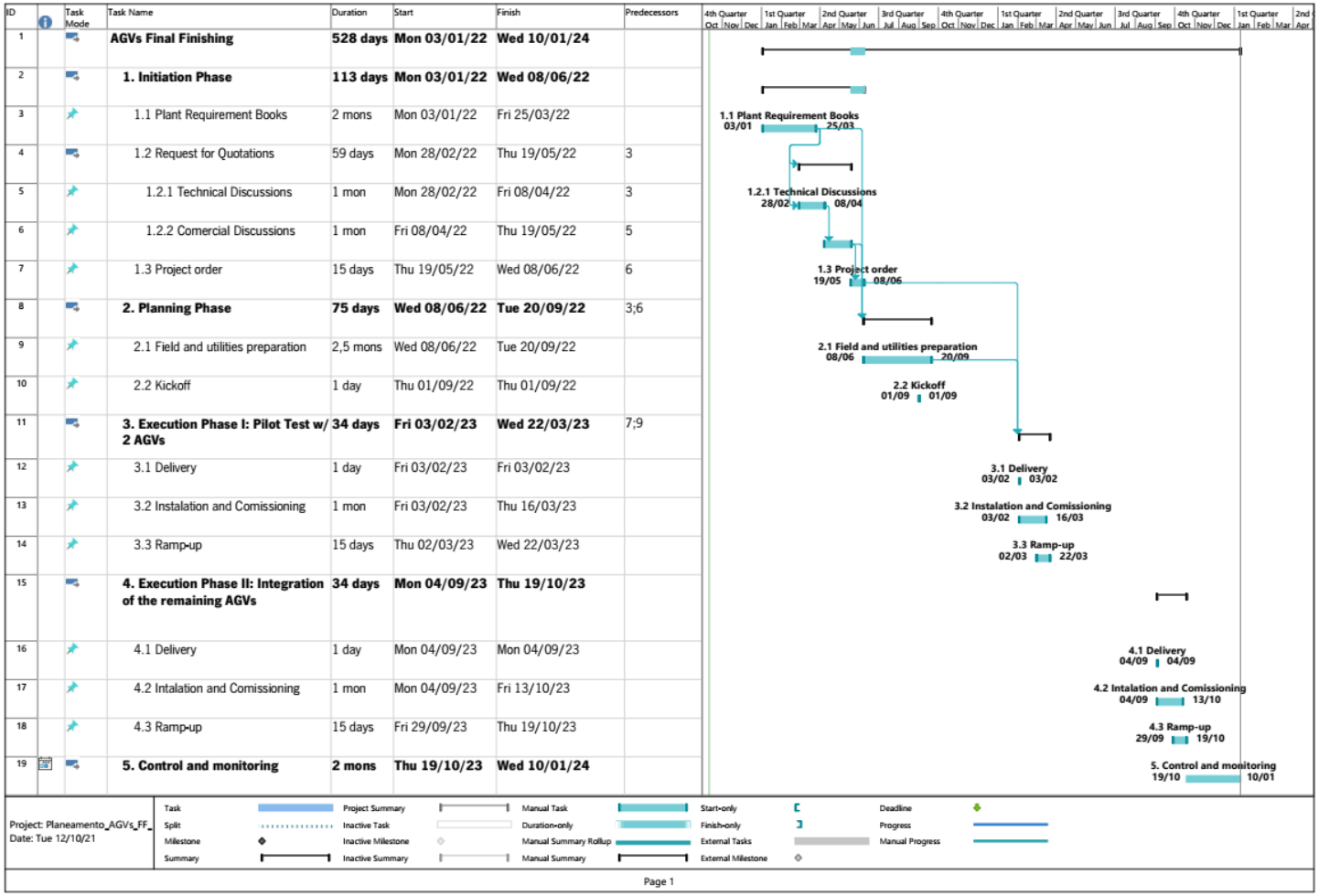


Figura 95 - Ilustração do processo responsável por iniciação da simulação

APÊNDICE VI - PLANEAMENTO DO PROJETO COM RECURSO AO *MS PROJECT*



ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1		**AGVs Final Finishing**	**528 days**	**Mon 03/01/22**	**Wed 10/01/24**	
2		**1. Initiation Phase**	**113 days**	**Mon 03/01/22**	**Wed 08/06/22**	
3		1.1 Plant Requirement Books	2 mons	Mon 03/01/22	Fri 25/03/22	
4		1.2 Request for Quotations	59 days	Mon 28/02/22	Thu 19/05/22	3
5		1.2.1 Technical Discussions	1 mon	Mon 28/02/22	Fri 08/04/22	3
6		1.2.2 Comercial Discussions	1 mon	Fri 08/04/22	Thu 19/05/22	5
7		1.3 Project order	15 days	Thu 19/05/22	Wed 08/06/22	6
8		**2. Planning Phase**	**75 days**	**Wed 08/06/22**	**Tue 20/09/22**	3;6
9		2.1 Field and utilities preparation	2,5 mons	Wed 08/06/22	Tue 20/09/22	
10		2.2 Kickoff	1 day	Thu 01/09/22	Thu 01/09/22	
11		**3. Execution Phase I: Pilot Test w/ 2 AGVs**	**34 days**	**Fri 03/02/23**	**Wed 22/03/23**	7;9
12		3.1 Delivery	1 day	Fri 03/02/23	Fri 03/02/23	
13		3.2 Instalation and Comissioning	1 mon	Fri 03/02/23	Thu 16/03/23	
14		3.3 Ramp-up	15 days	Thu 02/03/23	Wed 22/03/23	
15		**4. Execution Phase II: Integration of the remaining AGVs**	**34 days**	**Mon 04/09/23**	**Thu 19/10/23**	
16		4.1 Delivery	1 day	Mon 04/09/23	Mon 04/09/23	
17		4.2 Intalation and Comissioning	1 mon	Mon 04/09/23	Fri 13/10/23	
18		4.3 Ramp-up	15 days	Fri 29/09/23	Thu 19/10/23	
19		**5. Control and monitoring**	**2 mons**	**Thu 19/10/23**	**Wed 10/01/24**	

Figura 96 - Plano de implementação do sistema de AGVs elaborado com recurso ao MS Project

APÊNDICE VII - PROJETO ITI

	Project	Category	Description	Unit Price [€]	Amount	Total [€]	Invest or Expense	Obs.
8	Breaker Transport	**Transport**				**1,5 Mio €**		
		Equipment	AGV (to leave the material at the construction modules + to transport empties + to place the material in the HBS)	97 000,00 €	8	776 000,00 €	Invest	
		Equipment	Trolleys to be attached to the tug AGV (4 trolleys per each AGV)	10 000,00 €	32	320 000,00 €	Invest	
		Equipment	Modifications of the carriers	250,00 €	675	168 750,00 €	Expense	
		Utilities	Electrical Energy, Network Points, ...	60 000,00 €	1	60 000,00 €	Expense	
		IT Systems	EWM, servers...	10 000,00 €	1	10 000,00 €	Expense	
		Support	AGV System Instalation	25 000,00 €	8	200 000,00 €	Expense	
		Storage				**364 k €**		
		Equipment	HBS					On going
		Field Preparation	Modifications at HBS inbound and outbound system to be able to interact with the AGV	50 000,00 €	2	100 000,00 €	Expense	
		Equipment	Dock Station (at construction modules, to pick up empty carriers)	1 000,00 €	102	102 000,00 €	Invest	Rail
		Equipment	Dock Station (at metal cutting machines, for operators to deliver the material for the AGV to pick up)	1 000,00 €	10	10 000,00 €	Invest	Rail
		Equipment	Dock Station (at metal cutting machines, to park empties)	1 000,00 €	20	20 000,00 €	Invest	Rail
		Equipment	Dock Station (at construction modules, to deliver "full" carriers)	1 000,00 €	102	102 000,00 €	Invest	Rail
		Utilities	Electrical Energy, Network Points, ...	30 000,00 €	1	30 000,00 €	Expense	
		Contingency				66 500,00 €		
	TOTAL					**2 Mio €**		
	SAVINGS							

Figura 97 - Exemplo do mapeamento dos custos de um subprojeto de automação inserido no projeto iTi

Tabela 26 - Sumário dos subprojetos no projeto iTi

Area	Project name	Total Project Cost (€)	Project Description	Main Equipments	Status	IRR (%)
Transports and Storage Automation Projects						
AMP	Rubber Storage	7 Mio €	Automatic storage system to store rubber (using HBS) Automatic unloading of the trucks using AGVs	HBS Raw Material In-depth autonomous racks Shuttle	Project identified	20,8%

Area	Project name	Total Project Cost (€)	Project Description	Main Equipments	Status	IRR (%)
			Automatic transport of rubber boxes from the HBS to the middle buffers (using AGVs, in-depth autonomous racks to store the material and shuttles to pick-up and place material at/in the racks)	AGV		
AMP	Transport of metal wire and textil yarn	2 Mio €	Automatic storage system to store metal wire and textile yarn (using in-depth automated racks to store the material and shuttles to pick and place the materials) Automatic unloading of the trucks (using AGVs) Automatic transport of metal wire and textile yarn from the storage park to the middle buffers (using AGVs)	In-depth autonomous racks Shuttle AGV	New Project	-4,21%
AMP	Transport of big bags and pigments (AMP 3100)	1 Mio €	Automatic storage system to store big bags and pigments (using in-depth autonomous racks to store the material and shuttles to pick and place the goods) Automatic unloading of the trucks (using AGVs) Automatic transport of big bags and pigments from the WH to the middle buffers (using AGVs).	In-depth autonomous racks Shuttle AGV	New Project	-2,62%
AMP	Transport of Chemicals (AMP 1100)	1 Mio €	Automatic storage system to store chemicals (using in-depth autonomous racks to store the material and shuttles to pick an place the materials) Automatic unloading of the trucks Automatic transport of chemicals from the storage park to the middle buffers.	In-depth autonomous racks Shuttle AGV	New Project	-2,12%
DP1	Mixing: Transport 1st Floor	2 Mio €	Automatic transport of rubber, pigment boxes and master's compound tables from the middle buffers to the mixers' buffers (using AGV) Transports to/from the compound-tables lift Automatic transport of compound tables from the mixers to the ACS 1 (or directly to the finals mixers buffers) (using AGV) Automatic transport of pigment boxes to the pigments-lift (using AGV)	AGV	New Project	29,25%
DP1	Mixing: Transports (Ground Floor)	741 k€	Automatic transport of compound tables to the ACS 1, using AGVs (only when the approved label is attached. Transports between palletizer and "waiting for approvation buffer" are not considered in this automation project) Automatic transport of compound tables (remill) between strainer and goods-lift (using AGV) Automatic transport of compound tables from ACS 1, ACS 2 or ACS 3 to calenders buffers (using AGV)	ACS 1 (repair) AGV	Planned in "Major Repairs" New Project	26,53%
DP1	Mixing: Tonavas	386 k€	Automatic transport of pigment boxes from the automatic weighing machines to pigments buffers	AGV	New Project	35,63%
DP1	Production supply: From ACS to Preparation (Extruders + Apex + VMIs +CTs+ Innerliners)	2 Mio €	Automatic transport of compound tables from ACS1, ACS2 or ACS3 to buffers of Extruders, VMIs, Apex, CTs and Innerliners. Empties return to mixers is also expected.	ACS 1 (repair) ACS 2 ACS 3 AGV	Planned in "Major Repair" Existent Budget available New Project	1,62%
DP2Q	SW Transport	2 Mio €	Automatic transport of SW cassettes from extruders buffer to SW HBS Automatic transport of SW cassettes from HBS to the buffer of the TBMs Return of the empties from the HBS to the machine buffer (or to the HBS)	AGV	Project identified	19,43%
DP2Q	SW Storage	2 Mio €	Automatic storage system to store SW cars	HBS	Budget available	Already justified in UHP II

Area	Project name	Total Project Cost (€)	Project Description	Main Equipments	Status	IRR (%)
DP2F	Breaker Transport	2 Mio €	Automatic transport of Breaker cassettes from metal cutting machines buffer to Breaker HBS. Automatic transport of Breaker cassettes from HBS to the buffer of the TBMs. Return of the empties from the TBMs to the machine (or HBS).	Breaker HBS AGV	On Going Project New Project	17,65%
DP2Q	Tread Transport	2 Mio €	Automatic transport of Tread cars from extruders buffer to Tread HBS Automatic transport of Tread cars from HBS to the buffer of the TBMs Return of the empties from HBS to the machine's buffer (or to the HBS)	Tread HBS AGV	Existent New Project	31,40%
DP2F	Ply Transport	2 Mio €	Automatic transport of Ply cassettes from textile cutting machines buffer to Ply HBS Automatic transport of Ply cassettes from HBS to the buffer of the TBMs. Return of the empties is also expected	Ply HBS AGV	Existent Project identified	13,78%
DP2F	Innerliner Transport	2 Mio €	Automatic transport of Innerliner cassettes from IL buffer to IL HBS + Automatic transport of Innerliner cassettes from HBS to the buffer of the TBMs. Return of the empties is also expected.	IL HBS	Existent	13,99%
DP2F	Transport of Gum Edge	374 k€	Automatic transport of Gum Edge from slitters to metal cutting machines Return of the empties is also expected.	AGV	New Project	Need more infos
DP2F	Transport of Cap Ply	585 k€	Automatic transport of Cap Ply carriers between mini-slitters/cap ply machines and the construction modules. Return of the empties is also expected.	AGV	New Project	Need more infos
DP2Q	Beads storage and transport	4 Mio €	Automatic transport and storage of Apex cars from in an autonomous park Automatic transport of APEX from the park to the construction modules Automatic transport and storage of beads in the park Automatic transport of beads to APEX and VMIs	Autonomous Park AGV	New Project New Project	14,09%
DP2F	Calander Rolls Transport	1Mio €	Automatic transport of calander rolls from the Patternoster/Racks to the Metal/Textile Cutting machines. Return of the empties is also expected.	AGV calander 1	New Project	16,50%
DP2F	Calander 2: Rolls storage	800 k€	Automatic transport of rolls from the calander 2 to the racks Automatic feeding of calander roll with rolls	AGV calandar 2 Racks Calandar 2	Budget available	Already justified in UHP II
FF	Final Finishing	6 Mio €	Automatic palletization Automatic transport of pallets from the palletizers zones to the autonomous shuttles	Paletizer AGV	New Project Project identified	30,82%
PLT	Cleaning	402 k€	Automatic cleaning of the main aisles in PLT	AGV	New Project	Need more infos
PLT	iTi Control System	500 k€	Room with monitors to monitor the flows, the AGVs performance, the HBSs performance, etc. Main objective is to control and monitor the automated systems.	AGV	New Project	Not needed
Others						
PLT	Return of the empties to the suppliers	745 k€	Automatic loading of the trucks with empty goodpacks, pallets and boxes to return to the suppliers	AGV		Need more infos
PLT	Transport of SCRAP, Rework and Workoff	2 Mio €	Automatic transport and weigh of SCRAP and Rework. Pick up points: TBMs; Extruders; IL; Apex; Textile Cutting Machines; Metal Cutting Machines; etc.; Delivery Points: Workoff Zone and Retouch Zone	AGV		Need more infos