

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Estudo e simulação de sistemas de logística interna baseados em AGVs

António Pedro Fontoura Moreira

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Paulo José Cerqueira Gomes da Costa

Co-orientador: Américo Lopes de Azevedo

20 de Julho de 2017

Resumo

Esta dissertação surge no seguimento de dois projetos desenvolvidos na Continental que visam a implementação de AGVs na movimentação de paletes. No primeiro projeto pretende-se que o veículo autónomo realize o abastecimento de um *buffer* de borrachas e no segundo que movimente paletes com pneus da inspeção final até à zona de despacho.

O principal objetivo é a realização de simulações destes ambientes industriais de modo a determinar os recursos necessários garantindo o bom funcionamento do sistema.

No primeiro projeto, a primeira abordagem passou pela análise exaustiva dos fluxos de materiais no armazém intermédio, tendo sido revelados uma série de problemas como a não concordância entre o consumo dos materiais e a sua distribuição pelo armazém. Com base numa análise ABC e XYZ foi proposta uma nova distribuição dos artigos, revelando-se particularmente benéfica no tempo até *stock out* de cada material.

Ainda neste projeto, seguiu-se a simulação do estado atual do *buffer* e da proposta apresentada, que incluiu mudanças no *layout* e uma nova distribuição dos materiais. A comparação destes dois cenários permitiu concluir que a utilização de apenas um AGV seria suficiente para o abastecimento do *buffer*.

No segundo projeto foi sugerida a introdução de um tapete de correntes e de um novo *layout* compatível com o uso de veículos autónomos no transporte de paletes de produto acabado (pneus). A simulação de alguns cenários revelou que as propostas apresentadas seriam benéficas e que seriam necessários 6 AGVs para tornar o processo de movimentação de produto acabado na zona da paletização final 100% autónomo, isto é, sem qualquer intervenção humana.

Em suma, os objetivos propostos foram cumpridos tendo sido determinado o número de veículos necessários para cada projeto e avaliado o seu desempenho perante diferentes panoramas. A simulação computacional revelou ser uma ferramenta particularmente útil quando é pretendida a avaliação do impacto que determinadas mudanças possam ter em ambientes industriais.

Abstract

This dissertation follows two projects developed at Continental that aim the implementation of AGVs in the handling of pallets. In the first project, it is intended that the automated guided vehicle performs the filling of a rubber buffer and in the second that moves pallets with tires from the final inspection to the dispatch zone.

The main objective is to run simulations of these industrial environments to determine the necessary resources ensuring the proper functioning of the system.

In the first project, the first approach was an exhaustive analysis of material flows in the buffer, revealing a series of problems such as the lack of congruency between the materials consumed and distributed by the warehouse. Based on an ABC and XYZ analysis, a new distribution of the articles was proposed. This proved to be particularly beneficial in the time to stock out of each material.

Still in this project, the simulation of the current state of the buffer and the presented proposal was followed. The proposal included changes in the layout and a new distribution of the materials. The comparison of these two scenarios allowed us to conclude that the use of only one AGV would be enough to supply the buffer.

In the second project it was suggested to introduce a chain conveyors and a new layout compatible with the use of autonomous vehicles in the transport of finished product pallets (tires). The simulation of some scenarios revealed that the proposals presented would be beneficial and that 6 AGVs would be enough to make the finished product handling process 100% autonomous, that is, without human intervention.

In sum, the proposed objectives fulfilled by determining the number of vehicles required for each project and evaluating their performance in different scenarios. Computational simulation has proved to be a particularly useful tool when it is intended to assess the impact that certain changes may have on industrial environments.

Agradecimentos

Findado esta fase da minha vida não posso deixar de fazer um pequeno agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam e me ajudaram direta e indiretamente neste longo percurso acadêmico.

Começo por agradecer à Continental pela oportunidade concedida. Agradeço ao Eng. Manuel Sampaio e ao Eng Pedro Nogueira pela forma como me receberam e orientaram durante todo o meu trabalho.

Quero agradecer ao meu orientador Professor Doutor Paulo Costa e ao meu coorientador Professor Doutor Américo Azevedo, pela dedicação, incentivo e apoio prestado durante estes meses de trabalho.

Um obrigado aos meus colegas de faculdade e secundário por toda a partilha de conhecimento e companhia ao longo destes anos.

Um muito obrigado a toda a minha Família por sempre acreditarem em mim e sempre se mostrarem interessados no meu sucesso.

Um obrigado muitíssimo especial aos Meus Pais e à minha Irmã, que são as pessoas mais importantes na minha vida. Obrigada por tudo que me ensinaram, pelo apoio e amor incondicional e por estarem sempre dispostos a ajudar-me em tudo na vida. Espero que esta etapa, que agora termino, possa gratificar e compensar todo o carinho e dedicação que me ofereceram.

Por último, um especial agradecimento à minha namorada, Mariana, por todos os bons momentos que me proporcionou ao longo destes 5 anos. Pela inspiração, pelo companheirismo e por me fazer sentir uma pessoa mais completa.

António Moreira

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Motivação	1
1.3	Objetivos	1
1.4	Organização do documento	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Gestão de logística interna	3
2.1.1	Filosofia lean	3
2.1.2	Logística	5
2.1.3	Armazéns	7
2.1.4	Sistemas <i>pull</i> vs <i>push</i>	10
2.2	Soluções de transporte de materiais	11
2.2.1	Soluções manuais	11
2.2.2	Soluções automáticas- AGVs	17
2.3	Simulação	19
2.3.1	Porquê recorrer à simulação?	19
2.3.2	Software de simulação	20
3	Metodologia e ferramentas usadas	27
3.1	Metodologia	27
3.2	Ferramentas usadas	28
4	Caso de estudo 1: Buffers de Borracha	35
4.1	Apresentação do problema	35
4.2	Análise de fluxos de material	37
4.3	Análise de layouts	42
4.3.1	<i>Buffer</i> atual	42
4.3.2	Proposta de alteração de layout	46
4.3.3	Redistribuição dos materiais	48
4.3.4	Comparação Proposta vs. Atual	51
4.4	Simulação	55
4.4.1	Cenários Simulados	55
4.4.2	Objetos do Modelo	60
4.4.3	Dados de entrada	65
4.4.4	Resultados e discussão	66

5	Caso de estudo 2: Paletização Final	73
5.1	Apresentação do problema	73
5.2	Soluções de transporte e ajustes de <i>layout</i>	74
5.3	Simulação	78
5.3.1	Cenários Simulados	78
5.3.2	Objetos da simulação	81
5.3.3	Resultados e discussão	83
6	Conclusões e trabalhos futuros	87
A	Análise ABC e XYZ no <i>buffer</i> 1	91
B	Tabela de materiais	93
C	Tabela de pedidos	95
	Referências	115

Lista de Figuras

2.1	As três dimensões da logística.	6
2.2	Carrinho de mão.	12
2.3	Porta paletes.	12
2.4	Reboque.	12
2.5	Empilhador convencional de contra peso.	13
2.6	Empilhador retrátil.	13
2.7	Empilhador retrátil.	14
2.8	Empilhador trilateral.	14
2.9	Empilhador Lateral.	15
2.10	Grua empilhadora.	15
2.11	Transportador de rolos por gravidade.	16
2.12	Transportador de rolos mecânico.	16
2.13	Transportador de correntes (dois carris).	17
2.14	Esquerda: AGV empilhador. Direita: AGV de carga única.	18
2.15	Esquerda: AGV reboque. Direita: AGV túnel.	18
2.16	Esquerda: Sistemas filoguiados. Direita: Sistemas de faixas	19
2.17	Esquerda: Sistema de triangulação lazer. Direita: Sistema de marcadores.	19
2.18	Simulação 3D em Simio	22
2.19	Simulação 3D usando AnyLogic	23
2.20	Visual Components, Home	24
2.21	Visual Components, Drawing	25
2.22	Visual Components, Program	25
2.23	Visual Components, Modeling	25
3.1	Visualização 2D vs 3D em <i>Simio</i>	29
3.2	Imagens do objetos da biblioteca <i>standard</i> do <i>Simio</i>	31
3.3	Exemplo de dois processos em <i>Simio</i>	32
3.4	Experiência em <i>Simio</i>	33
4.1	Planta do armazém, <i>buffer</i> e zona de produção	36
4.2	Distribuição dos material pelo <i>buffer</i> 1	38
4.3	Tabela análise de fluxos do <i>buffer</i> 1 durante o mês de Março de 2017	39
4.4	Calculo do tempo até <i>stock out</i>	40
4.5	Tempo até <i>stock out</i> - março 2017	41
4.6	Sistema <i>push</i> armazém- <i>buffer</i>	42
4.7	Planta do <i>buffer</i> atual	43
4.8	Mapa de cores- distribuição do material no <i>buffer</i>	44
4.9	Análise ABC nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril 2017	45

4.10	Planta da proposta de <i>layout</i>	46
4.11	Planta da proposta de <i>layout</i> - sentido de movimentação das paletes	47
4.12	Sistema de movimentação de paletes- Tapete de correntes	47
4.13	Atribuição do número de paletes por material	49
4.14	Distribuição proposta dos materiais pelo <i>buffer</i> 1	50
4.15	Mapa de cores para a distribuição dos materiais no novo <i>layout</i> do <i>buffer</i> 1: a) com base na análise ABC e XYZ; b) com base no consumo	50
4.16	Comparação entre a solução proposta e o atual em termos de Variedade e Paletes Totais	52
4.17	Comparação entre a solução proposta e o atual em termos de Utilização de Volume e Utilização de área	52
4.18	Tempo até <i>stock out</i> da redistribuição dos materiais para o mês de março	53
4.19	Tempo até <i>stock out</i> da redistribuição dos materiais para o mês de março- zoom	54
4.20	Cenário "Original"dividido em 4 áreas	56
4.21	Zoom da zona "A- cenário "Original"	56
4.22	Cenário "Novo"dividido em 4 áreas	58
4.23	Entidade Paleta de material	60
4.24	Combinador	60
4.25	Fila de dois pedidos a serem processados	61
4.26	Locais de armazenagem: <i>Storage</i> 1 e <i>Storage</i> 2	62
4.27	Visualização de uma <i>storage</i> em 2D	63
4.28	Visualização de uma <i>storage</i> em 3D	63
4.29	Veículo em <i>Simio</i>	64
4.30	<i>Paths</i> e nós em <i>Simio</i>	64
4.31	Tabela dos materiais "Material Table"	65
4.32	Tabela de Pedidos, "Request Table"	65
4.33	Planta <i>buffer</i> 1- <i>storage</i> acrescentadas a azul	69
4.34	Resultados do cenário "Original"com um veículo, variando a utilização do <i>buffer</i>	69
4.35	Resultados do cenário "Novo", variando o número de AGVs e a utilização do <i>buffer</i>	71
5.1	Planta da zona de paletização final	73
5.2	Planta da zona de paletização final dividida em três areas: A, B, C	75
5.3	Tapete de correntes assente numa estrutura de dois andares. Sentidos e tipos de material em circulação	75
5.4	Zoom da zona "A- corredores incompatíveis com AGVs	76
5.5	Proposta de alteração de <i>layout</i> - Paletização 100% automática	77
5.6	Transporte automático das paletes da torre até ao transportador	78
5.7	Cenário simulado na zona de inspeção final usando empilhadoras	79
5.8	Cenário simulado na zona de inspeção final usando AGVs	80
5.9	Entidades do modelo. Paleta vazia à esquerda e paleta cheia à direita	81
5.10	<i>Sources</i> e <i>Sinks</i> . a) torre de paletização. b) <i>Sinks</i> de paletes cheias. c) <i>Sources</i> de paletes vazias	82
5.11	Veículo <i>standard</i> em <i>Simio</i> com um símbolo de empilhadora aplicado	83
5.12	Exemplo de caminhos e nós modelados no cenário que usa o AGVs	83
5.13	Resultados obtidos do cenário que usa empilhadoras	85
5.14	Resultados obtidos do cenário que usa AGVs	85

Lista de Tabelas

2.1	Regras para a classificação dos artigos em XYZ	9
2.2	Matriz ABC/XYZ	10
3.1	Objetos da biblioteca <i>standard</i> do <i>Simio</i>	31
4.1	Matriz ABC-XYZ para o buffer 1 nos meses janeiro, fevereiro, março e abril 2017	45
4.2	Dados relativos ao <i>layout</i> atual do <i>buffer</i> 1: capacidade, variedade, utilização de área e volume	51
4.3	Dados relativos ao novo <i>layout</i> do <i>buffer</i> 1: capacidade, variedade, utilização de área e volume	51
4.4	Comparação da média, desvio padrão, máximo e mínimo da distribuição atual com a proposta	54
4.5	Resumo do cenário Original	57
4.6	Resumo do cenário Novo	59
4.7	Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário "original"	67
4.8	Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário "Novo"	68
5.1	Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário que usa empilhadoras	84
5.2	Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário que usa AGVs	84

Abreviaturas e Símbolos

FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
INESCTEC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência
AGV	Automated guided vehicle
TPS	Toyota production system
JIT	Just In Time
FIFO	First In, First Out
LIFO	Last In, First Out
FEFO	First Expire, First Out

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

Numa fábrica, associado à introdução de AGVs para o transporte de materiais e produtos há a questão dos *layouts* dos armazéns e das trajetórias e políticas associadas aos AGVs. Muitas vezes é necessário recorrer a técnicas de simulação para avaliar as diferentes opções de modo a escolher soluções que satisfaçam os requisitos otimizando diversos fatores. Já foi feito um estudo preliminar associado a este problema mas torna-se necessário a criação de um modelo que contemple diferentes abordagens e que permita estudar diferentes *layouts* e políticas de alocação dos AGVs.

1.2 Motivação

Cada vez há mais uma tendência para automatizar os diferentes processos industriais. Trabalhos monótonos e repetitivos, como o transporte de matéria prima entre dois pontos é definitivamente um deles. Uma grande vantagem de automatizar estes processos é a diminuição considerável do número de imprevistos, erros e acidentes de trabalho. No entanto, automatizar o processo de transporte de matéria prima entre dois pontos pode ser bastante dispendioso. O custo fixo de um AGV, o custo de instalação, o custo de manutenção deste tipo de equipamento, o impacto no fluxo dos materiais entre os armazéns, o tempo de reposição de stock no *buffer*, as implicações ou efeitos indiretos na produção, etc. são alguns dos fatores a ter em consideração. Sendo assim, deve ser feito um estudo mais aprofundado sobre o impacto da implementação de uma solução autónoma de transporte de materiais, com AGVs.

1.3 Objetivos

A dissertação tem como objetivo uma análise mais detalhada e cuidada do cenário que usa AGVs para o abastecimento de um *buffer* entre o armazém e a produção com dados de diferentes

meses. Para isso, é necessário tornar o *buffer* num espaço compatível com AGVs através da alteração do *layout* e da introdução de estruturas de armazenagem de paletes. Aqui é importante fazer o levantamento das vantagens e desvantagens deste novo *layout* comparativamente com o antigo. É desejável que vigore no armazém intermédio um sistema de sequenciamento FIFO. Também é desejado que o *buffer* tenha uma capacidade para cerca de dois dias, para que haja alguma margem caso o abastecimento do mesmo falhe. Os principais resultados a tirar da simulação neste caso de estudo é a quantidade de AGVs e a percentagem da utilização da capacidade do *buffer* necessária de modo a que o sistema seja sustentável.

Similarmente ao que acontece no primeiro caso de estudo, também será feito um estudo num outro projeto que visa introduzir soluções de transporte autónomas para a movimentação de paletes na zona da inspeção e paletização final. Serão propostas algumas soluções de modo a criar cenários validos para as simulações. O principal objetivo das mesmas é saber quantos AGVs são necessários de modo a que o sistema seja viável, isto é, quantos veículos são precisos para garantir o cumprimento de todos os requisitos nessa zona da fabrica.

Todos os dados retirados das simulações anteriormente referidas, irão ter como apoio o software de simulação *Simio*.

1.4 Organização do documento

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos.

No capítulo 2, referente à Revisão Bibliográfica e ao Estado de Arte, são abordados alguns dos temas relevantes neste projeto, entre eles a logística, gestão de armazéns, soluções de transporte de material e alguns softwares de simulação.

No capítulo 3 é clarificado a metodologia usada em cada caso de estudo. Aqui também é realizada uma breve introdução ao software de simulação usado, o *Simio*.

Segue-se o capítulo 4 onde é exposto o primeiro caso de estudo. É descrito o funcionamento atual do abastecimento do armazém em estudo e são apontadas algumas falhas. Seguidamente é proposto algumas alterações, tanto no *layout* como na forma como os materiais são armazenados e distribuídos pelo mesmo de modo a colmatar os problemas anteriormente detetados. Depois é realizada a simulação de alguns cenários de modo a analisar o impacto do uso de AGVs no abastecimento do *buffer* em causa.

No Capítulo 5 é exposto um outro caso de estudo que teve lugar na zona de inspeção final da fabrica. Aqui foi analisado o fluxo do material acabado (pneus) e algumas soluções de modo a automatizar todo o processo do transporte de paletes de pneus nesta área da empresa. Foram realizadas simulações de modo a perceber as implicações da introdução de AGVs e outras soluções autónomas para o transporte das paletes na zona da inspeção e paletização final.

Por último, no capítulo 6, Conclusões e Trabalhos Futuros, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e são sugeridas alterações que conduziriam a melhorias na análise realizada.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Gestão de logística interna

2.1.1 Filosofia lean

O termo produção *Lean* é uma filosofia industrial cujo desenvolvimento teve origem no Japão, assumido essencialmente pela *Toyota Motor Corporation* e por isso também conhecida por Sistema de Produção Toyota (TPS- *Toyota Production System*). Esta filosofia caracteriza-se por um conjunto de atividades desenvolvidas para alcançar um elevado nível de produtividade com a mínima utilização de recursos, isto é, melhorar a qualidade e a produtividade de todos os processos que criam valor para uma organização.

Lean também pode ser visto como uma abordagem sistemática na tentativa de identificar e eliminar desperdício (atividades sem valor acrescentado) através da melhoria continua tentando constantemente alcançar a perfeição. O *Lean* “olha” com detalhe para as atividades envolvidas no negocio e identifica o que é desperdício e o que é valor do ponto de vista do cliente. Segundo Womack (1996) [1] “*Desperdício é qualquer actividade humana que absorve recursos mas não cria nenhum valor*”.

Sete desperdícios- Muda

O TPS tem como principal objetivo o aumento de lucros através da completa eliminação de desperdícios. A palavra japonesa *Muda*, que em português significa desperdício ou supérfluo, é um termo bastante mencionado no que toca na aplicação da filosofia *Lean* em processos industriais reais, sendo assim torna-se relevante aprofundar o estudo sobre este tema.

Segundo Taiichi Ohno (1997) [2] devemos ter em mente dois pontos essenciais quando pretendemos a eliminação total de desperdícios:

“1. Melhorar a eficiência só faz sentido quando é acompanhada de redução de custos. Para atingir isso devemos começar a produzir apenas aquilo que necessitamos, utilizando o mínimo de mão-de-obra. 2. Devemos olhar para cada operador e para cada linha. Depois olhar para os operadores como um grupo e para a eficiência de toda a planta de produção. A eficiência deve ser melhorada em cada etapa de produção, e ao mesmo tempo para a planta produtiva como um todo.”

O *Muda* aparece-nos dividido em sete categorias mais conhecidas, tendo sido identificadas por Taiichi Ohno aquando da criação do TPS e mais tarde verificado por Shingo (1996) [3] no estudo que fez do TPS:

Superprodução: Desperdício que surge sempre que há excesso de produção, quando se produz mais do que o cliente necessita. Como se irá constatar mais tarde, uma forma de eliminar este tipo de desperdício é a produção puxada (*pull*);

Tempo de espera: Períodos longos de inatividade das pessoas, informações e componentes provocam fluxo inadequado e tempos de processamento longos. É o tempo de espera que ocorre quando o operador está impedido de executar a operação seguinte. Estabelecer prioridades é uma boa forma de combater este desperdício;

Transporte: As deslocações desnecessárias de pessoas, materiais ou informação é um tipo de desperdício que afeta toda a organização em termos de custos, tempo e energia. É o movimento do produto que não acrescenta valor.

Inventário: Inventários resultam em altos custos, baixo nível de serviços e atrasos de informações ou componentes aos clientes. *Muda* associado ao inventário refere-se a qualquer produto, matéria-prima ou equipamento que se encontre em quantidade superior do que o necessário, constituindo capital estagnado que resulta em despesa para a organização.

Movimentação: São todos os movimentos associados ao corpo do operador, como é exemplo os deslocamentos entre os postos de trabalho. Resultam da má organização dos postos de trabalho.

Defeitos: Este tipo de desperdício ocorre sempre que um produto ou serviço não atinge as exigências ou expectativas do cliente, ou seja, é um produto não conforme com as especificações do cliente. Isto acarreta custos relacionados com a triagem, reparação ou retrabalho de produtos defeituosos, assim como custos elevados com os produtos, que devido a defeitos graves, são considerados sucata.

Processos inadequados: Desperdício provocado pela tendência de todos os operadores para atingirem níveis de especificação que vão além do pedido do cliente. O desperdício associado aos processos inclui a aplicação de recursos, ferramentas, equipamentos ou atividades, de forma excessiva ou incorreta.

Just-in-Time (JIT)

A filosofia *Lean* partiu de um outro conceito que teve origem cerca de duas décadas mais cedo, o *Just-In-Time* (JIT). Este nasceu no Japão nos anos 1960s na empresa *Toyota Motors Company* e tem como objetivo reduzir os tempos de entrega de produtos ao cliente final a partir da integração de todos os processos necessários para produzir esse mesmo artigo. Por outras palavras, o JIT tem como missão reduzir o *lead time* ¹ (Reichhart e Holweg, 2007).

O *Just-In-Time* é uma “forma de pensar” no mundo da gestão empresarial que tem um objetivo bastante simples: produzir os itens que são necessários, na quantidade certa, na hora certa. JIT foi

¹Lead time: É o período entre o início de uma actividade, produtiva ou não, e o seu término. É o tempo entre o momento de entrada do material até à sua saída do inventário.

descrito por Schonberger (1984) [4] como um sistema de produção que substitui “a complexidade por simplicidade na gestão da produção”.

Esta abordagem envolve um compromisso constante em busca da excelência em todas as fases da produção. JIT visa desenhar todos os processos produtivos na forma mais eficaz e eficiente. Mais especificamente, JIT tem as seguintes metas (Edwards 1983):

- Zero defeitos;
- Zero set-up²;
- Zero inventário;
- Zero ruturas
- Zero lead time

Idealmente, com a aplicação desta metodologia, seria possível aproximar de zero os níveis de *stocks*, os defeitos, os tempos de *setup* e o *lead time*. No entanto existem algumas dependências que podem condicionar todo o processo de satisfazer as necessidades do cliente a tempo. Um exemplo bastante simples é se existir um problema com os fornecedores, que poderia resultar numa paragem de toda a cadeia de produção conduzindo a custos absurdos. Por motivos desta natureza, é comum as organizações recorrerem a stocks de segurança mesmo que estes representem um custo considerável.

Com a aplicação da filosofia *Lean* e o seu ideal de JIT, foi possível desenvolver um sistema de produção em que o consumidor é responsável pela ordem de fabrico, ou seja, quando o cliente deseja comprar um produto é dada a ordem para a produção desse mesmo produto. A isto chama-se um sistema *pull*, isto significa produção puxada pela procura do mercado (Coimbra, 2013). Existe três tipos de sistemas: *pull*, *push* e *pull/push* que serão posteriormente abordados com mais pormenor.

2.1.2 Logística

A logística é uma área de elevada importância na Cadeia de Abastecimento, mas apenas na segunda metade do século XX foi lhe dada o devido valor. Durante este período, a logística passou de uma atividade pouco prioritária para uma atividade onde os custos podiam ser consideravelmente reduzidos. Esta tinha impacto direto na satisfação dos clientes. A logística começou a ser vista como uma poderosa arma de marketing para se obter vantagem competitiva. Peter Drucker (1962) [5], referiu-se à logística como uma das áreas mais negligenciadas e ao mesmo tempo uma das mais promissoras do mundo dos negócios.

Segundo o CSCMP (*Council of Supply Chain Management Professionals*), a logística não é mais do que o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo e armazenamento, eficiente e

²Tempo de set-up: Período necessário para preparar um dispositivo, máquina, processo ou sistema para que este esteja pronto para cumprir o seu trabalho ou função.

eficazmente, de bens, serviços e da respetiva informação, desde a sua origem até ao seu consumo, com o objetivo de estar em conformidade com os requisitos do cliente. Esta definição inclui todos os movimentos de entrada e saída, internos e externos.

Numa empresa o fluxo de informação deve ser transversal a toda a organização, não se devendo apenas restringir ao acompanhamento do fluxo físico de materiais.

Resumidamente, segundo Ronald H. Ballou [6] “A missão da logística é disponibilizar os bens ou serviços corretos no local correto, na altura certa e nas condições desejadas, com o maior contributo para a empresa”.

Para uma organização tomar partido da vantagem competitiva criada pela cadeia de valor como consequência de uma melhor gestão das atividades envolvidas na entrega de valor ao cliente, deve desempenhar essas mesmas atividades de uma forma mais eficaz que a concorrência. Por outras palavras, a empresa deve ser capaz de criar valor de forma excecional para os seus compradores da forma mais simples e barata possível.

Toda a gestão logística baseia-se na decisão à cerca das três dimensões logísticas. Estas são: Tempo, Custo e Qualidade de serviço. Existe um constante *trade-off* (compromisso) entre elas, já que são bastante dependentes uma das outras.



Figura 2.1: As três dimensões da logística.

Neste contexto, a logística compete, transversalmente, atuar sobre uma série de funções [7], sendo elas:

- Gestão de todo o tipo de stocks na organização
- Gestão da componente logística de atendimento a clientes
- Gestão de transportes
- Gestão física dos armazéns
- Receção e acompanhamento de encomendas
- Encomendas a fornecedores
- Planeamento agregado da produção juntamente com a Gestão da Produção
- Gestão de aprovisionamentos de matérias primas e diferentes componentes

- Manutenção do sistema de informação de logístico de suporte
- Gestão de inventários
- Embalagem

Logística interna

A logística interna é um conjunto de várias atividades associadas à recepção, armazenagem e distribuição de materiais para os produtos, tais como todas as movimentações internas de materiais, controlo de stocks, transportes e devoluções para fornecedores.

Do ponto de vista da logística interna, o valor acrescentado é alcançável caso seja possível garantir que as matérias primas ou materiais necessários são entregues ao respetivos postos de produção onde são precisos, atempadamente, nas quantidades necessárias e pré-definidas, bem como nas condições desejadas [8].

2.1.3 Armazéns

O armazém desempenha um papel crucial na estratégia da organização logística de uma empresa. No entanto é importante referir que os armazéns, mesmo sendo fundamentais numa organização, não representam fonte de lucro na maior parte dos casos. Mesmo que o valor acrescentado na maioria dos casos seja mínimo, o processo de armazenagem pode ser responsável por perdas significativas de tempo e dinheiro.

Do ponto de vista financeiro, um armazém é visto como um estorvo pelas organizações e como tal deve ser reduzido ao máximo para minimizar despesas. No entanto, um armazém desempenha um papel fundamental para qualquer organização, tendo como principal objetivo manter um determinado numero de stocks de matérias ou produtos.

Um armazém devidamente organizado é uma mais valia para a produção, já que permite que a mesma não tenha problemas de fornecimento de materiais, evitando-se assim que esta pare. Se fosse possível prever, com exatidão, as necessidades dos clientes e planejar a produção e o transporte dos materiais de acordo com as mesmas, os armazéns simplesmente não eram necessários (princípio da filosofia JIT). Tal não é possível já que existem demasiadas variáveis a ter em conta, o que leva inevitavelmente a um erro nas previsões. Sendo assim pode se concluir que os armazéns são necessários e que sem eles havia o risco de a produção parar o que levaria inevitavelmente à insatisfação dos clientes.

Stocks

Como foi tido anteriormente, os *stocks* não criam valor para uma organização. A existência de *stocks*, mesmo sendo vista como um inconveniente, é inevitável. No entanto, existem alguns motivos que justifiquem a sua existência:

- Descontos de quantidade- ao adquirir um produto em grandes quantidades pode beneficiar de descontos junto dos fornecedores;

- Evitar roturas no processo de produção;
- Responder a flutuações na procura prevista.

O capital imobilizado e a ocupação de espaço representam algumas das desvantagens associadas à existência de *stock*. Sendo assim, há uma tendência para tentar reduzi-lo ao máximo.

Os *stocks* normalmente representam um investimento significativo nos sistemas logísticos. Os custos que lhes estão associados podem dividir-se em três componentes [9]:

- Custos de aprovisionamento
- Custos associados à existência de *stock*;
- Custos associados à rotura de *stock*.

Os custos de aprovisionamento estão associados ao custo da encomenda, estudos de mercado, despesas com negociações, controlo de prazos e o transporte do produto. Os custos associados à existência de *stock*, também conhecidos como custos de posse, estão relacionados com o custo das instalações de armazenamento, manuseamento, seguros, impostos, etc... sendo que custos elevados desta categoria tendem a favorecer níveis de *stock* reduzidos com uma frequência de reposição elevada. Os custos de rutura surgem quando existe uma falha na entrega de matérias à produção, que causam que esta pare.

A gestão de *stocks* é uma área administrativa da maioria das empresas e o seu propósito é garantir a satisfação do cliente, encontrando um equilíbrio entre todos os conflitos causados pela existência de *stocks*. Dito por outras palavras, a gestão de *stocks* deve garantir as quantidades adequadas de materiais no lugar certo, consoante as necessidades da produção, com o menor custo possível.

A implementação de um sistema eficiente de controlo de stocks irá permitir um maior controlo de inventário e uma melhoria considerável no tipo de serviço prestado.

2.1.3.1 Analize ABC e XYZ

Classificação ABC

A classificação do método ABC, proposto por Wilfredo Pareto após a segunda guerra mundial, pode ser entendida como a classificação dos itens de *stock* baseada no seu valor, permitindo desta forma uma separação dos materiais consoante o valor que representam.

A maioria das organizações trabalha com uma grande diversidade de produtos, tornando-se difícil para o setor administrativo manter um padrão único no planeamento e controlo de *stocks*. Dar o mesmo grau de importância a todos os materiais não é uma prática recomendável, já que cada material tem um custo, procura, prazo de entrega, alternativas de fornecedor diferentes.

A classificação ABC segue o princípio de Pareto que diz que 80 por cento dos efeitos advém de 20 por cento das causas. Este princípio no contexto de gestão de stocks quer dizer que uma

Tabela 2.1: Regras para a classificação dos artigos em XYZ

Classe	Regra
X	$CV < 0.5$
Y	$0.5 < CV < 1$
Z	$CV > 1$

pequena parte dos produtos representa uma grande percentagem do valor para uma dada empresa. Neste caso em particular, o critério usado para definir “valor” é o volume de vendas.

Assim, a classificação ABC divide-se nas seguintes classes:

- Classe A: São os materiais mais importantes porque representam o “grosso” do investimento. São os materiais mais usados e normalmente representam 20% dos artigos que correspondem a 80% do volume de vendas acumulado.
- Classe B: São itens de quantidade e valor intermédio. Geralmente representam 30% dos artigos e correspondem entre 80% a 95% do volume de vendas acumulado.
- Classe C: São os artigos de menor importância. Representam em média 50% dos produtos e correspondem a 95% a 100% do volume de vendas acumulado.

O principal objetivo de classificar os artigos em A, B ou C é estabelecer diferentes graus de controlo de cada item, permitido separar mais facilmente artigos de elevada importância dos de menos importância.

Classificação XYZ

Uma outra forma de classificar os diferentes materiais é através dos seus padrões de consumo. Esta análise, chamada de XYZ é normalmente utilizada para complementar a análise ABC.

O critério usado para separar os itens em três classes é o coeficiente de variância, dado por:

$$C = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (2.1)$$

em que C é o coeficiente de variância, σ é o desvio padrão dos dados e $\bar{X}$ é a média dos dados.

Os artigos de consumo constante, com mínimas variações, são inseridos na categoria X. Contrariamente, os artigos que apresentam uma elevada variabilidade no consumo, sem qualquer tipo de padrão, encaixam na categoria Z. Os itens classificados como Y são os que apresentam uma variabilidade intermédia, normalmente associada a tendências ou sazonalidade.

Na tabela 1, está apresentado a forma como é feita a classificação XYZ consoante o coeficiente de variância:

Classificação ABC/XYZ

A combinação destas duas análises permite ter uma ideia da importância de um dado material (mais ou menos consumido/vendido) e a sua variabilidade (consumo é estável ou não) durante o período de tempo em análise.

Tabela 2.2: Matriz ABC/XYZ

AX	AY	AZ
BX	BY	BZ
CX	CY	CZ

É boa prática recorrer ao desenho a uma tabela que combine ambas as análises, com o objetivo de facilitar a interpretação dos dados.

Esta matriz divide os artigos em 9 categorias e através da sua análise é possível conhecer a magnitude e a variabilidade do consumo dos itens em questão.

2.1.4 Sistemas *pull* vs *push*

Uma das grandes dificuldades para os gestores é saber quando encomendar um certo produto e em que quantidade. O tipo de sistemas adotados para o controlo de inventário são maioritariamente influenciados pelo tipo de material que se está a produzir. Por exemplo, a produção de automóveis é bastante complexa e demorada, por isso a sua produção não pode ser baseada só em pedidos de encomendas por parte dos clientes. Como, neste caso, o tempo de resposta a uma necessidade é bastante grande, a produção de veículos automóveis tem que ser baseada também em previsões.

Um gestor tem de ser capaz de adaptar a o sistema de produção de uma dada organização consoante as necessidades específicas dos seus clientes alvo. Sendo assim existem alguns tipos de sistemas caracterizados por: empurrado (“*push*”), puxado (“*pull*”) e sistemas empurrado-puxados (“*push/pull*”). Depois de se conhecer as vantagens e desvantagens que cada sistema, é possível estabelecer qual o melhor sistema de produção para uma dada empresa.

Sistemas “*push*”

Quando a produção é conduzida sem a confirmação da encomenda por parte do cliente, diz-se que trabalha segundo um sistema de produção empurrado (sistema *push*). Neste tipo de sistema produz-se com base em previsões.

Uma das desvantagens está associada com a falha nas previsões. Por vezes não é possível de prever com exatidão as variações de procura de ano para ano, o que leva a níveis de inventário muito grandes (elevados custos de armazenamento). O sistema “*push*” promove a produção mesmo quando esta não é necessária, o que leva à criação de muda por superprodução, transporte e inventário (Imai 1997; Team 2002).

Uma vantagem deste tipo de sistema passa pela empresa ter “assegurado” que tem sempre material suficiente em stock para responder aos pedidos dos seus clientes, prevenindo a insatisfação dos mesmos. Um exemplo de um sistema *push* são os MRP (*Material Requirements Planning*). Estes combinam análise financeira, operações e planeamento logístico. São sistemas computacionais que controlam o *scheduling* e as encomendas, com o objetivo de garantir que as matérias primas ou os materiais estão sempre disponíveis quando necessário para a produção.

Sistemas “*pull*”

Um sistema de produção considera-se puxado (sistema *pull*) quando a produção é despoletada quando as necessidades dos clientes ou dos processos a jusante são efetivamente confirmadas. Seguindo esta estratégia, as empresas só produzem o suficiente para garantir a satisfação dos pedidos do cliente.

Um vantagem deste tipo de sistemas é que não há necessidade de armazenar bens a mais dos necessários, por isso os inventários são bastante reduzidos, assim como os custos que lhes estão associados. No entanto, uma das maiores desvantagens de sistemas tipo *pull* passa pela elevada dependência com os fornecedores. Se por algum motivo houver uma falha de abastecimento, a empresa em causa não vai ser capaz de cumprir o pedido do cliente, o que levará, inevitavelmente, à sua insatisfação.

Todos os sistemas *pull* são baseados na filosofia JIT (*just in time*). Como sabemos, o JIT elimina o desperdício, reduzindo a quantidade de espaço necessária para armazenar materiais e os seus custos associados.

Sistemas "*push/pull*"

Algumas organizações usam o termo "*push-pull*" para definir a estratégia que combina o melhor dos sistemas *push* e dos sistemas *pull*. Este tipo de sistema também é conhecido por ser uma estratégia *lean* para gerir a produção ou *stocks*. É baseado em previsões mais acertadas e também ajusta os níveis de inventário/produção consoante a vendas efetivamente feitas de um dado produto. Os planeadores responsáveis em sistemas deste tipo, usam ferramentas sofisticadas para desenvolver diretrizes que vão em quanta as necessidades da produção a curto e a longo prazo.

2.2 Soluções de transporte de materiais

2.2.1 Soluções manuais

Neste capítulo, serão listados alguns tipos de soluções de transporte de materiais manuais, sendo que está implícito que todas estas soluções necessitam de um operador para funcionarem. Estes sistemas estão divididos em três categorias:

Sem capacidade de elevação: Sistemas que funcionam a um nível. Não incluem qualquer mecanismo de elevação de cargas.

Com capacidade de elevação: Sistemas que são capazes de realizar o transporte de material entre dois pontos e também empilhar material em altura caso seja necessário.

Transportadores: Os transportadores ou "*conveyors*" são soluções que implicam uma rota bem definida entre dois pontos. Só necessitam de mão de obra nos pontos de carga e descarga.

2.2.1.1 Sistemas sem capacidade de elevação

Carrinhos de mão: Também conhecidos como "*trolleys*", é sem duvida, a solução mais simples. Esta não envolve qualquer tipo de mecanismo mecânico ou elétrico.



Figura 2.2: Carrinho de mão.

Porta paletes (“pallet truck”): É o sistema de manuseamento de paletes mais utilizado. Existem sistemas manuais e elétricos. Os sistemas elétricos são normalmente do tipo em que o operador caminha ao lado do porta paletes, ou é transportado pelo mesmo. Os porta paletes costumam ter um mecanismo hidráulico de elevação, com o objetivo de impedir o contacto com o chão quando em movimento. A carga máxima ronda os 3000Kg.



27

Figura 2.3: Porta paletes.

Tratores e reboques (“tractors and tow trucks”): São tratores com pequenos reboques onde a carga vai atracada, como um pequeno comboio. São normalmente usados para deslocações horizontais de grandes distâncias.



Figura 2.4: Reboque.

2.2.1.2 Sistemas com capacidade de elevação

Empilhadores: São sistemas motorizados que permitem tanto o transporte como a elevação da carga. São os sistemas mais usados para elevação de carga e a unidade de transporte mais comum é a paleta. Existem vários tipos de modelos de empilhadores, cada um com especificações diferentes. No entanto, as principais características que os distinguem são:

- Fonte de energia (elétricos, gás ou diesel)
- O tipo de garfos
- A capacidade de elevação (altura e peso)
- A largura dos corredores requerida
- O raio de curvatura
- O tipo de mastro (simples, duplos ou triplos)

Empilhadores convencionais de contra-peso (“*counterbalanced fork lift trucks*”): São empilhadores que usam um contrapeso localizado no lado oposto da carga, com o objetivo de a contrabalançar. São veículos robustos e rápidos, sendo que os mais pequenos podem carregar 1000 kg e os maiores são capazes de carregar contentores de 45 toneladas.

Os empilhadores deste tipo utilizados em armazéns são normalmente elétricos. Estes podem atingir velocidade de 20km/h e elevam 5000 kg até aproximadamente 5 metros de altura.

Devido ao sistema de contrapeso, estes empilhadores são compridos e normalmente precisam de um raio de curvatura de aproximadamente 3.5 a 4 metros, sendo que a largura dos corredores de passagem tem que rondar os 3.5 a 4 metros também.



Figura 2.5: Empilhador convencional de contra peso.

Empilhadores retrateis (“*reach trucks*”): Este tipo de empilhadores possui garfos que estão recolhidos durante o movimento e avançam quando é preciso de pegar ou largar a carga. Estes empilhadores são acionados eletricamente e não necessitam de contrapeso, sendo assim bastante mais curtos que os empilhadores convencionais.

A capacidade de carga varia entre 1000 a 3500 kg e podem levantar cargas até 8 metros de altura. Requerem corredores de passagem de aproximadamente 2.5 metros de largura.



Figura 2.6: Empilhador retrátil.

Dentro deste tipo de empilhadores também existe os duplamente retrateis (“*double-deep trucks*”), que possuem um sistema do tipo telescópico nos garfos que permite alcançar na segunda fila em estante de dupla profundidade.

Empilhadores “Stackers”: São empilhadores de cargas pequenas, até 2000 kg, com as rodas da frente montadas numa forquilha com o mastro colocado no centro do empilhador. São acionados eletricamente e não precisam de contrapeso, por isso são bastante curtos.

Os meios de armazenagem, para serem compatíveis com este tipo de empilhador, têm de possibilitar uma entrada por baixo da carga, ao nível mais baixo. Podem levantar cargas de 2000 kg até 8 metros de altura. Requerem corredores de passagem de 2 a 2.5 metros.



Figura 2.7: Empilhador retrátil.

Empilhadores trilaterais (“*narrow aisle stackers*”): Estes empilhadores têm um sistema de rotação do mastro que lhes permite rodar os garfos para um dos lados para aceder a cargas. Assim, estes empilhadores não necessitam de rodar sobre si o que faz com que os corredores de passagem possam ser bastante estreitos (a largura é só a necessária para rodas as paletes). Podem levantar cargas de 2000 kg até uma altura de 9 metros. Requerem corredores de passagem com 1.6 a 1.9 metros de largura.



Figura 2.8: Empilhador trilateral.

Empilhadores laterais (“*free path very-narrow aisle stackers or free path high pack stacking*”): Estes empilhadores têm um mecanismo no mastro que permite aceder às cargas lateralmente, de um lado ou do outro mas não usa um mecanismo de rotação. Assim, os corredores de passagem apenas necessitam de ser ligeiramente superiores ao tamanho da paleta. Podem elevar cargas de 2000 kg até 12 metros de altura. Requerem corredores de passagem com 1.5 metros de largura. A cabine do operador tanto pode estar montada numa base fixa, ou num elevador para uma melhor visualização no acesso à carga.

Gruas empilhadoras (“*stacker cranes*”): Estes sistemas operam em carris, inferiores ou superiores, montados em cada corredor. Estes podem ser dedicados a um só corredor, ou a múltiplos



Figura 2.9: Empilhador Lateral.

corredores com a ajuda de um carro de transferência. Accede lateralmente às cargas, logo opera em corredores bastante estreitos. Normalmente precisam de estações auxiliares de carga e descarga (“*P&D pick up and deposit*”) porque não conseguem aceder ao nível do chão. Podem levantar cargas de 2000 kg a uma altura superior a 15 metros, podendo atingir em alguns casos os 30 metros. Requerem corredores de 1.5 metros de largura. Os “*stacker cranes*” são bastante rápidos e estão normalmente associados a armazéns automáticos.



Figura 2.10: Grua empilhadora.

2.2.1.3 Transportadores

Transportadores (“*conveyors*”) movimentam materiais entre dois pontos bem definidos (fixos). Podem ser utilizados para: separação/recolha, apoio a processos, transporte, acumulação de filas em espera, etc. Normalmente, os transportadores têm as seguintes características gerais:

- Fluxo elevado em rotas fixas
- Custo elevado
- Baixo consumo de energia
- Necessidade de mão de obra só para cargas e descargas
- Resposta rápida
- Possibilidade de operar em espaços confinados

Os exemplos que se seguem são focados em sistemas de transportadores direcionados a paletes.

Sistemas por gravidade

Sistemas por gravidade são os mais simples e normalmente mais baratos pois não precisam de fontes de energia ou motores. No entanto, o controlo de velocidade pode ser um fator crítico. O gradiente deve ser cuidadosamente calculado em função do atrito, para serem obtidas as velocidades desejadas. O Transportador de rolos por gravidade “*Gravity roller conveyor*” é provavelmente o tipo de transportador mais comum. Estes podem transportar desde caixas pequenas até paletes, mas a parte de baixo da carga deve ser suave e ter a capacidade de deslizar. O tipo de rolos deve ser escolhido tendo em conta a carga. Normalmente, estes tapetes requerem que 3 rolos estejam em permanente contacto com o objeto em movimento.



Figura 2.11: Transportador de rolos por gravidade.

Sistemas mecânicos motorizados

Os sistemas de transportadores mecânicos motorizados, estão normalmente associados a custos de aquisição e manutenção mais elevados comparativamente aos sistemas não motorizados. No entanto, para certos casos pode ser a melhor solução. Estes sistemas não requerem inclinação, por isso o controlo da velocidade é bastante mais fácil.

Transportador de rolos mecânico “*Powered-roller conveyors*”: São bastante similares aos transportadores de rolos anteriormente falados, mas o movimento da carga é conseguido através de motores em vez de uma inclinação (gravidade). Podem ter uma largura de 200 até 1500 milímetros e podem transportar cargas de 5 até 1500 Kg/m.



Figura 2.12: Transportador de rolos mecânico.

Transportador de correntes “*Chain conveyor*”: Este tipo de tapetes carregam a carga em dois ou mais carris de correntes e são indicados para tipos de carga bastante pesadas com formas e/ou materiais incompatíveis com os transportadores de rolos.



Figura 2.13: Transportador de correntes (dois carris).

2.2.2 Soluções automáticas- AGVs

Um AGV “Automated Guided Vehicle” é, como o nome indica, um veículo móvel auto guiado maioritariamente utilizado em ambientes que requerem o transporte de produtos. São programados para transportar matérias em rotas previamente definidas, dentro do espaço pretendido, seja este interior ou exterior. Estes surgem como uma solução alternativa à clássica empilhadora com um funcionário a operá-la.

Os sistemas baseados em AGVs em ambiente industrial têm verificado, nos últimos anos, um grande desenvolvimento tecnológico, o que torna o mercado nesta área cada vez mais competitivo. Estima-se que em 2020, o valor do mercado internacional ultrapasse os 2000 milhões de dólares [10]. As empresas, cada vez mais, optam pela implementação de soluções flexíveis e rentáveis a longo prazo, como é o caso da implementação de AGVs em aplicações de logística. Usar veículos autónomos, para o transporte desde matérias primas até produtos acabados, é uma solução que tende a reduzir, significativamente, os acidentes de trabalho, reduzindo assim os custos associados a material danificado, infraestruturas e trabalhadores. É uma solução, particularmente, vantajosa em empresas que trabalhem em dois ou três turnos devido aos elevados custos de mão de obra.

2.2.2.1 Topologias de AGVs

Atualmente, devido à sua elevada variedade de aplicações, existem vários tipos de AGVs no mercado, cada um otimizado para a sua função específica. Alguns exemplos de AGVs são: empilhadores, rebocadores, carregadores, os quais diferem nas suas propriedades mecânicas, cada um especializado numa área de aplicação [11] [12]. Estas diferentes topologias têm influência direta na eficiência com que executam o seu trabalho, daí ser essencial uma escolha adequada para cada problema. Os sistemas de AGVs disponíveis na indústria utilizam, maioritariamente, soluções standard para o transporte de material [13]. Soluções que requerem que o veículo transporte cargas, especialmente pesadas, levantam preocupações associadas aos custos e à segurança. O sistema mais comum, dos que foram anteriormente referidos, é o AGV empilhador, com algumas variações mecânicas de acordo com o tipo de carga a transportar e do movimento pretendido, isto é, vertical, horizontal ou ambos. Normalmente, quando é requerido movimento horizontal, há AGVs com rolamentos, correntes ou correias, que podem ser usados para transferir cargas entre transportadores ou realizar a transferência final, por exemplo, para uma estante. Uma solução mais simples passa por um AGV que transporta a carga em cima dele chamado de AGV de carga única. Economicamente, é vantajoso, mas tem o inconveniente de não ser independente no que toca a colocar a carga no seu topo, isto é, é necessário integrar soluções externas.



Figura 2.14: Esquerda: AGV empilhador. Direita: AGV de carga única.

Existem outras soluções para transportar material. Por exemplo, um veículo que não transporta diretamente a carga. Os AGVs mais conhecidos com estas características são os AGVs rebocadores e AGVs túneis. A principal diferença entre eles é que os AGVs rebocadores são capazes de transportar vários “carros”, enquanto que os AGVs túnel apenas transporta um “carro” de cada vez, posicionando-se por debaixo do mesmo e com a ajuda de um sistema de ganchos consegue guiar a carga ao seu destino. Estas soluções até podem conseguir transportar mais quantidade de material com menos esforço, comparativamente com o AGV empilhador. No entanto, estas soluções têm os seus inconvenientes: requerem mais espaço por não carregarem diretamente a carga e podem ser mais limitadas no que se refere à variedade de aplicações.

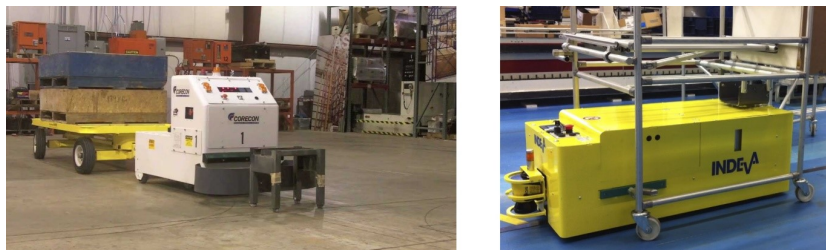


Figura 2.15: Esquerda: AGV reboque. Direita: AGV túnel.

Hoje em dia, as empresas focam-se mais em vender soluções personalizadas, modulares e flexíveis. Estes sistemas podem ser otimizados ao máximo de acordo com as suas aplicações, reduzindo desta forma os custos e desperdícios, aumentando a eficiência. Embora o investimento inicial seja superior, soluções deste tipo seguem a maneira de pensar *lean*, criando mais valor para o cliente usando menos recursos [14].

2.2.2.2 Método de navegação

Existem dois principais métodos de navegação: trajetórias fixas e trajetórias dinâmicas. As trajetórias fixas são divididas em Sistemas filoguiados e Sistemas de faixas. A filosofia por trás do seu funcionamento não difere muito, sendo que a única diferença é que nos primeiros, as

rotas dos AGVs são definidas através de condutores elétricos embutidos no chão, enquanto que nos segundos é usado fita magnética. Os sistemas filoguiados são pouco flexíveis, visto que não permitem rotas que possam ser alteradas facilmente. Este problema não se verifica em sistemas de fitas, contudo a principal desvantagem nestes, é que as fitas podem ser danificadas facilmente, levando à impossibilidade do AGV em realizar a rota pretendida.

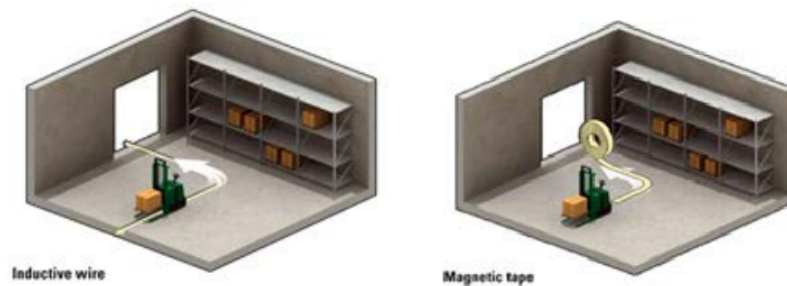


Figura 2.16: Esquerda: Sistemas filoguiados. Direita: Sistemas de faixas

Nas trajetórias dinâmicas existem Sistemas de triangulação Laser e Sistemas de marcadores. Nos sistemas de triangulação laser são colocados postes ou faróis refletores em colunas, paredes e noutros locais altos de fácil acesso ao laser usado pelo AGV. O laser executa um varrimento rotativo à procura desses postes, que são usados como pontos de referência para a localização do veículo. É necessário detetar pelo menos 3 desses faróis para ser capaz de obter a sua localização. É a forma de navegação mais fiável e flexível, no entanto, também é a mais cara. Uma solução mais barata é os Sistemas de marcadores. Esta solução consiste na marcação com pequenos discos magnéticos espaçados entre si no chão da fábrica, que têm como objetivo guiar o AGV para que este saiba a sua posição relativamente aos marcadores.

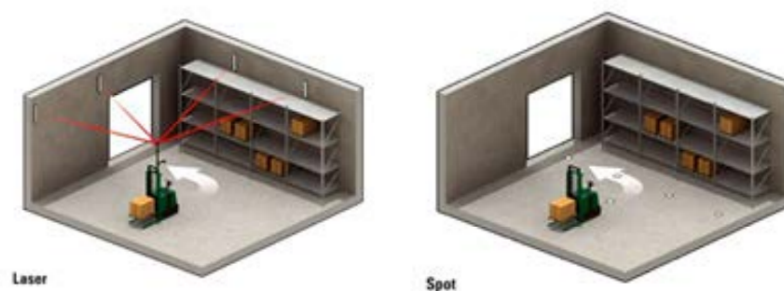


Figura 2.17: Esquerda: Sistema de triangulação laser. Direita: Sistema de marcadores.

2.3 Simulação

2.3.1 Porquê recorrer à simulação?

Simular processos complexos com um alto nível de realismo é bastante complicado e requer um elevado domínio no software de simulação em causa. Produzir resultados úteis e interessantes

com recurso a uma simulação não é uma tarefa fácil e pode consumir bastante tempo. Sendo assim, é importante analisar quais são as alternativas à simulação de modo a avaliar qual das soluções se enquadra melhor.

Existem duas alternativas à simulação: a primeira consiste em recorrer à experimentação direta no sistema real em causa. Por exemplo, o polícia pode testar um sistema que usa radares de velocidade espalhados por vários pontos para ver se o número de acidentes reportados naquela zona diminui. A segunda alternativa consiste em construir um modelo matemático do sistema em causa. Por exemplo, “*Sutton and Coats*” (1981) descrevem como técnicas de programação matemáticas são usadas para minimizar o custo da produção de aço inoxidável.

Simulação vs Experimentação direta

Comparando diretamente a simulação com a experimentação direta, a simulação apresenta as seguintes vantagens [15]:

1. **Custo:** Mesmo que desenvolver uma simulação possa demorar bastante tempo e por isso, ser um processo bastante caro também, a experimentação real também acarreta custo elevados quando envolve mão de obra e recursos dispendiosos, particularmente se algo correr mal.
2. **Tempo:** É verdade que criar modelos de simulação pode ser um processo bastante demorado, mas uma vez criados é possível simular dias, semanas, meses ou até mesmo anos em minutos de tempo computacional.
3. **Replicações:** O mundo real, muitas vezes não é possível repetir cenários exatamente com as mesmas condições. Isto leva a haja uma certa incerteza nos resultados obtidos. A simulação computacional não tem esse problema, visto que as simulações podem ser repetidas com diferentes *inputs* as vezes que forem necessárias.
4. **Segurança:** Um os objetivos da simulação de um cenário pode ser estimar o efeito de condições extremas num dado sistema. No “mundo real” as condições extremas podem equivaler a cenários perigosos ou até mesmo ilegais.
5. **Problemas legais:** Pode ser útil investigar as consequências de uma mudança de legislação. Por exemplo, pode ser interessante para uma empresa de distribuição analisar o impacto nas suas entregas se as leis que envolvem condutores de pesados fossem alteradas.

Hoje em dia, a simulação computacional é cada vez mais utilizada para estudar certo tipo de sistemas. No entanto, é importante referir que para construir simulações realistas, é necessário ter um conhecimento profundo sobre o sistema em causa.

2.3.2 Software de simulação

Neste capítulo, irão ser abordadas algumas das tecnologias de simulação passíveis de serem utilizadas no processo de cálculo da melhor solução para o problema proposto. Logisticamente,

a melhor solução possível reduz ao máximo o desperdício de espaço disponível. Um outro fator importante é a quantidade de AGVs ativos no horário de funcionamento, estimando-se que existe um rácio ideal entre o número de AGVs e a eficiência do processo a otimizar. Por vezes pode-se revelar vantajoso o uso de mais do que um AGV, devido ao fluxo de circulação de matéria prima desejado, mesmo que acarrete custos de aquisição e manutenção superiores. Este, bem como outros problemas, podem ser analisados com a ajuda de softwares de simulação que tendem a facilitar o desenvolvimento de tecnologias bastantes complexas, como é o caso de sistemas baseados em robôs moveis num ambiente industrial.

Normalmente, a abordagem a ter em problemas deste tipo é baseada em modelos analíticos ou modelos de simulação [16]. Sendo que os segundos se revelam vantajosos em processos de grande escala que envolvam várias variáveis [17].

As principais vantagens no uso de software de simulação, neste caso, passam pela deteção de falhas na coordenação de todo o sistema e pela monitorização das variáveis mais críticas. Através da simulação também é possível comparar diretamente a nova solução com atual, podendo, desta forma, tirar conclusões acerca da viabilidade da implementação da mesma.

Com o objetivo de analisar as soluções possíveis, que envolvam o transporte e armazenamento de materiais em ambiente industrial usando AGVs, o software deve ser baseado no paradigma de simulação de eventos discretos [18]. Para além disso, deve ser possível recriar, com alguma facilidade, os vários componentes presentes num ambiente industrial tais como: estantes de armazenamento de matérias primas, paletes de matéria prima e até mesmo veículos autómatos com capacidade de transportar material, assim como as suas trajetórias. Alguns exemplos de software com essas características são: Simio, Anylogic e Visual Components.

Todos os programas de simulação que foram anteriormente referidos podem desempenhar com sucesso a simulação do ambiente desejado, no entanto, é bastante importante a escolha do software que melhor se adequa ao problema proposto. Como, não há a melhor ferramenta para todos os casos, a comparação direta entre estes programas torna-se complicada. Para além disso, só é possível ter opinião formada sobre como as funcionalidades são entregues ao utilizador, o que é possível fazer em cada um deles e com que facilidade, experimentando os softwares. Mesmo assim, irá ser feito um levantamento das principais características, tendo em conta os pontos fortes e fracos de cada um destes softwares. Note-se que a informação que se segue pode ficar desatualizada devido à constante evolução das funcionalidades e das interfaces de cada um destes programas por parte das equipas de desenvolvimento deste tipo de software.

2.3.2.1 Simio

Simio é um software, desenvolvido em 2007, baseado em objetos inteligentes [19]. Estes são “construídos” por modeladores e podem ser usados em múltiplos projetos associados à modelagem. Os objetos podem ser armazenados em bibliotecas e podem ser facilmente partilhados com outros utilizadores. Ao contrário de alguns programas orientados a objetos, no Simio o utilizador não tem que escrever qualquer tipo de código de programação, visto que o processo de criar um objeto é completamente gráfico [20] [21]. A forma como se cria um objeto no Simio é bastante

similar à forma como se cria um modelo. De facto, não existe qualquer diferença entre um objeto e um modelo. Um veículo, um indivíduo ou qualquer uma outra entidade num sistema são exemplos de objetos possíveis e, a combinação de todos eles, pode representar os componentes do sistema em análise. Sendo assim podemos afirmar que a simulação se aproxima muito ao sistema “real” revelando-se bastante útil em situações onde a apresentação da simulação é feita para indivíduos não familiarizados com programas deste tipo.

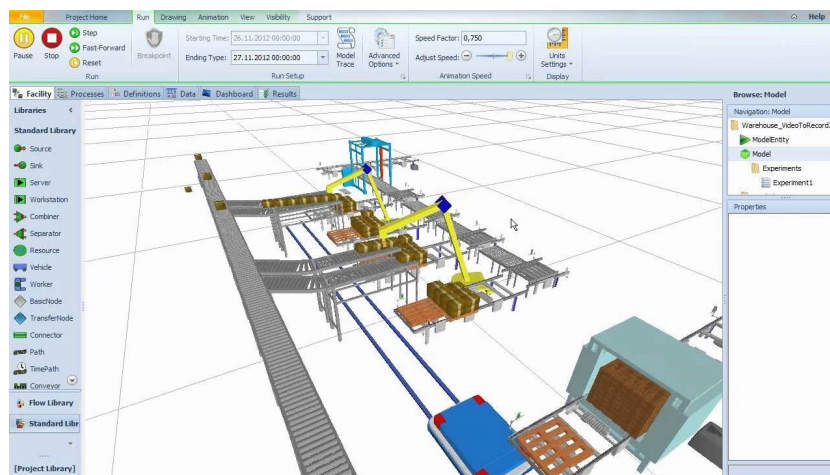


Figura 2.18: Simulação 3D em Simio

No Simio, a animação e a lógica dos modelos são construídas num único passo, tornando o processo de modelação bastante intuitivo. Para além disso, as animações podem ser utilizadas para representar a mudança de estado de um objeto em particular. O Simio é capaz não só de suportar a típica animação em 2D, como a animação em 3D. Sendo que durante o processo de modelação, o utilizador pode facilmente alternar entre 2D e 3D pressionando as teclas “2” e “3” do teclado. O software permite uma ligação direta ao “armazém” da Google, uma biblioteca de símbolos gráficos para objetos animados em três dimensões.

O Simio oferece dois modos básicos para executar modelos, sendo eles: o modelo interativo e o modelo experimental. No primeiro, é possível observar o modelo animado a ser executado, o que é útil para situações onde se está a construir e a validar o modelo. No segundo, é possível definir uma ou mais propriedades do modelo que se pretende alterar com o objetivo de observar o impacto no desempenho do sistema. De acordo com [19]: apesar do Simio incorporar um número de características inovadoras, apenas o tempo dirá se esta ferramenta “faz a ponte” em muitas questões práticas que devem ser abordadas para desencadear uma mudança de paradigma no que toca à forma como os utilizadores constroem modelos.

Atualmente não há muitos estudos que usem o Simio como ferramenta para modelar sistemas. Mesmo assim é possível encontrar alguns que usaram esta ferramenta para “atacar” outros problemas, como é exemplo: Pavel VIK, Luis Dias, Guilherme Pereira, José Oliveira, Ricardo Abreu (2011) usaram simio para modelar soluções de sistemas automáticos para uma fábrica de cimento

[22], Captain Christopher (USAF) (2016) simulou uma rotina de manutenção de aviões F-16 da força aérea dos Estados Unidos [23].

2.3.2.2 AnyLogic

Segundo [24], a AnyLogic é um software especializado em simulações dinâmicas. A empresa afirma que AnyLogic é o primeiro e único software que une sistemas dinâmicos [25], eventos discretos [26] e métodos “Agente based Modeling”(ABM) [27] tudo numa só linguagem de programação e num só ambiente de desenvolvimento permitindo simulações discretas ou contínuas, a um nível micro ou macro. A linguagem utilizada é bastante flexível e permite ao utilizador captar a complexidade do negócio, economia e sistemas sociais ao nível de detalhe pretendido de modo a ganhar uma melhor perceção em relação aos processos constituintes de uma empresa ou organização.

A interface gráfica, ferramentas e bibliotecas permitem ao utilizador modelar rapidamente em diferentes áreas de interesse, tais como: indústria e logística, processos de negócio, recursos humanos e análise de comportamento de pacientes/consumidores. Também é referido em [28] que, tal como no Simio, é possível integrar bibliotecas pré-desenvolvidas de modo a reciclar trabalho que já foi feito em novos projetos já que têm uma estrutura completamente orientada a objetos.

Após uma pesquisa mais detalhada à cerca da usabilidade deste software, chegou-se à conclusão que comparativamente às outras duas tecnologias, AnyLogic é o mais difícil de utilizar pois requer um grande estudo e leitura de documentação, tutorias e envolve muita programação. No entanto pode ser bastante recompensador dominar tal software até porque esta empresa tem clientes bastante conhecidos tais como: Toyota, Panasonic, Rolls-Royce, IBM, Louvre, Intel, Delloite, UEFA, General Motors, Johnson & Johnson, US Navy, Volvo, HP, Red Cross, NASA [29].

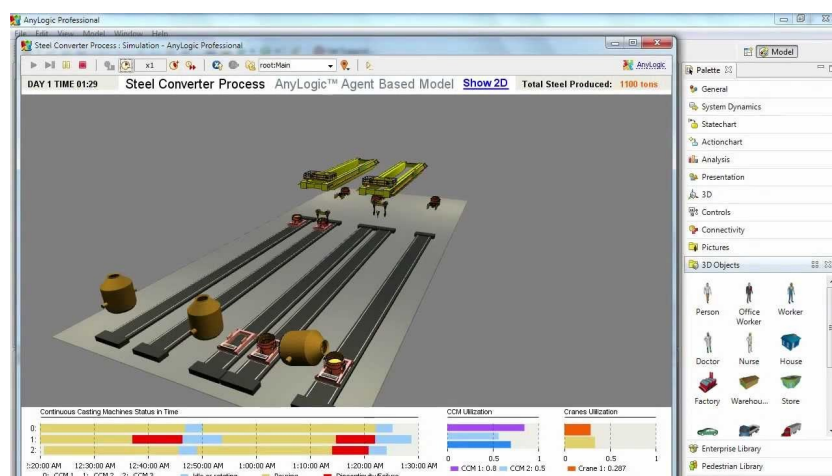


Figura 2.19: Simulação 3D usando AnyLogic

2.3.2.3 Visual Components

A empresa foi fundada em 1999 por um conjunto de especialistas em simulação que tinham como objetivo criar o primeiro software de simulação em três dimensões com componentes reutilizáveis, daí terem começado com uma plataforma aberta e flexível que combinasse robótica com materiais [30].

A empresa disponibiliza três produtos Visual Components 4.0, sendo eles: "Essenciais", "Professional" e "Premium". Na descrição que se segue, o "Essenciais" será o principal foco, visto que é o que tem as características “base” e tem vindo a ganhar bastante popularidade, desde a sua última atualização no verão de 2016.

Segundo [30], o software tem como objetivo não ser só uma ferramenta do ponto de vista da engenharia, mas também ser competitivo nas áreas de marketing e vendas. Isto é conseguido através da capacidade que este tem em fazer apresentações bastante precisas e atrativas sem grande esforço. Toda a funcionalidade deste produto está dividida em quatro grandes secções, baseadas no tipo de tarefa ou atividade a desempenhar.

Home é o principal ecrã de trabalho onde estão contidas as principais ferramentas para tornar possível a realização de uma simulação. Aqui, o utilizador pode seleccionar e posicionar entidades ao *layout*, assim como editar os seus atributos. O catálogo disponibilizado, intitulado de eCatalog, contém milhares de modelos 3D de robôs, ferramentas, acessórios e outros equipamentos usados pelas fábricas, em geral. Também é possível exportar para vídeo, PDF 3D ou gráficos vetoriais juntamente com outros recursos comuns.

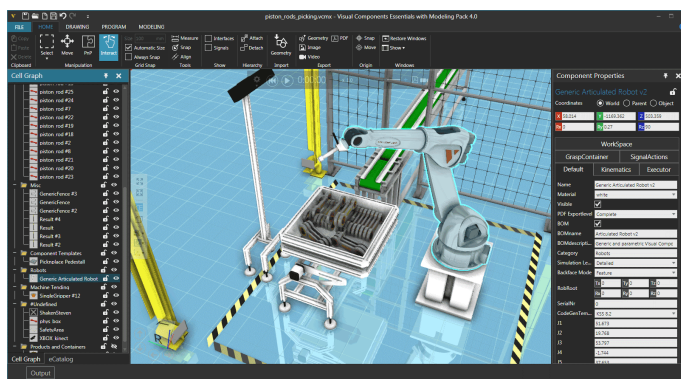


Figura 2.20: Visual Components, Home

Drawing é a secção dedicada aos desenhos em duas dimensões. Estes são gerados diretamente a partir da renderização 3D, podendo ser editados, se necessário. Uma lista de materiais é gerada e também adicionada ao desenho. A imagem criada pode ser facilmente impressa ou exportada para os formatos PDF, DWG ou DXF.

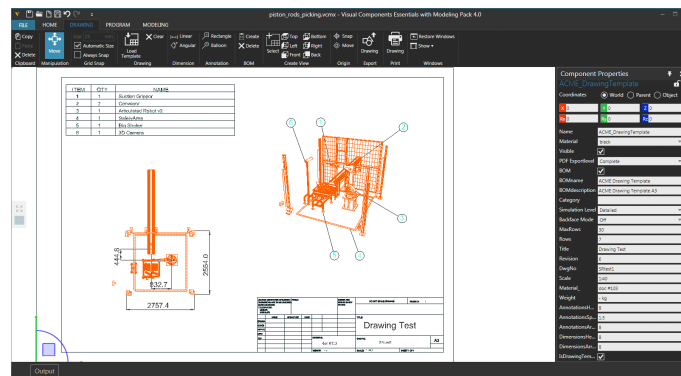


Figura 2.21: Visual Components, Drawing

Program é responsável por criar rotinas para os robôs seguirem ao longo da simulação. É neste ponto onde todas as características, sinais e interfaces disponíveis para um certo robô podem ser acedidas e configuradas.

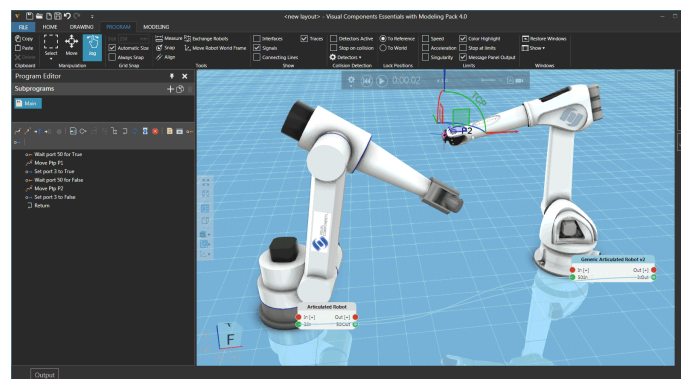


Figura 2.22: Visual Components, Program

Modeling, esta secção é dedicada à customização avançada de todos os elementos presentes na simulação. O utilizador pode alterar a geometria dos elementos, modificar parâmetros cinemáticos de juntas, definir ações ou sinais personalizados, e, essencialmente, alterar o comportamento dos robôs ou de qualquer outra entidade presente na simulação.

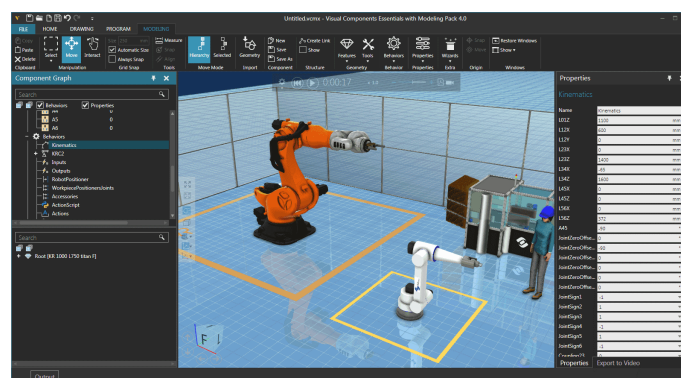


Figura 2.23: Visual Components, Modeling

Nesta primeira abordagem, e comparando os programas de simulação referidos, o Visual Components é o mais direcionado à robótica e automação industrial. Mesmo conseguindo desempenhar tarefas e construir simulações nas diferentes áreas de interesse, parece ser bastante mais útil no que toca à simulação de baixo nível de componentes robóticos e das suas interações com diferentes agentes. Dito isto, podemos concluir que no Simio e no Anylogics é possível fazer simulações interessantes a um alto nível com alguma facilidade. No entanto, se for necessário simular com mais pormenor as propriedades de algum componente autónomo, o Visual Components é o mais indicado. Este gera código para manipuladores ou autómatos programáveis e pode simular a dinâmica de objetos, ou seja, ter em conta atritos, massas, etc.

Capítulo 3

Metodologia e ferramentas usadas

3.1 Metodologia

A metodologia não é mais do que um conjunto estruturado de práticas que foram definidas para atingir um determinado fim ou objetivo. É o campo que estuda os melhores métodos a praticar numa dada situação, tendo uma elevada importância no que toca à abordagem em problemas de engenharia. Sendo assim, segue as principais etapas da forma como este problema foi abordado.

A fase inicial passou pelo enquadramento na empresa em questão, em particular nas áreas de maior interesse nos casos de estudos: armazéns de matérias primas, armazéns intermédios de borracha e as zonas de inspeção e palatização final. No entanto, foram feitas várias visitas, não só às áreas de maior interesse, mas também aos diferentes setores constituintes da fábrica, com o objetivo de ganhar uma visão geral de todo o processo produtivo. Nesse contexto, foram também apresentados os principais responsáveis e coordenadores das várias secções para que cada um pudesse expor a sua perspetiva do problema em causa.

Caso de estudo 1- “Concept for automatic transport from RMW to production buffer”

Após a integração na empresa, procedeu-se a uma análise exaustiva de todo tipo de dados relacionados com os abastecimentos do *buffer* de borracha e os consumos das respetivas misturadoras. Realizou-se um estudo relativo à forma como os diferentes materiais eram consumidos de forma a identificar o nível de variação desse consumo ao longo dos meses e quais as matérias primas mais críticas para a produção.

Depois realizou-se uma análise logística do *layout* atual no *buffer* que teve em consideração como os materiais eram distribuídos pelo armazém intermédio e a forma como estavam armazenados. Sendo assim, foi possível identificar os principais inconvenientes do *layout* atual de modo a servirem como base para as soluções que posteriormente seriam propostas.

Tendo em conta os resultados obtidos na fase anterior, procurou-se as melhores soluções que cumpram os requisitos impostos pela empresa e solucionem uma grande parte dos inconvenientes anteriormente detetados. Sendo assim, foi proposto uma mudança de *layout* no armazém intermédio de borracha em estudo assim como uma redistribuição do material pelo mesmo de forma a

satisfazer melhor as necessidades das misturadoras a jusante (produção).

Após ter a proposta do novo *layout* e distribuição dos materiais bem definidos, procedeu-se à modelação dos cenários de simulação de maior interesse. Nesse contexto, foram definidos cenários onde fosse possível analisar a viabilidade das soluções que incluíssem AGVs no abastecimento do *buffer* de borrachas. As simulações também tinham como objetivo comparar os veículos autónomos com as típicas empilhadoras avaliando a sua performance.

A fase final consistiu na análise e comparação de todos os resultados da simulação.

Caso de estudo 2- “Concept for automatic transport of tire pallets from palletization to warehouse”

Após a integração na empresa, procedeu-se a uma recolha de todos os requisitos e inputs relevantes para o projeto em causa. Várias reuniões foram realizadas com os responsáveis, para que houvesse concordância na quantidade de cenários a simular assim como os dados importantes a retirar das simulações do caso de estudo em causa.

Depois de reunir toda a informação relevante, foi feito um estudo inicial que tinha como objetivo identificar todos os inconvenientes do *layout* inicial. Conclui-se que era necessário realizar certos ajustes na posição das torres de paletização assim como redefinir largura dos corredores de modo a tonar o espaço compatível com veículos autónomos.

Procedeu-se então a uma divisão do *layout* em áreas mais pequenas, de modo a facilitar a análise do problema e definir o tipo de soluções de transporte de paletes a usar em cada uma das áreas.

Chegando a uma concordância, tanto a nível de dados como dos *layouts* a simular, definiu-se os cenários de maior interesse e procedeu-se à construção dos modelos de simulação e à sua implementação.

Finalmente procedeu-se à análise dos resultados da simulação e seleção dos dados de maior importância para o projeto em causa.

3.2 Ferramentas usadas

Nesta secção, será feito um apanhado de todas as ferramentas utilizadas no desenvolver desta dissertação em ambiente empresarial, dando principal destaque ao software de simulação usado, o *Simio*. Entre todas as opções de software deste género referidas em 2.3.2, o *Simio* revelou ser a mais conveniente visto que mostrou ser o mais adequado para os casos de estudo que se seguem. Para além disso, é um software bastante “*User friendly*” já que não requer a aprendizagem de nenhuma linguagem de programação complexa. Sendo assim, será feita uma breve introdução ao software com o objetivo de realçar as suas principais funções.

Simio, é um acrónimo para “*Simulation Modeling framework based on Intelligent Objects*”. É um software de simulação cujo fundador também criou e desenvolveu outros softwares de simulação, tais como o *ARENA* e o *SIMIAN*.

Este software está disponível numa versão gratuita que serve principalmente para aprender, praticar e também testar pequenas simulações. No entanto esta versão tem uma limitação de modelos e objetos. Quando este limite é ultrapassado, deixa de ser possível guardar o projeto. As versões comerciais deste software removem esses limites, acrescentando também algumas funcionalidades. A versão usada no desenvolvimento deste trabalho foi 8.139.13727 (64 bit).

Assim como outros tipos de software de simulação, o *Simio* pode ser usado para prever o comportamento de um sistema quando as diferentes variáveis ou propriedades envolvidas nele mudam, permitindo desta forma que os utilizadores consigam observar, atempadamente, o impacto de possíveis alterações futuras.

Os modelos de simulação em *Simio* são normalmente construídos usando programação orientada a objetos. Habitualmente, os modelos de simulação são construídos segundo um paradigma de modelação orientado ao processo. Por outras palavras, o modelo é construído através da definição dos elementos que definem o estado do sistema e posteriormente são construídos blocos associados ao fluxo do processo que influenciam estes elementos. O fluxo do processo pode ser representado por fluxogramas, no entanto, no *Simio* uma abordagem orientada ao objeto é suportada. Objetos são construídos com lógica e podem interagir com outros objetos, mesmo sendo de diferentes tipos. Os objetos são caracterizados pelas suas propriedades e estados. As propriedades são estáticas, isto é, o seu valor inicial pode ser alterado a priori, mas durante o correr da simulação estas não alteram o seu valor. O estado de um dado objeto, por outro lado, pode mudar o seu valor durante o correr da simulação, apresentando um comportamento mais dinâmico. Em geral, programação orientada a objetos é uma abordagem diferente no que toca a simulação, mas revela ser bastante útil para certos casos, permitindo que os modelos de simulação possam ser desenhados de forma apelativa com objetos hierarquicamente organizados.

Na “*facility window*” é onde os objetos são colocados na simulação e interagem entre si. Esta é apresentada numa visualização 2D ou 3D. A figura 3.1 ilustra um exemplo do mesmo modelo visualizado em 2D e 3D.

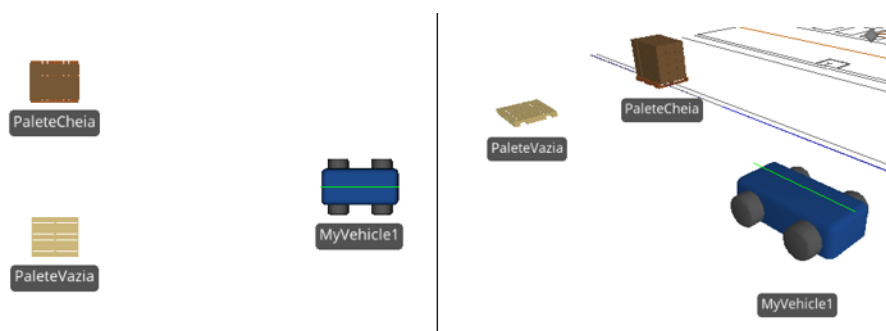


Figura 3.1: Visualização 2D vs 3D em *Simio*

Cada objeto, para além da sua lógica interna, é também definido pelo seu símbolo gráfico e pela sua animação. Uma animação não é mais do que vários símbolos associados ao mesmo objeto que mudam entre si consoante uma regra previamente definida. De notar que, como já foi dito em 2.3, o *Simio* tem uma extensa biblioteca de símbolos para todo o tipo de imagens. Este

software também aceita objetos modelados a 3D (por exemplo em *SolidWorks*) e tem a “Google 3D Warehouse” diretamente integrada.

O tipo de objetos que podem fazer parte de uma simulação estão organizados em classes, sendo elas:

- **Objetos fixos:** São objetos que tem uma localização fixa no modelo. Podem representar máquinas, estações de trabalho, etc. . .
- **Entidades:** Estes objetos são dinamicamente criados e destruídos no decorrer da simulação, e podem deslocar-se em todo o espaço 3D da simulação. São normalmente pessoas, materiais, paletes, etc. . .
- **Mecanismos transportadores:** São um tipo de entidade especial que é usada para transportar outras entidades entre duas localizações. Os veículos usados para transportar material, tais como empilhadoras, são modelados usando esta classe.
- **Ligações:** Objetos usados para mover entidades por um caminho bem definido. As rotas de uma empilhadora ou de um AGV são modelados usando esta classe.
- **Nós:** Estes definem o ponto inicial e o final de uma certa ligação. São usados para transferir para dentro ou para fora um dado objeto ou entidade da classe de objetos fixos.

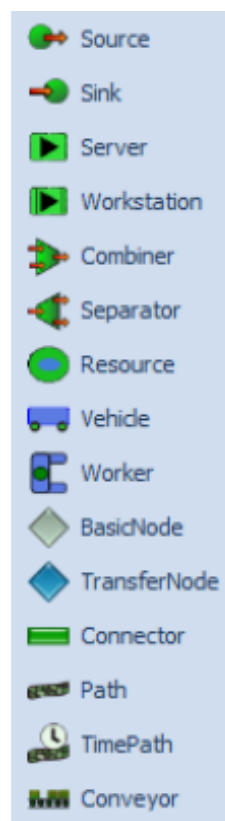
De notar que se pode definir e customizar diferentes tipos de objetos simplesmente alterando a sua logica interna. Estes objetos customizados podem ser gravados e utilizados em outros modelos de simulação.

O *Simio* tem duas bibliotecas de objetos: a “*standard library*” e a “*flow library*”. A “*flow library*” é uma biblioteca que contém objetos que possam ser usados num sistema de processos contínuos. Por exemplo: um sistema que contém uma linha de produção onde varias garrafas estão continuamente a ser enchidas por um liquido que está armazenado um tanque. Este cenário pode ser modelado com a ajuda da biblioteca “*flow*”. Mesmo que esta biblioteca possa ser bastante útil, para muitas aplicações, a “*standard library*” é suficiente. É nesta biblioteca onde estão contidos os objetos mais básicos do *Simio*, tabela 3.1.

Os símbolos associados por definição a cada um destes objetos estão representados na imagem 3.2.

Tabela 3.1: Objetos da biblioteca *standard* do *Simio*

Name	Class	Description
Source	Fixed	Creates entities that arrive to the,system.
Sink	Fixed	Destroys entities and records,statistics.
Server	Fixed	Models a multi-channel service process,with input/output queues.
Resource	Fixed	Models a resource that can be used by,other objects.
Combiner	Fixed	Combines entities in batches.
Separator	Fixed	Separates entities from batches.
Workstation	Fixed	Models a 3-phase workstation with setup,,processing, and teardown.
Vehicle	Transporter	Carries entities between fixed objects.
BasicNode	Node	A simple intersection of links.
TransferNode	Node	An intersection where entities set,destination and wait on transporters.
Connector	Link	A zero-time connection between two,nodes.
Path	Link	A pathway between two nodes where,entities travel based on speed.
TimePath	Link	A pathway with a specified travel time.
Conveyor	Link	An accumulating/non-accumulating,conveyor device.

Figura 3.2: Imagens do objetos da biblioteca *standard* do *Simio*

Para a criação de novos objetos, existem três possibilidades: o utilizador pode alterar as definições de um objeto existente, pode criar uma subclasse de um objeto existente ou pode criar um “objeto base” que é definido segundo uma serie de processos. Os processos são constituídos por *steps*, *elements* e *tokens*. Um *token* é uma entidade que “viaja” entre os *steps* que executam

uma certa ação. Os *elements* são os componentes mais básicos de um objeto que têm como tarefas gerar filas de espera, falhas, estatísticas assim como operações que incluam importar e exportar informação. Em suma, um processo é uma série de ações ao longo do tempo que podem mudar o estado de um sistema. No *Simio*, um processo é definido usando um fluxograma que inclui *steps* que são executados por *tokens* e podem mudar o estado de um ou vários elementos.

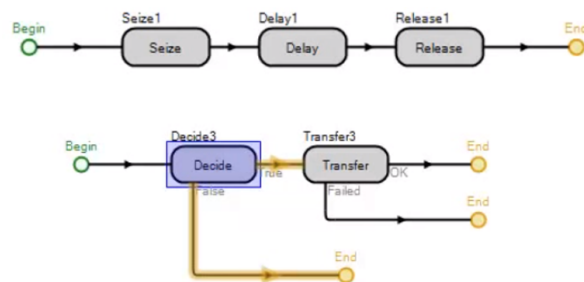


Figura 3.3: Exemplo de dois processos em *Simio*

Os *steps* podem executar ações tais como:

- Atrasar por um tempo específico;
- Capturar ou libertar um dado objeto;
- Esperar que um evento ocorra;
- Tomar decisões baseadas em condições ou probabilidade;
- Transferir uma entidade para dentro de uma estação;
- ect.

No que toca ao formato de dados e informação, o *Simio* consegue tanto importar como exportar dados em folhas de Excel. De notar que o utilizador também pode customizar o tipo de integração de dados através de programação .NET.

Uma outra funcionalidade bastante importante do *Simio* é o facto de as suas simulações suportarem aleatoriedade. Através do uso de números aleatórios, é possível criar cenários mais próximos da realidade ou simplesmente observar como um sistema responde a uma certa variância de uma variável ou propriedade. O modo como se define variáveis aleatórias segue distribuições discretas ou contínuas com parâmetros configuráveis. Alguns exemplos dessas distribuições são: normal, poisson, uniforme, triangular. . .

O *Simio* tem duas formas principais de correr as suas simulações. A primeira tem carácter visual e permite a visualização em tempo real do cenário previamente definido. Esta tem lugar na “*facility window*” e é usada para observar a interação de todos os objetos presentes na simulação. Enquanto a simulação está a correr é possível alterar a velocidade da mesma. O *Simio* também oferece uma ferramenta de gravação onde é possível exportar para vários formatos de vídeo, revelando-se

particularmente útil quando se pretende apresentar ou demonstrar o funcionamento de um novo processo perante um público não familiarizado no assunto.

O segundo método de correr as simulações é através de “*experiments*” ou experiências. Este consiste numa forma mais prática e rápida de correr um cenário várias vezes com inputs diferentes de uma só vez. O utilizador define os valores que deseja nas variáveis de controlo da simulação e também escolhe quais os outputs relevantes da mesma. Assim, numa só janela, é possível observar todos os resultados de todos os cenários que foram simulados. Na figura 3.4 segue um exemplo de um “*experimente*” em *Simio*.

Scenario			Replications		Controls						Responses				
	Name	Status	Required	Completed	Num...	LoadTim...	UnloadTim...	VehicleVel...	RideCap...	ScheduleType	VehicleUtil	avgWIP	finalWIP	Stability	avgVehicleDist...
☐	1_AGV	Idle	1	0 of 1	1	15	15	1	1	AGVWeek					
☐	2_AGV	Idle	1	0 of 1	2	15	15	1	1	AGVWeek					
☐	3_AGV	Idle	1	0 of 1	3	15	15	1	1	AGVWeek					
☒	4_AGV	Idle	1	1 of 1	4	15	15	1	1	AGVWeek	100.178	1899.43	3781	87.9282	414.305
☒	5_AGV	Idle	1	1 of 1	5	15	15	1	1	AGVWeek	100.207	932.872	1871	94.0264	438.797
☒	6_AGV	Idle	1	1 of 1	6	15	15	1	1	AGVWeek	75.0492	9.60816	10	99.9681	306.272

Figura 3.4: Experiência em *Simio*

Como se pode observar, cada linha corresponde a um cenário diferente. Os inputs das simulações são controlados pelas variáveis de controlo. As respostas do sistema em estudo podem ser analisadas na tabela mais à direita da figura 3.4.

A visão geral do software de simulação oferecida neste capítulo deve apresentar as principais bases para uma melhor compreensão das metodologias que futuramente serão aplicadas.

Em relação às outras ferramentas usadas do decorrer desta dissertação, o Microsoft Excel da Microsoft Office tem um lugar de destaque. Este foi usado para toda a análise e organização de dados relevantes nos casos de estudo que se seguem. Esta ferramenta teve principal impacto numa análise de fluxos que foi feita e na compreensão e cálculos relevantes à sua interpretação. O Microsoft Excel também foi usado para a apresentação de resultados tanto em tabelas como em gráficos.

Capítulo 4

Caso de estudo 1: Buffers de Borracha

4.1 Apresentação do problema

Numa fábrica, cada vez mais há o interesse em implementar novas tecnologias de modo a aumentar a eficiência e rentabilidade dos processos internos. Neste problema em específico, irá ser averiguado não só a possibilidade de melhorar a organização e distribuição dos diferentes materiais no *buffer* como também implementar um sistema de AGVs que terá como objetivo fazer o transporte de matéria prima entre dois armazéns.

Na Continental Mabor existem vários *buffers* a servir diferentes áreas de produção. O armazém intermédio alvo deste estudo encontra-se entre o armazém de matérias primas e uma zona de misturação. Nessa zona de misturação constam dez misturadoras, estando estas máquinas numeradas de 0 a 9. Note-se que a matéria prima em causa é borracha e encontra-se armazenada na zona circundada a verde na figura [4.1](#).

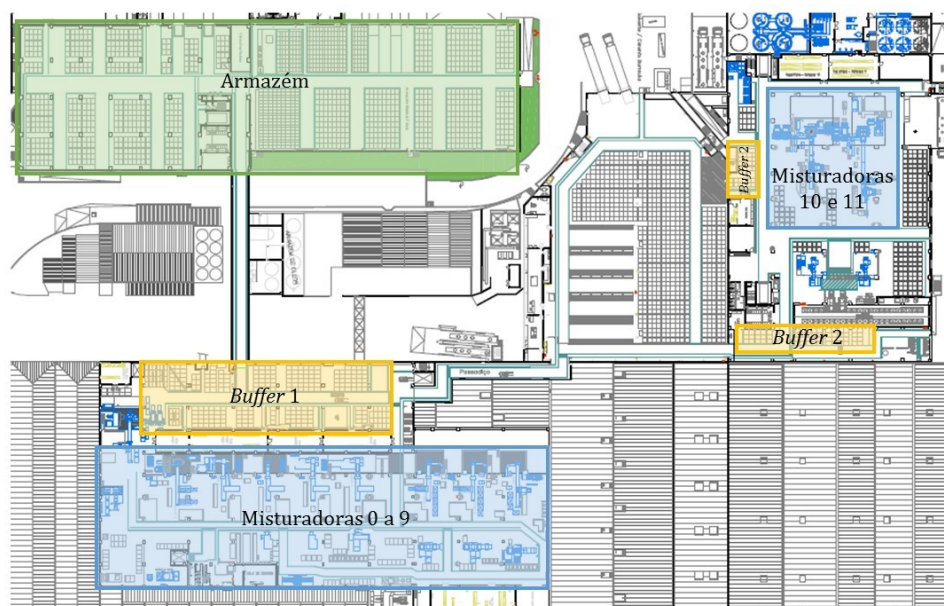


Figura 4.1: Planta do armazém, *buffer* e zona de produção

Com o objetivo de simplificar, resolveu-se chamar *buffer 1*, ou em abreviatura B1, ao armazém intermédio que fornece borracha às misturadoras 0 a 9 (zona amarela). Também na figura 4.1 estão sinalizadas a azul as zonas de produção, em particular as áreas de misturação.

O *buffer 1* tem cerca de 935 metros quadrados e nele constam quase 40 materiais distintos identificados através de um código. O facto da produção ser sensível à sazonalidade influencia não só o número de materiais como também os códigos presentes no *buffer*, isto é, durante a estação de inverno produzem-se pneus para o verão que possuem características diferentes dos pneus de inverno resultando em receitas de misturação relativamente diferentes.

Atualmente, a alimentação do *buffer* é garantida por empilhadoras convencionais (empilhadoras de contrapeso) sendo que, por turno, existe em média 0.7 a 1 operadores responsáveis pelo abastecimento do mesmo. O método de reposição de stock é manual, mais concretamente o operador reabastece o material X ao notar a sua falta.

O transporte das borrachas presentes nos armazéns intermédios até às misturadoras também é realizado através de empilhadoras, porém os operadores, neste caso, são funcionários afetos ao setor da produção.

A misturação não é mais do que a formação de um bolo onde se combinam diferentes materiais por forma a obter uma pasta de borracha. O processo divide-se em duas etapas fundamentais. Numa primeira fase, mistura-se apenas borrachas com enchedores e a temperatura atinge os 170 graus celsius. O resultado é um tapete de borracha denominado por *master*. Este é reservado em paletes até seguir para a segunda fase de misturação. Nesta última etapa são acrescentados os agentes de vulcanização e a temperatura não ultrapassa 115 graus celsius. O produto apresenta-se sob a mesma forma que o *master*, contudo é designando por *final*.

A necessidade da existência de duas fases de mistura deve-se à possibilidade de vulcanização precoce dos agentes químicos adicionados na segunda etapa caso fossem submetidos a temperaturas superiores a 150 graus celsius.

Cada misturadora contém um plano diário de produção, definido pelos responsáveis pela mistura. No mostrador de cada máquina é revelada a receita, nomeadamente os códigos dos materiais necessários. Consoante essa informação, os operadores dirigem-se ao *buffer* e retiram as paletes com os materiais que necessitam. Ao serem totalmente consumidas, as paletes vazias retornam ao *buffer* sendo colocadas na chamada área de vazios. Existe também a possibilidade de regressarem ao armazém intermédio paletes incompletas. Apesar de, por vezes, um material ser partilhado por misturadoras adjacentes, nem sempre é possível consumir uma paleta inteira do mesmo material já que a receita é ditada pela máquina em quilos e não em número de paletes.

Posto isto, é necessário reter que nestes armazéns intermédios para além de espaço para armazenar paletes com material é ainda fundamental existir uma área reservada para paletes vazias, denominada por área de vazios e um espaço para devoluções de paletes incompletas.

Tendo esta dissertação como alvo de estudo todo o processo de abastecimento e consumo deste *buffer* (B1), segue os principais requisitos para o mesmo:

- O espaço deve ser o mais “AGV friendly” possível. Idealmente, os veículos autónomos não partilham o seu espaço de circulação com empilhadoras ou humanos, isto porque estas transportadoras têm restrições legais de velocidade quando circulam em espaços partilhados com outro tipo de viaturas e sempre que se deparam com estas param, refletindo-se numa diminuição acentuada de produtividade. Evidentemente que um espaço reservado apenas para um AGV é utópico neste caso devido à falta de espaço disponível, como tal devemos optar por um *layout* que permita o mínimo de interação possível.
- Tanto o local de carga como o de descarga de um dado material deve ser minimamente standard, isto é, deve existir uma estrutura ou pelo menos uns batentes de modo a facilitar o posicionamento das paletes.
- Contrariamente ao que acontece atualmente, deve vigorar, se possível, um sistema de sequenciamento FIFO – *First in, First out*.

4.2 Análise de fluxos de material

Em primeiro lugar, foi feito um levantamento dos materiais que constavam no *buffer* de borrachas. Assim, constatarem-se um total de 36 materiais diferentes, sendo este um valor variável por ser dependente das ordens de produção. Por outras palavras, um material só deve constar no *buffer* se vier a ser consumido pelos misturados num futuro próximo. Caso esse material deixe de constar nas ordens de produção, o mesmo deve ser retirado do *buffer*.

Em seguida, foram analisadas a capacidade deste armazém em número de paletes. Verificou-se que o B1 tem cerca de 401 paletes. A natureza ímpar deste número deve-se ao facto de existirem materiais não empilháveis.

Material	Peso	Capacidade do <i>buffer</i> B1		Consumo 0 a 9		Distribuição do consumo por material	Tempo até stock out	Tempo por paleta
	kg	kg	paletes	kg	paletes		dias	d:hh:mm
CE1811	1198	0	0	3642.4	3.0	0.07%	0.00	0:00:00
CE3418	960	0	0	109720.9	114.3	2.68%	0.00	0:00:00
CE3478	960	0	0	4927.9	5.1	0.12%	0.00	0:00:00
CE2604	540	2160	4	132842.1	246.0	5.78%	0.50	0:03:01
CE1001	540	5400	10	226747.7	419.9	9.86%	0.74	0:01:46
CE2602	1020	8160	8	209764.8	205.7	4.83%	1.21	0:03:37
CE1610	1050	25200	24	623765.6	594.1	13.95%	1.25	0:01:15
CE1601	1260	12600	10	281869.78	223.7	5.25%	1.39	0:03:19
CE3302	1050	12600	12	216186.6	205.9	4.83%	1.81	0:03:36
CE3854	1260	12600	10	208505.5	165.5	3.89%	1.87	0:04:29
CN2037	1260	40320	32	634991.85	504.0	11.83%	1.97	0:01:28
CN2049	1260	37800	30	505850.1	401.5	9.43%	2.32	0:01:51
CE1604	1250	15000	12	165150.2	132.1	3.10%	2.82	0:05:37
CR4101	1250	12500	10	130853.9	104.7	2.46%	2.96	0:07:06
CE3494	1200	12000	10	119443.8	99.5	2.34%	3.11	0:07:28
CR4113	1000	8000	8	72222.1	72.2	1.70%	3.43	0:10:18
CE3471	1150	13800	12	120900.7	105.1	2.47%	3.54	0:07:04
CE3460	960	9600	10	83936.8	87.4	2.05%	3.55	0:08:30
CR4103	1250	5000	4	35863.8	28.7	0.67%	4.32	1:01:55
CE3446	1050	12600	12	76393.6	72.8	1.71%	5.11	0:10:13
CE3463	960	7680	8	39292.2	40.9	0.96%	6.06	0:18:10
CE3433	1050	12600	12	54859.6	52.2	1.23%	7.12	0:14:14
CN2007	1260	50400	40	190010.1	150.8	3.54%	8.22	0:04:56
CE3301	1200	14400	12	45714	38.1	0.89%	9.77	0:19:31
CE3860	1260	10080	8	31063.8	24.7	0.58%	10.06	1:06:10
CE2501	540	2700	5	7778.2	14.4	0.34%	10.76	2:03:39
CE3606	1050	12600	12	36205.6	34.5	0.81%	10.79	0:21:34
CE1606	540	3240	6	9222.2	17.1	0.40%	10.89	1:19:33
CE3843	1050	8400	8	23436.5	22.3	0.52%	11.11	1:09:19
CE3839	1260	15120	12	27544.5	21.9	0.51%	17.02	1:10:02
CE1605	1260	15120	12	26173.199	20.8	0.49%	17.91	1:11:49
CE3836	1260	10080	8	11771.1	9.3	0.22%	26.55	3:07:38
CE1007	768	4608	6	4023	5.2	0.12%	35.51	5:22:01
CE3835	1250	15000	12	10862.6	8.7	0.20%	42.81	3:13:36
CE3430	1050	10500	10	3738.1	3.6	0.08%	87.08	8:16:58
CE3605	1250	15000	12	4593.3	3.7	0.09%	101.23	8:10:28

Figura 4.3: Tabela analise de fluxos do *buffer* 1 durante o mês de Março de 2017

As colunas “Consumo” mostram a quantidade consumida no mês de Março de cada material nas misturadoras 0 à 9, em paletes e em quilogramas.

A “Distribuição do consumo por material” representa como está distribuído, em termos percentuais, o consumo de cada um dos materiais nas misturadoras 0 à 9. Nesta coluna, os valores coloridos a verde representam os materiais que têm um consumo inferior a 1% e os coloridos a vermelho representam os materiais com um consumo percentual superior a 9%.

A ultima coluna, “Tempo por paleta”, é o tempo médio que uma paleta dura de um determinado material. Este valor está diretamente relacionado com o consumo médio desse mesmo material. Os materiais menos consumidos têm um tempo por paleta maior e vise versa. Este é um valor interessante a reter, pois será posteriormente bastante útil na redistribuição dos materiais no *buffer*, já que dá para ter uma ideia de quantas paletes de cada material são necessárias para garantir X horas de margem de segurança.

Outro indicador calculado foi o tempo de *buffer* disponível ou “tempo até *stock out*”. Por outras palavras o tempo que um *buffer* completamente lotado, sem ser reabastecido, demora até que cada material atinga *stock out*. Este valor é particularmente interessante já que existem várias situações em que o abastecimento pode falhar, nem que seja por um turno. Por exemplo, se o operador encarregue do processo faltar ou caso o AGV, que se pretende introduzir, avariar ou requerer manutenção.

Para tal, foi feita uma aproximação linear do consumo de cada material ao longo do tempo. Foram considerados dois pontos: o ponto inicial de abcissa zero, que corresponde ao primeiro dia do mês, e com a ordenada igual à quantidade máxima, em kg, que esse material pode ter no *buffer*; o ponto final com abcissa igual ao último dia do mês, sendo a sua ordenada nada mais do que a diferença entre a quantidade inicial armazenada no *buffer* e o seu consumo mensal.

Tome-se como exemplo o material CE1001. Constam no B1 10 espaços possíveis para este material. Tendo em conta que cada palete pesa 540 kg, então a capacidade máxima deste material será igual a 5400 kg. Sabendo que o consumo desse material em março de 2017 foram 226748 kg temos os pontos: (0;5400) e (31;-221348). A interpolação linear entre estes dois pontos está exposta na figura 4.4.

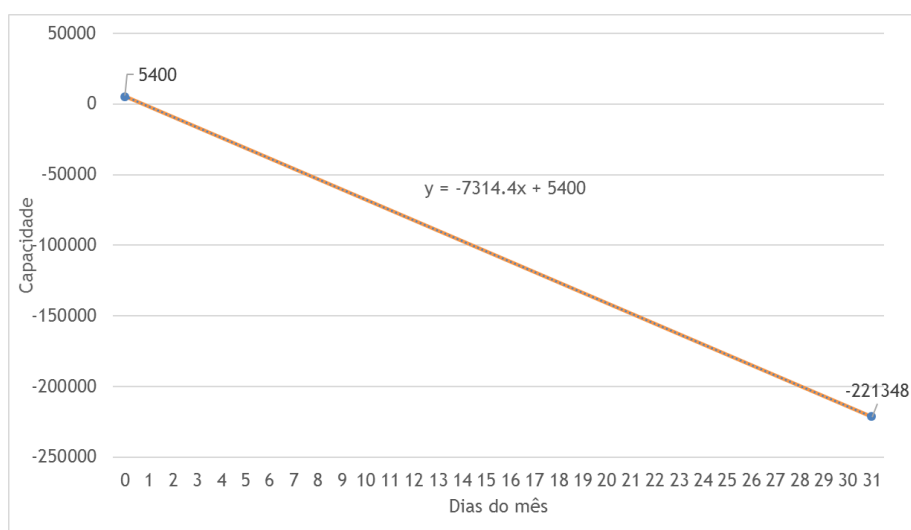


Figura 4.4: Cálculo do tempo até *stock out*

Posto isto foi calculado o zero da reta que corresponde ao tempo até *stock out*. Para este material em particular o zero é igual a 0.74 dias.

Este procedimento foi repetido para todos os materiais presentes nos armazéns intermédios de janeiro a abril de 2017. Os resultados para o mês de março apresentam-se na penúltima coluna da tabela ilustrada na figura 4.3, “Tempo até *stock out*”. A observação da mesma revela uma má distribuição destes tempos, em particular existem 11 materiais, sublinhados a vermelho, que esgotam em menos de 2 dias e 7 materiais que ultrapassam os 15 dias, destacados a verde.

Estes dados foram convertidos para forma de gráfico de barras, figura 4.5, onde mais uma vez se verifica a má distribuição dos tempos até *stock out*. Note-se que um dos objetivos para este

buffer seria garantir um tempo de *stock out* de pelo menos dois dias, isto é, os materiais devem estar distribuídos de tal modo que mesmo na situação em que o *buffer* não seja abastecido, não falte material à produção por aproximadamente dois dias.

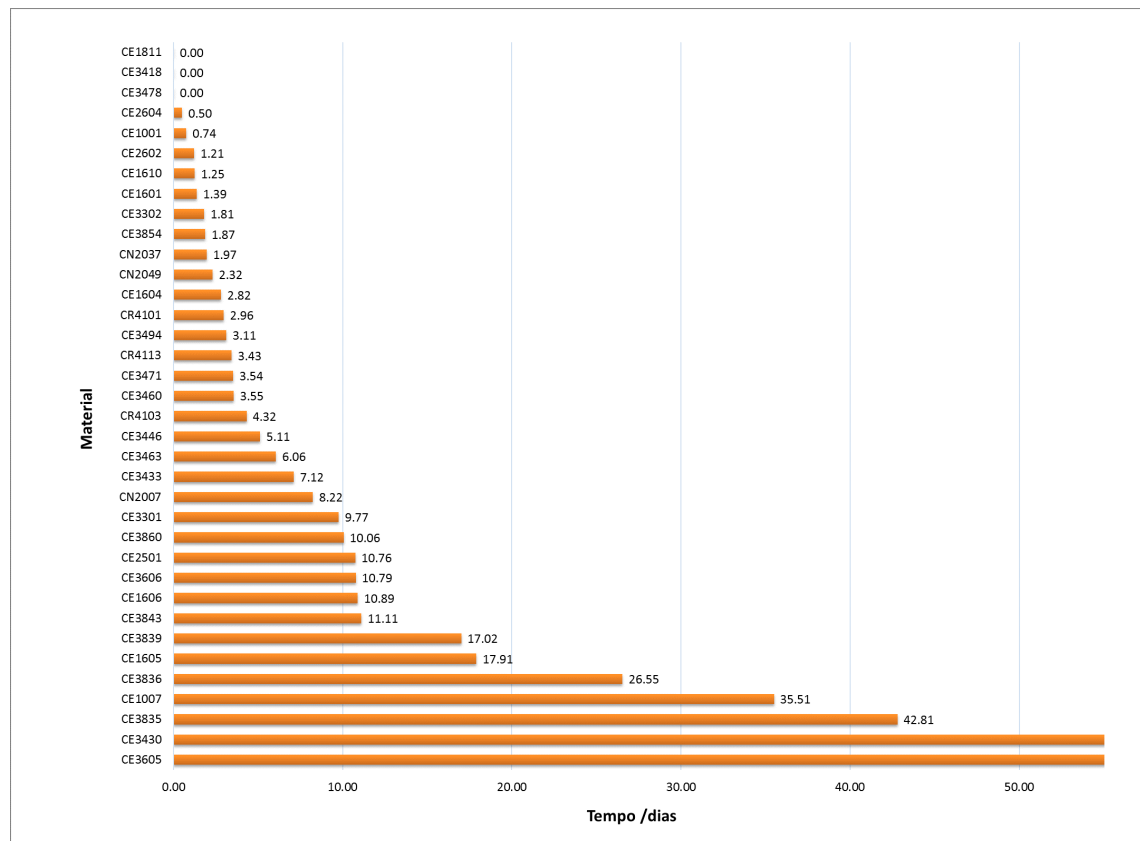


Figura 4.5: Tempo até *stock out*- março 2017

Utopicamente, todos os materiais teriam o mesmo tempo até *stock out* contudo a distribuição dos materiais no *buffer* está condicionada ao espaço reservado para cada um, impossibilitando a colocação de apenas uma ou duas paletes de um só material. Neste momento, os materiais estão organizados por filas, figura 4.2. Cada fila está devidamente identificada através de um código colocado imediatamente em cima das paletes, podendo desta forma afirmar que em cada fila só pode haver um tipo de material. Atualmente, a fila mais pequena tem exatamente três posições, o que quer dizer que podem estar até 6 paletes de um dado material nessa fila ou apenas 3 paletes caso esse material não seja empilhável.

Com a introdução de novas soluções de armazenagem e uma melhor distribuição das capacidades dos materiais neste *buffer*, pretende-se atenuar os máximos e aumentar os valores mínimos. Ou seja, tentar aproximar todos os valores de *stock out* entre si, obtendo-se um menor desvio relativamente ao valor médio.

4.3 Análise de layouts

Com o objetivo de integrar veículos autónomos no reabastecimento do *buffer* de borracha, há vários fatores a ter em conta no que toca ao modo como o material está armazenado nos mesmos. Como tal, segue-se uma série de propostas com novos *layouts* com o intuito de tornar o espaço “AGV *friendly*” sem sacrificar a capacidade de armazenamento e o aproveitamento de espaço. O tipo de armazenamento das paletes também será um fator em ter em consideração, já que, influencia bastante o aproveitamento de espaço e a distribuição dos diferentes materiais.

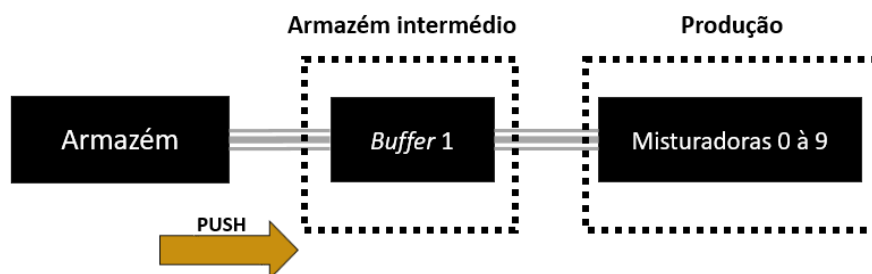
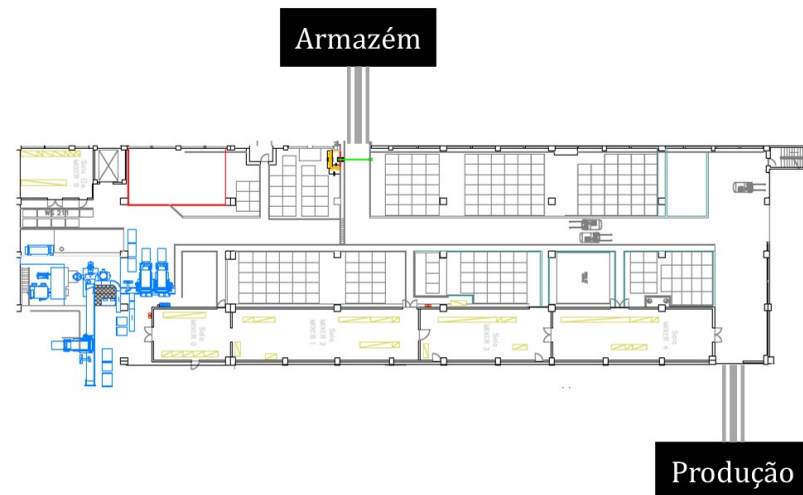


Figura 4.6: Sistema *push* armazém-buffer

Na figura 4.6 está esquematizada o sentido do fluxo de material. O abastecimento do armazém intermetido segue uma filosofia push. Existe uma revisão do buffer periódica por parte dos operadores do armazém, que quando falta material no mesmo é criada uma ordem de reabastecimento. De referir que no armazém de matérias primas rege um sistema FEFO – First Expired, Fist Out.

4.3.1 Buffer atual

Atualmente, *block stacking* é o sistema de armazenagem utilizado. As paletes encontram-se encostadas às paredes e empilhadas a dois níveis, sempre que possível, estando o primeiro nível pousado diretamente no chão. Existe um corredor de passagem central onde circulam empilhadoras tanto do armazém como da produção, em ambos sentidos, figura 4.7.

Figura 4.7: Planta do *buffer* atual

Na planta deste armazém cada retângulo cinzento representa uma paleta com dimensões 1500x1150x1100 mm. Note-se que, apesar de nem todos os materiais estarem armazenados em paletes com as dimensões sugeridas, esta é a dimensão máxima e por isso foi adotada e generalizada.

A principal vantagem do *layout* atual é a maximização de aproveitamento de área, visto que apenas existe um corredor central de acesso aos materiais e todo o restante espaço é usado para o armazenamento de paletes. Quanto ao tipo de armazenamento, as vantagens prendem-se com o facto de não requer qualquer manutenção e ser extremamente flexível a qualquer mudança que se pretenda fazer.

Contudo, existem alguns inconvenientes associados a este *layout* e respetiva forma de armazenamento:

- Nem todos os materiais são empilháveis, consequentemente há um mau aproveitamento de volume ao armazenar material em *block stacking*.
- O método de armazenamento condiciona a distribuição dos materiais, uma vez que é impossível o empilhamento de materiais diferentes.
- Como as paletes são colocadas diretamente no chão, não existem posições pré-definidas para a recolha e abastecimento de paletes com material, dificultando a integração de AGVs no abastecimento do *buffer*.
- A existência de apenas um corredor central, obrigaria os veículos autónomos a partilhá-lo com empilhadores condicionando a sua velocidade de circulação e consequentemente afetando a sua produtividade.

- Dado o ponto de abastecimento e recolha das paletes ser o mesmo, rege um sistema LIFO- *Last in, First out*. Isto pode conduzir à acumulação de material junto às paredes, podendo resultar na expiração do prazo de validade de um dado material.

Para colmatar o problema referido no último ponto, atualmente, um operador retira periodicamente as paletes mais antigas de uma rua (fila de paletes), isto é, as mais próximas à parede, e coloca-las à frente. É evidente que este é um processo demorado e pouco produtivo que pode ser facilmente solucionado ao implementar um sistema de sequenciamento FIFO.

Por último, em relação a este *buffer*, foi construído um mapa de cores, figura 4.8, que revela a distribuição do consumo dos materiais tendo em conta a sua disposição no armazém. A vermelho estão assinalados os materiais mais consumidos e a verde os menos.

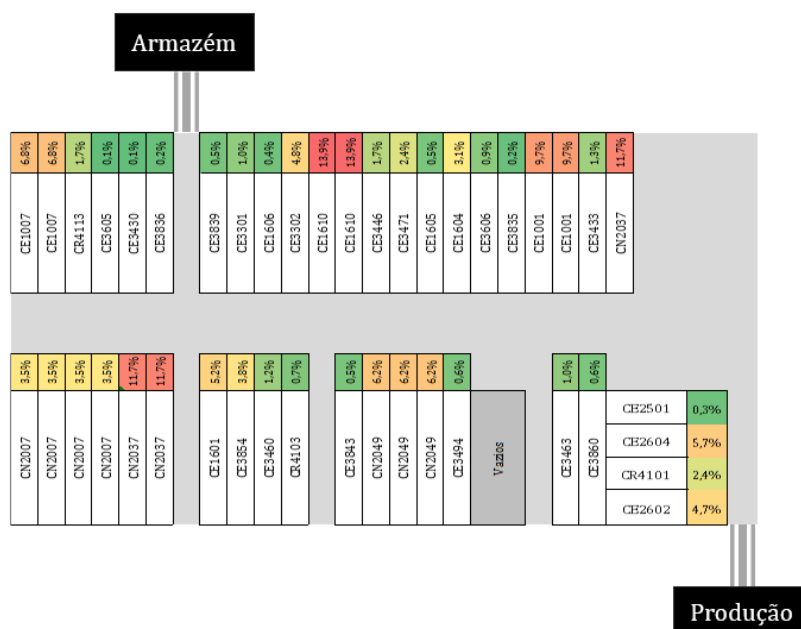


Figura 4.8: Mapa de cores- distribuição do material no *buffer*

Apesar de, atualmente, não ser o verificado, seria desejável que a distribuição dos materiais tivesse em conta o consumo dos mesmos, isto é que os materiais mais consumidos (a vermelho) estivessem os mais próximos da produção possível.

Como o armazém e a produção são em lados quase opostos, não é possível “agradar” aos dois, como tal é a produção que deve ser beneficiada visto que funciona como o cliente do armazém.

Assim, uma melhoria a implementar seria ter em consideração o consumo dos materiais na hora de os distribuir pelo *buffer* favorecendo a produção. Para além disso, seria desejável também ter em consideração a rotatividade desses materiais para minimizar as mudanças de layout ao longo do tempo. Estas evidências conduziram a uma análise ABC e XYZ.

Tabela 4.1: Matriz ABC-XYZ para o buffer 1 nos meses janeiro, fevereiro, março e abril 2017

	X	Y	Z
A	6	8	0
B	0	7	2
C	0	1	12

4.3.1.1 Análise ABC e XYZ

Para a realização destas duas análises foram utilizados dados referentes aos quatro primeiros meses do ano corrente – janeiro, fevereiro, março e abril 2017.

O estudo foi realizado com 36 materiais diferentes, 38.39% dos quais (14 artigos) correspondem a 79.07% do consumo, não se verificando a condição de Pareto. No entanto verifica-se que uma grande percentagem do valor (consumo), aproximadamente 80%, se encontra em menos de metade dos 36 materiais, ou seja em 14 que correspondem a aproximadamente 40%.

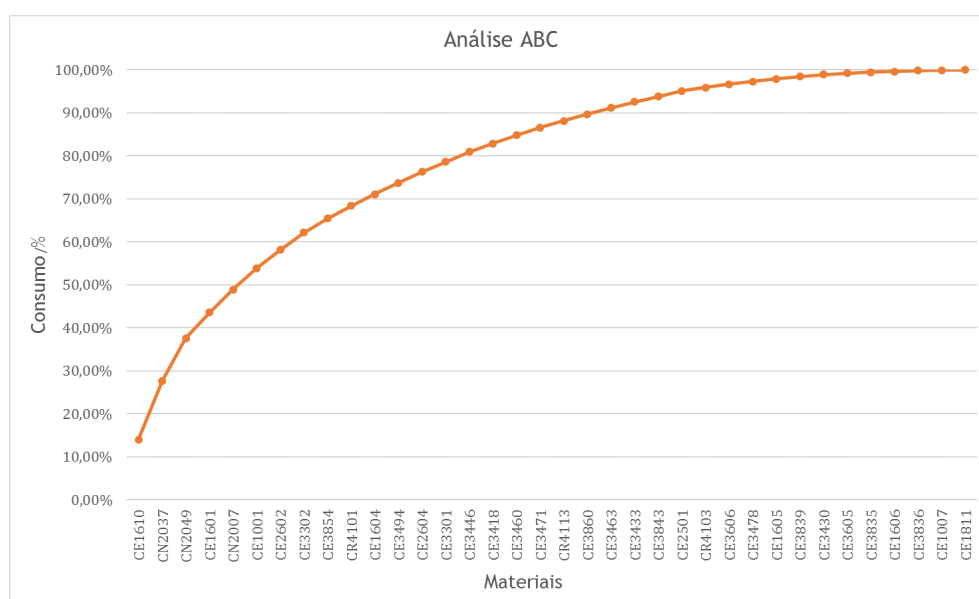


Figura 4.9: Análise ABC nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril 2017

Na tabela 4.1 indica-se o número de artigos para cada combinação de classificações permitindo uma melhor análise da sua distribuição.

Da sua análise é possível constar que a maioria dos artigos se apresenta na diagonal principal da matriz. Este resultado revela-se particularmente simpático para a empresa visto que os materiais (AX) de grande importância pouco ou nada variam ao longo do tempo e os de menor importância e quantidade são que apresentam maior variabilidade de consumo (CZ).

No anexo A pode ser consultada a análise ABC/XYZ completa, estando apresentados todos os artigos e respetivas classificações e também outros cálculos relevantes.

4.3.2 Proposta de alteração de layout

O primeiro objetivo da intervenção neste armazém é tornar este espaço “AGV friendly”. Para tal tomou-se a decisão de alterar o *layout*, passando a existir dois corredores de circulação encostados às paredes e a estrutura de armazenagem no centro. Desta forma, num dos corredores apenas circulam empilhadoras da produção e no outro empilhadoras do armazém ou AGVs.

O segundo requisito do sistema é a implementação do sistema de sequenciamento FIFO- “*first in first out*”. Com a mudança de *layout* o ponto de abastecimento e o de recolha encontram-se em lados opostos, permitindo o cumprimento desta condição.

Por último, é necessária uma solução que permita devoluções de paletes meias cheias por parte da produção, como foi explicado em 4.1.

A figura 4.10 ilustra a planta do *layout* proposto para o *buffer 1* tendo em conta as condições anteriormente referidas.

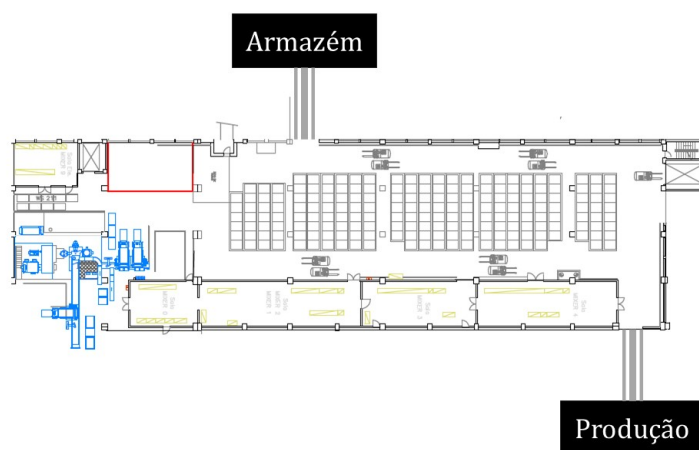


Figura 4.10: Planta da proposta de *layout*

Para a construção do novo *layout* teve-se em consideração que os corredores de circulação têm que ter, no mínimo, 3.5 metros de largura. Esta condição é imposta pelas empilhadoras, sem essa largura as mesmas não conseguem realizar manobras de introdução e remoção de paletes nos tapetes. Por este motivo, há zonas na estrutura sem capacidade de 8 paletes, mas sim 7 ou 6 por existirem batentes ou portas de acesso.

Assim, existem:

- 36 ruas com capacidade para 8 paletes;
- 12 ruas com capacidade para 7 paletes;
- 2 ruas com capacidade para 6 paletes.

Um total de 50 ruas.

De lembrar que, apesar de na planta apenas se contar 25 ruas, existem paletes a dois níveis, daí o total ser exatamente o dobro.

Relativamente ao tipo de estruturas a usar, chegou-se à conclusão que a melhor solução para este caso seria uma serie de tapetes de correntes que estariam assentes numa estrutura a dois níveis. Esta solução garante o fluxo dos materiais no sentido desejado que está ilustrado na figura 4.11 através de três setas azuis.

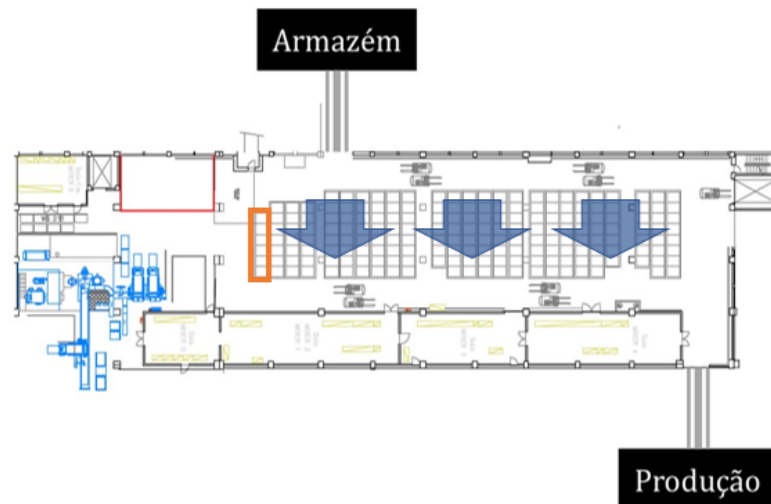


Figura 4.11: Planta da proposta de *layout*- sentido de movimentação das paletes

Assim, para satisfazer todas as condições do sistema, a proposta seria a instalação de tapetes de correntes onde as paletes seriam inseridas de um dos lados e recolhidas no lado oposto. A figura 4.12 esquematiza o cenário proposto. Existem dois níveis por fila, isto é, existe um tapete junto ao chão e um segundo tapete por cima do anterior. As paletes são inseridas do lado esquerdo e recolhidas pela produção no lado direito.

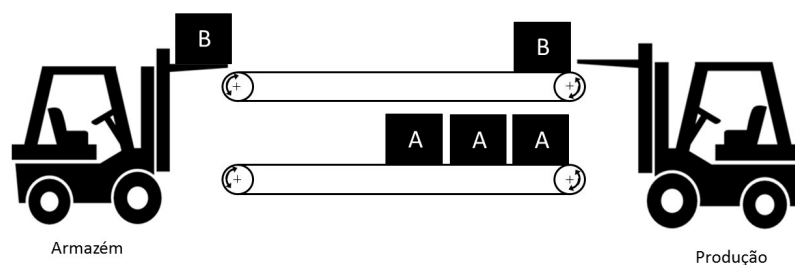


Figura 4.12: Sistema de movimentação de paletes- Tapete de correntes

Relembro que anteriormente um dos problemas evidenciados era a diferença do consumo entre materiais, havendo materiais com consumos inferiores a 0.5%. Desta forma, e a pensar nesses materiais com consumos quase desprezáveis, foi tomada a decisão de se implementar *racks* de acesso individual nas ruas com capacidade para 6 paletes que eram anteriormente consideradas como tapete de correntes. Assim, na figura 4.11, a primeira linha de paletes do lado esquerdo, destacada a laranja, será uma estante com dois andares em que serão colocadas apenas 2 paletes por material. Nestas *racks* constaram os materiais do tipo CZ, catalogados em 4.3.1.1.

Um outro tipo de solução que surgiu foi colocar em vez de tapetes de corrente, estruturas de deslizamento por gravidade. No entanto, esta solução não era compatível com o tipo de paletes existente do *buffer*. Para além de as paletes com os materiais serem bastante pesadas, tanto os rolos da estrutura de gravidade como as paletes são metálicos, o que leva a um desgaste dos rolos insustentável. Esta análise foi feita com mais detalhe por Mariana Oliveira 2017 [31].

4.3.3 Redistribuição dos materiais

Após se ter definido o *layout* proposto, o próximo passo passa pela redistribuição dos materiais pelo mesmo.

Antes de efetuar a distribuição dos materiais pelo armazém, é importante revelar quantas ruas foram atribuídas a cada artigo. Sendo assim, foi determinado o número de paletes necessárias a armazenar no *buffer* para que o tempo até *stock out* seja, pelo menos, 2 dias em todos os materiais, os resultados apresentam-se na segunda coluna da tabela presente na figura 4.13.

Para a realização desse cálculo foram considerados os consumos relativos aos quatro primeiros meses do ano. Mais uma vez, aproximou-se o consumo a uma reta de equação:

$$y = -\frac{\text{consumo}}{n^{\circ}\text{dias}}x + \text{capacidade} \quad (4.1)$$

Para determinação do número de paletes necessárias para que o tempo até *stock out* seja igual a 2 dias, considerou-se $y = 0$ e $x = 0$.

O resultado foi,

$$\text{capacidade} = 2\frac{\text{consumo}}{n^{\circ}\text{dias}} \quad (4.2)$$

É através desta equação que os valores apresentados na segunda coluna foram determinados. A terceira coluna, referente ao “número de paletes atribuídas” foi determinada manualmente, tendo sido atribuídos valores próximos aos da coluna anterior, mas sempre superiores e tendo em conta o espaço disponível no novo *layout*.

Material	Número de paletes para tempo até stock out 2 dias	Número de paletes atribuídas	Tempo até stock out d:hh:mm
CE1610	38,8	39	2:00:16
CN2037	31,6	37	2:08:12
CE1001	27,0	32	2:08:48
CN2049	22,8	24	2:02:25
CE1601	13,9	16	2:07:21
CE2604	13,4	16	2:09:10
CN2007	12,3	16	2:14:36
CE2602	12,1	16	2:15:14
CE3302	11,1	16	2:21:08
CE3854	7,5	8	2:03:04
CR4101	6,9	8	2:07:24
CE2501	6,8	7	2:01:27
CE3494	6,5	7	2:03:48
CE3446	6,4	8	2:11:41
CE1604	6,3	7	2:05:31
CE3418	5,8	8	2:17:57
CE3301	5,8	8	2:18:29
CE3460	5,8	8	2:18:36
CR4113	4,6	8	3:10:38
CE3471	4,6	8	3:11:42
CE3463	4,4	8	3:16:10
CE3433	3,9	8	4:03:09
CE3860	3,6	8	4:11:49
CE3843	3,5	8	4:12:52
CE3478	2,0	7	6:20:45
CE3606	2,0	7	6:23:43
CR4103	1,9	8	8:08:22
CE1605	1,5	7	9:09:46
CE3430	1,3	7	10:14:39
CE3839	1,2	7	11:17:35
CE1606	1,1	2	3:12:11
CE3605	0,6	2	6:13:19
CE3835	0,6	2	7:04:04
CE3836	0,4	2	9:14:00
CE1007	0,3	2	11:19:20
CE1811	0,1	2	30:11:15
TOTAL	278,6	384	

Figura 4.13: Atribuição do número de paletes por material

O tempo até *stock out* foi recalculado para a nova capacidade do *buffer* apenas para se verificar que não existe num valor inferior aos 2 dias.

Posto isto, segue-se a distribuição os materiais pelo layout proposto com base nos resultados obtidos na análise ABC e XYZ em 4.3.1.1. Como foi mencionado, a produção opera como cliente do *buffer* e sendo impossível chegar a um compromisso entre a produção e o armazém que se encontram, praticamente, em extremos opostos, a produção será favorecida. Assim, os materiais AX ficarão armazenados o mais perto da produção possível e os CZ mais distantes.

A distribuição foi feita com base nas seguintes regras:

1. Os artigos mais próximos da produção devem ser os da classe A, seguidos pela classe B e C.
2. Dentro das classes A, B e C os artigos devem estar ordenados do tipo X para o Z.
3. Dentro de cada categoria, entenda-se por categoria a união da análise ABC e XYZ (isto é AX, AY, AZ, etc.), os materiais devem ser ordenados por ordem de consumo. Por exemplo, no *buffer* 1 existem 5 materiais AX, o mais próximo da produção deve ser o mais consumido dos cinco.

O resultado apresenta-se na figura 4.14.

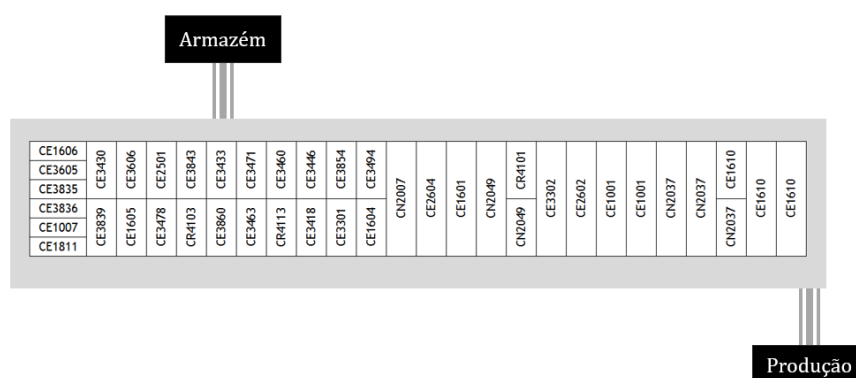


Figura 4.14: Distribuição proposta dos materiais pelo *buffer* 1

Note-se que cada coluna nas figuras 4.14 e 4.15 representa duas ruas ou seja, dois níveis em altura. Quando numa coluna tem escrito o nome de apenas um material quer dizer que esse artigo está alocado nos dois andares da estrutura. Por outro lado, quando a coluna surge dividida ao meio com dois nomes diferentes, significa que num dos níveis está um material e no nível superior (ou inferior) está outro. Os materiais mais encostados à esquerda na imagem 4.14 têm uma capacidade associada de duas paletes, daí o número de paletes mínimo considerado na tabela ilustrada em 4.13 ser duas paletes.

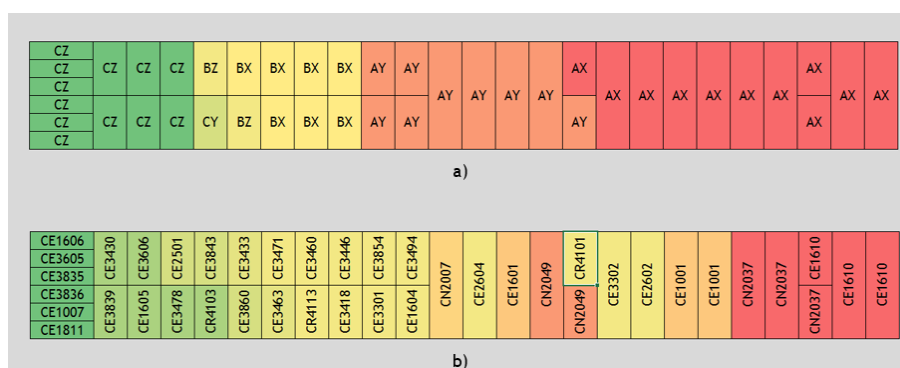


Figura 4.15: Mapa de cores para a distribuição dos materiais no novo *layout* do *buffer* 1: a) com base na análise ABC e XYZ; b) com base no consumo

Na figura 4.15 a) o mapa de cores apresenta um degrade perfeito do verde para o vermelho, significando isto que a ordem definida anteriormente (AX, AY, AZ, BX, BY, BZ, CX, CY, CZ) foi cumprida. Em b), há um mapa de cores não tão perfeito, contudo também não era suposto, porque o consumo apenas servia para estabelecer prioridades dentro de cada categoria e esse facto é verificado. Em suma, a figura 4.15 serve para constatar que as regras definidas para a distribuição dos materiais no novo *layout* foram, de facto, cumpridas. A regra prioritária era obedecer à análise ABC e XYZ, ou seja, os materiais AX fiquem mais perto da produção e os CZ mais distantes. Em segundo lugar, na figura 4.15 b), constata-se que dentro de cada classe (AX, AY, etc) os materiais estão ordenados com base no consumo, estando os mais consumidos, a vermelho, mais próximos da produção.

4.3.4 Comparação Proposta vs. Atual

Neste capítulo serão comparadas as soluções de armazenagem propostas com a solução em vigor no armazém B1, expondo as diferenças em termos de capacidade e variedade de materiais assim como as melhorias inerentes à nova distribuição de materiais.

Para tal foram selecionados quatro indicadores: o número de paletes totais, a variedade de materiais, a utilização de volume ou volume útil, e a utilização de área (sem vazios) ou área útil. Estes dados estão representados nas tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2: Dados relativos ao *layout* atual do *buffer* 1: capacidade, variedade, utilização de área e volume

Capacidade/paletes	401
Variedade	43
Utilização de Área (sem vazios)	40.22%
Utilização de Volume	23.25%

Tabela 4.3: Dados relativos ao novo *layout* do *buffer* 1: capacidade, variedade, utilização de área e volume

Capacidade/paletes	370
Variedade	54
Utilização de Área (sem vazios)	34.13%
Utilização de Volume	21.45%

Assim, com a introdução de tapete de correntes, em termos de paletes totais, há uma perda de 31 paletes, correspondendo a cerca de 8%, havendo também uma diminuição na área útil. Estes resultados eram expectáveis visto que a área de circulação foi, praticamente, duplicada com a introdução de dois corredores em vez de apenas um.

Porém, o indicador que importa evidenciar é a melhoria de cerca de 20% na variedade de materiais. Apesar deste armazém já apresentar uma capacidade suficiente para satisfazer a zona de produção adjacente, é sempre desejável ter a máxima variedade de materiais possível visto que conduz a uma melhor e mais fácil gestão da quantidade dos artigos no *buffer*.

Por último, o volume útil apresenta uma diminuição mínima sendo o reflexo da possibilidade de empilhar materiais não empilháveis e da diminuição de área útil.

Por forma a facilitar a interpretação destes resultados, os mesmos foram convertidos em gráficos de barras, figuras 4.16 e 4.17.

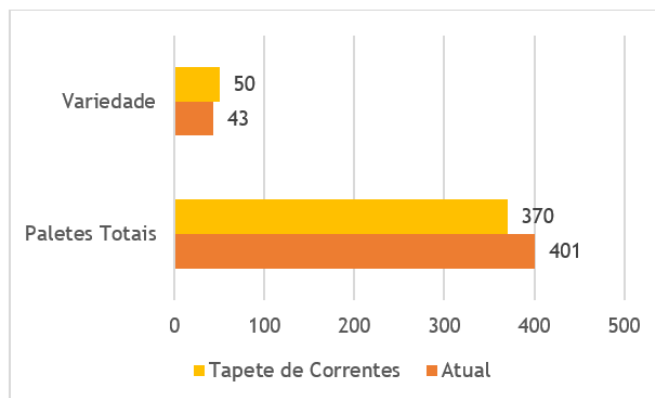


Figura 4.16: Comparação entre a solução proposta e o atual em termos de Variedade e Paletes Totais

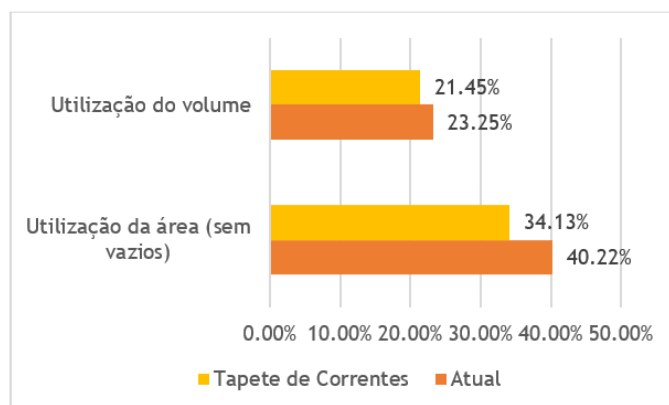


Figura 4.17: Comparação entre a solução proposta e o atual em termos de Utilização de Volume e Utilização de área

No que diz respeito à distribuição de materiais há um indicador que revela resultados extraordinários – o tempo até *stock out*. Como foi referido anteriormente, o tempo até *stock out* apresentava extremos muito vinculados sendo necessário aproximar os valores de um valor médio. E foi, exatamente, isso que se sucedeu durante a atribuição de lugares no *buffer* para cada material, onde foi tida em consideração a premissa “é necessário haver *buffer* para 2 dias”, por outras palavras, o tempo até *stock out* deve ser de, pelo menos, 2 dias. De referir que essa distribuição foi feita com base nos dados do consumo do *buffer* para os quatro primeiros meses de 2017.

Como já foi mencionado, anteriormente, a produção nesta fábrica é alvo de sazonalidade e a produção divide-se em dois grandes períodos:

- Produção de pneus de inverno: em maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro;

- Produção de pneus de verão: durante novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril.

Logo, todo o estudo realizado durante esta dissertação foi efetuado com base exclusiva nos dados do consumo da produção de pneus de verão. De notar que não foi feita uma análise mais abrangente, isto é, que envolvesse mais meses, idealmente, pelo menos, um ano de dados de consumo, porque esses dados não existiam até o início de 2017.

Assim, a proposta apresentada neste capítulo para a distribuição de materiais é válida apenas para os meses de inverno e primavera. Sugere-se uma revisão dessa mesma distribuição de 6 em 6 meses, ou seja, sempre que o período produtivo se alterasse o *buffer* seria ajustado às necessidades das misturadoras. Claro que, a partir do momento em que existam dados relativos a um ano de trabalho, é possível averiguar se existem materiais que podem estar nos armazéns todo o ano sem que sofram qualquer mudança.

Posto isto, aplicou-se a distribuição feita em na secção 4.3.3 ao mês de março. Calculou-se o tempo até *stock out* resultante dessa nova distribuição e comparou-se com o tempo até *stock out* “real” desse mês, ou seja, os tempos resultantes da distribuição encontrada no *buffer* em março de 2017. Essa comparação apresenta-se na figura 4.18 e na 4.19, que é um zoom da anterior.

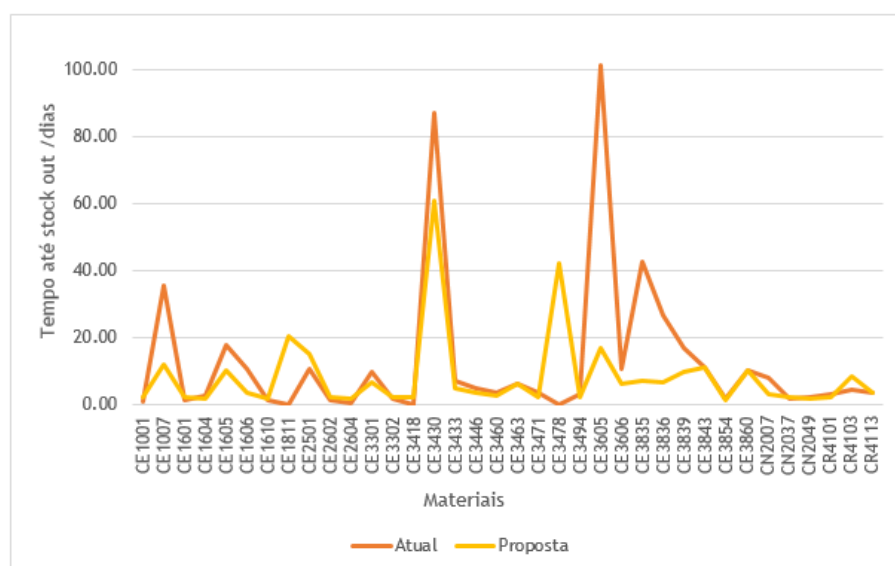
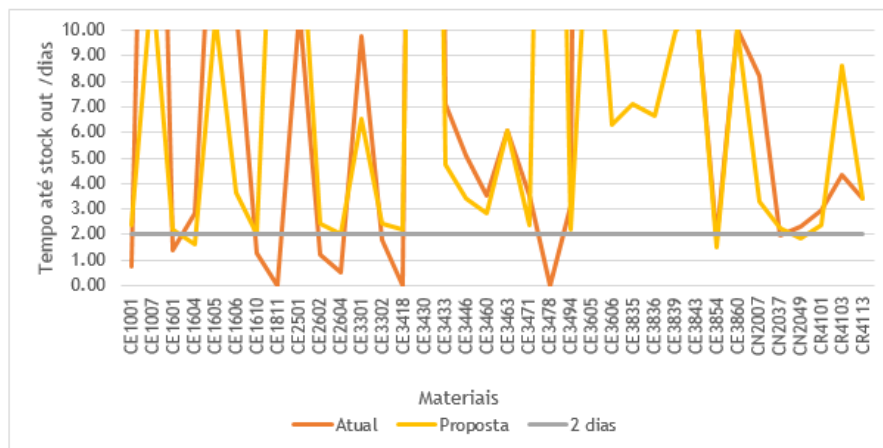


Figura 4.18: Tempo até *stock out* da redistribuição dos materiais para o mês de março

Tabela 4.4: Comparação da média, desvio padrão, máximo e mínimo da distribuição atual com a proposta

	Atual	Proposta
Média	12,6	8,4
Desvio Padrão	22,0	11,7
Máximo	101,2	61,0
Mínimo	0,0	1,5

Figura 4.19: Tempo até *stock out* da redistribuição dos materiais para o mês de março- zoom

Tal como era desejado, verifica-se uma atenuação significativa dos picos havendo uma aproximação de todos os valores a um médio. Para que melhor se possa compreender o que se passa com os materiais que apresentam tempos de rotura mais baixos ou próximos de zero, atente-se na figura 4.19 que é um zoom dessa área de interesse da figura 4.18. Nessa figura foi também introduzida uma reta referente a 2 dias para que se possa perceber que materiais estão a cima e/ou a baixo da mesma. Assim, constata-se que na proposta a maioria dos tempos até *stock out* se encontram a cima dos 2 dias, à exceção de três artigos. Enquanto na distribuição atual existem 11 materiais com tempos inferiores a 2 dias, logo há uma redução de mais de 70% no número de materiais com tempo inferiores a 2 dias. O motivo por trás de haver três materiais com tempo até *stock out* inferior a dois dias, deve-se ao facto de para a redistribuição dos materiais pelo *buffer* feita na secção 4.3.3 foi usado os quatro meses (janeiro, fevereiro, março e abril). Quando esta distribuição é aplicada ao "pior mês", ou seja março, é normal que uma minoria de materiais, mesmo assim, tenham um tempo até *stock out* inferior a dois dias

Na tabela 4.4 apresenta-se uma análise estatística destes resultados. Em termos de média há uma queda espectável de cerca de 25%, o desvio padrão diminui para quase metade e o mínimo deixa de ser zero e passa para 1 dia e meio. Quanto ao valor máximo passa de 101 dias para 61, que apesar de continuar a ser um valor consideravelmente elevado, é uma melhoria. Todos estes resultados provam, mais uma vez, que a distribuição dos artigos feita em 4.3.3 aproximou os valores, reduzindo os máximos e elevando os mínimos.

Depois de toda esta análise exaustiva, finalmente foi possível reunir as condições necessárias para se montar a simulação. Após a concordância do novo *layout* com forma como o material era distribuído nele, pode-se então partir para a montagem dos cenários mais interessantes para a simulação.

4.4 Simulação

Este subcapítulo irá iniciar com uma explicação de alto nível dos cenários que efetivamente foram simulados. Por outras palavras, irá ser esclarecida toda a lógica “base” da simulação. Aqui, também serão apresentadas e justificadas todas as simplificações que foram efetuadas nos cenários simulados.

Depois será feito um apanhado de todos os objetos presentes nas simulações, dando principal foco aos objetos customizados que foram criados especialmente para este caso de estudo, isto é, objetos que não fazem parte das bibliotecas standard do *Simio*.

Posteriormente, serão listados todos os dados que a simulação tem de entrada, com o objetivo de mostrar que tipo informação é possível inserir e alterar na simulação, demonstrando desta forma a sua flexibilidade.

Finalmente serão expostos os resultados de maior interesse extraídos dos cenários modelados. Estes serão cuidadosamente analisados de modo a usar a informação disponível para se tirar algumas conclusões à cerca da viabilidade da implementação de AGVs no processo de abastecimento do *buffer* de borrachas.

Mais uma vez, é importante referir que o desenvolvimento desta simulação teve início em 2016, numa outra tese de mestrado neste projeto na Continental, Guilherme Lawless [14].

4.4.1 Cenários Simulados

O principal objetivo da simulação é analisar a viabilidade de inserir veículos autónomos no processo de abastecimento de um armazém intermédio de matéria prima. No entanto, é importante realizar uma análise comparativa com o abastecimento feito pelas empilhadoras que operam no sistema atual. Sendo assim, o primeiro cenário que se decidiu simular foi um que se aproximasse ao máximo da realidade atual naquela área da fábrica.

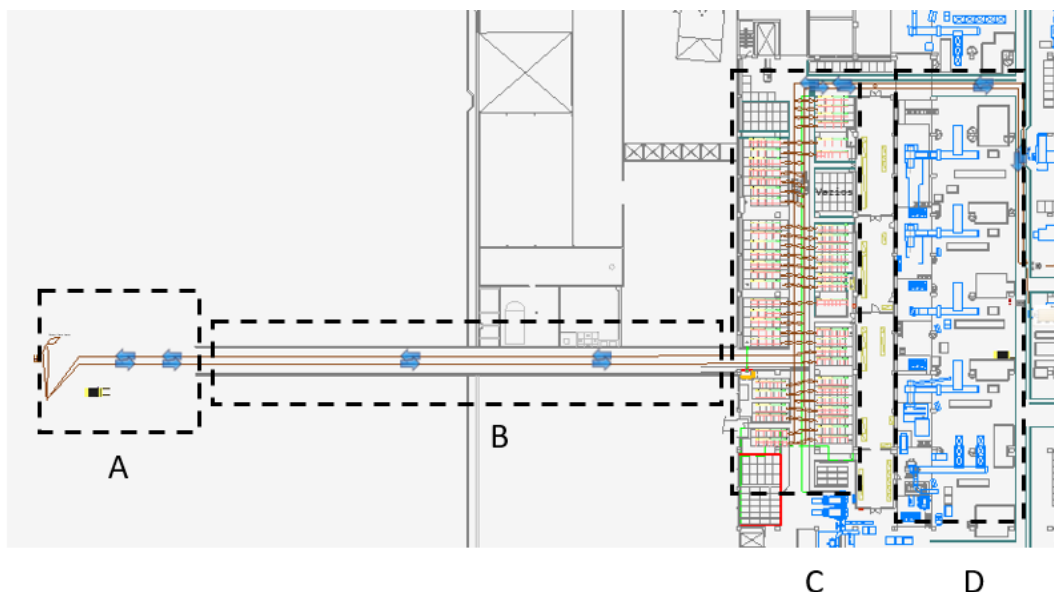


Figura 4.20: Cenário "Original" dividido em 4 áreas

Assim, a área simulada foi apresentada na figura 4.20. Como se pode observar, a simulação foi dividida em quatro partes principais para ser possível compreender melhor os processos envolvidos na mesma: A zona sinalizada com a letra “A” representa o armazém de matérias primas. É neste local onde as empilhadoras vão “procurar” o material necessário para abastecer o *buffer*. Mesmo não estando representado no *layout* importado, a distância percorrida no armazém é tida em conta no cenário simulado através de um tempo médio que foi considerado (tempo de procura médio de um dado material no armazém). Este foi modelado através de um objeto chamado “*TimePath*” que não é mais que uma ligação que, em vez de usar a velocidade de deslocamento de um veículo e a distância percorrida (objeto “*Path*”), usa um tempo predefinido. Assim, os materiais nesta zona simplesmente “aparecem” no ponto 1 (figura 4.21) e depois demoram um certo tempo a percorrer do ponto 1 até ao 2.

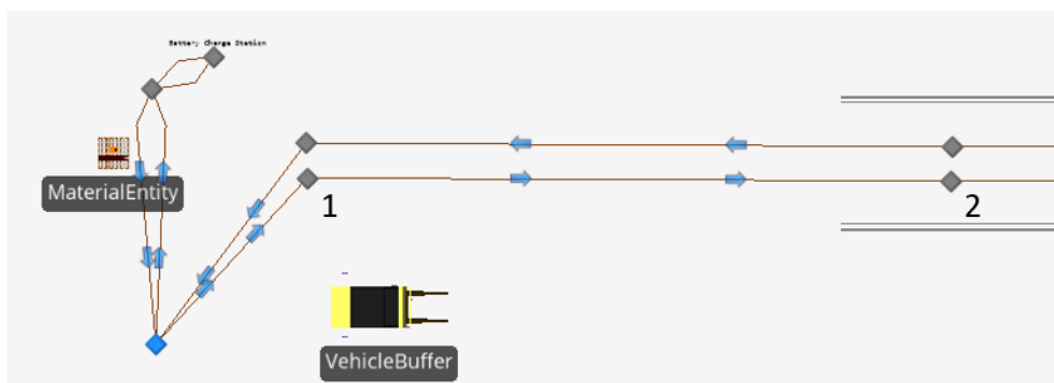


Figura 4.21: Zoom da zona "A- cenário "Original"

A zona assinalada com a letra “B” remete para o processo de abastecimento do *buffer*. Após o veículo da autoria do armazém ter encontrado o material desejado na zona “A”, este procede ao

transporte do mesmo para o seu respetivo local de armazenamento. Esse local de armazenamento está localizado na zona “C”. É aqui onde estão definidas as quantidades armazenadas de cada material assim como o seu local. Como se pode ver na figura 4.20, o *layout* apresentado na zona “C” é o que vigora atualmente no *buffer*- os materiais (borrachas) encontram-se encostadas à parede e o corredor de acesso aos mesmos está localizado no meio. Por último, a zona D é o local que assinala a produção. Quando há um certo pedido de um material, empilhadoras da autoria da produção deslocam-se ao *buffer* (zona “C”), recolhem o material que necessitam e transportam-no para a zona de produção (zona “D”). Muito similarmente ao que acontece no local “A”, aqui também existe um “*TimePath*” que pretende simular um tempo de viagem de uma empilhadora da produção para a respetiva misturadora.

Em suma, na zona “A”, empilhadores do armazém vão buscar o material requerido ao armazém. Depois é efetuado o transporte desse mesmo material (zona “B”) para o *buffer* de borrachas (zona “C”). Empilhadoras da produção retiram material ao *buffer* sempre que a produção (misturadoras) precisam. Na tabela 4.5, está um pequeno resumo de algumas das características associadas a este cenário.

Tabela 4.5: Resumo do cenário Original

Titulo	Original
Modo de armazenamento em B1	Empilhamento do material (Block Stacking)
Layout B1	Um corredor no meio e paletes encostadas à parede
Transporte: Armazém-Buffer	Empilhadoras de contrapeso (armazém)
Transporte: Buffer-Produção	Empilhadoras de contrapeso (produção)

O segundo cenário tem como objetivo simular a influencia da integração de AGVs no processo de reabastecimento do *buffer* de borrachas. Este é bastante parecido com o cenário anteriormente explicado em termos de lógica de funcionamento e processos envolvidos, a diferença é que no cenário “novo” o transporte de material do armazém até ao *buffer* é feito com AGVs em vez de típicas empilhadoras. Sendo assim, a mesma divisão em áreas mais pequenas foi feita. Na figura 4.22 é possível observar o cenário simulado.

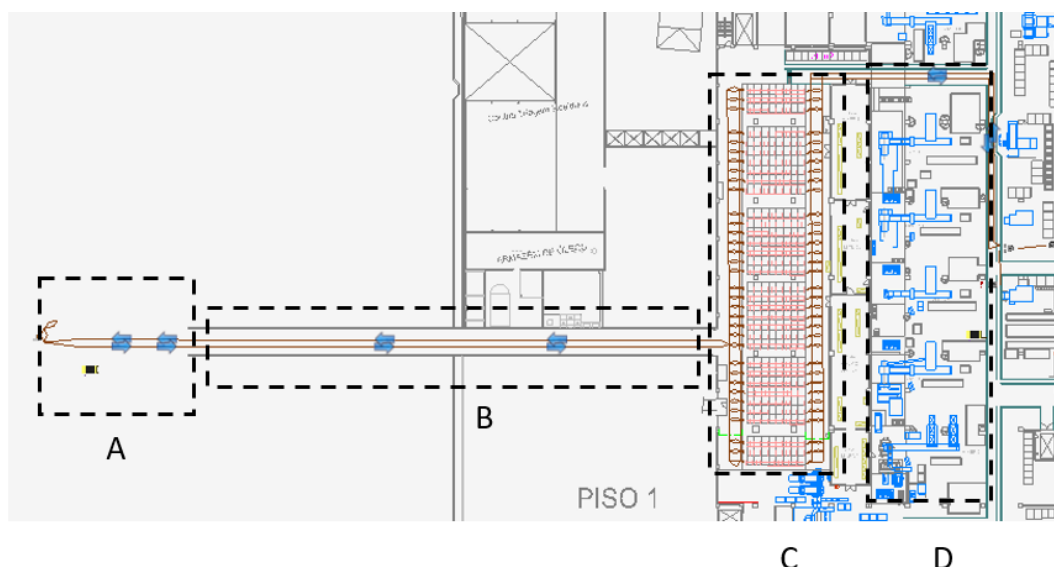


Figura 4.22: Cenário "Novo" dividido em 4 áreas

Uma outra grande diferença em relação ao cenário anteriormente descrito é a forma como os materiais estão dispostos na zona “C”. Toda a análise feita na secção 4.3 foi feita de modo a decidir quais as posições dos materiais no armazém intermédio, em que quantidade e a melhor forma de os armazenar, tendo em conta as restrições apresentadas pelos AGVs. Sendo assim, o *layout* observado na zona “C” da figura 4.22 é o *layout* proposto em 4.3.2- as paletes encontram-se armazenadas no centro o *buffer* e os corredores encontram-se encostados à parede. Assim temos um corredor reservado para o abastecimento através de veículos automáticos de material (corredor esquerdo) e outro corredor apenas para a recolha dos materiais por parte da produção (corredor direito).

Um outro pormenor, não menos importante de mencionar, tem lugar na zona “A” da figura 4.22. Após algumas discussões sobre o assunto, chegou-se à conclusão que não fazia sentido simular o processo de ir buscar um material ao armazém com um AGV. O material está armazenado no armazém em *Block stacking*, isto é, as paletes encontram-se empilhadas umas em cima das outras em altura. Sendo assim, e já que não faz parte deste projeto uma proposta para uma possível mudança na forma como o material é armazenado no armazém de matérias primas, torna-se praticamente impossível para o AGV realizar esta tarefa, já que as paletes dos materiais não estão numa posição bem definida. A solução que surgiu para colmatar este problema foi a colocação previa da paleta do material a reabastecer numa posição predefinida localizada no início do corredor “B” através de um operador de uma empilhadora do armazém. Assim, o AGV simplesmente realiza o transporte desde o início do corredor “B” até à respetiva posição no *buffer* do material que transporta. Portanto, neste cenário, considerou-se o tempo de procura médio de um dado material no armazém como zero.

Na tabela 4.6, está um pequeno resumo de algumas das características associadas a este cenário.

Tabela 4.6: Resumo do cenário Novo

Título	Novo
Modo de armazenamento em B1	Estrutura + Tapete de correntes (Chain conveyor)
Layout B1	Paletes colocadas no centro e corredores nas laterais
Transporte: Armazém-Buffer	AGV (armazém)
Transporte: Buffer-Produção	Empilhadoras de contrapeso (produção)

Agora que os processos envolvidos e as principais diferenças em ambos os cenários foram esclarecidas, serão enumeradas algumas simplificações inerentes:

- A primeira e a mais óbvia é assumir que todos os materiais localizados no armazém “aparecem” numa única localização. Na realidade, cada material tem uma posição específica no armazém de matérias primas. Esta distância foi aproximada através do “*Timepath*” como foi explicado anteriormente (imagem Y). Esta simplificação é praticamente inevitável, visto que a própria posição de cada material no armazém varia ao longo do ano. Neste momento não existe um sistema em tempo real que indique ao operador onde está localizado um dado material no armazém. Aqui subentende-se que o operador sabe (memorizou) onde o material está localizado. Por este motivo, assumiu-se um tempo médio para o tempo de procura de um material no armazém.
- Uma simplificação bastante parecida toma lugar na zona da produção- zona “D”. Aqui, também se admite que os materiais são “consumidos” num único local, o que na realidade não acontece. Existem nove misturadoras que estão espalhadas pela zona “D” e cada uma pode ter consumos diários de material diferentes. A principal razão desta simplificação foi não existir registos de dados de consumo de cada misturadora com a indicação do dia e hora. Sendo assim assumiu-se um tempo médio de transporte de material para as misturadoras e estas estão localizadas num ponto só.
- Por vezes, como foi explicado em 4.1, os veículos da produção devolvem paletes incompletas ao armazém intermédio simplesmente por não precisarem mais desse material na zona de misturação. Este processo não está modelado na simulação. A principal razão para tal é o facto de essas “devoluções” não constarem no sistema de apoio informático SAP. As devoluções de paletes não existem como dados no sistema, simplesmente acontecem porque por vezes não é possível armazenar todo material na zona da produção, daí terem de ser devolvidos.
- Uma outra simplificação efetuada é o facto de as simulações não terem em conta o fluxo e movimentação das paletes vazias. Quando as paletes são totalmente consumidas na produção, são posteriormente devolvidas para o armazém intermédio para uma zona assinalada de “vazias”. Depois são transportadas do *buffer* para um armazém exterior onde futuramente são reutilizadas. O motivo para a não implementação do referido é mais de natureza subjetiva e pode ser algo que futuramente pode ser interessante incluir na simulação. Como o

foco deste projeto era a implementação de AGVs no processo de reabastecimento do *buffer*, a integração das paletes vazias na análise não se considerou relevante.

4.4.2 Objetos do Modelo

4.4.2.1 Entidades do Modelo

A principal entidade no modelo é a paleta de material e é usada como unidade de referência de quantidade para a simulação. Isto faz com que não se tenha que lidar com pesos (em quilogramas) na simulação. Esta entidade é criada no armazém, como foi anteriormente referido, na zona “A”. O destino da mesma é imediatamente definido na sua criação. O seu transporte é feito através de um veículo até ao *buffer* e depois do *buffer* para a produção. Quando a paleta é consumida, concretizou um pedido da produção, o que faz com que esta seja destruída.



Figura 4.23: Entidade Paleta de material

Uma outra entidade presente na simulação é o pedido. Este é criado em com base numa tabela que a simulação tem como *input*. Cada linha da tabela de entrada equivale a um pedido com um tipo de material, uma quantidade, e uma hora bem definidos. Estes dados serão posteriormente explicados com maior detalhe. Quando esta entidade é criada, vai para um outro objeto chamado combinador “*combiner*” onde é posteriormente processada. Note que este objeto é puramente fictício e que apenas serve para simular o cumprimento de um determinado pedido, figura 4.24.

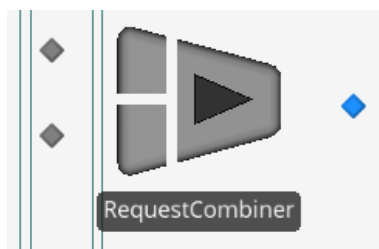


Figura 4.24: Combinador

O processamento de um pedido consiste na procura, por todos os locais de armazenamento de material no *buffer*, pelo tipo de material correspondente ao do pedido. Caso esse material exista e esteja armazenado no *buffer*, um veículo da produção irá realizar o transporte do mesmo do *buffer* para a zona da misturação “*RequestCombiner*”. Este processo é repetido até a quantidade do respetivo pedido, em número de paletes, seja cumprida. Aqui também foi definido um sistema de prioridades que tem como base a quantidade de material requerido em cada pedido. Desta forma, pedidos que tenham quantidades bastante significativas podem ter uma prioridade mais alta comparativamente a pedidos de quantidades inferiores. Assim, os veículos do armazém irão ter em conta a forma como é estabelecida essa prioridade no momento de escolha de qual o material transportar primeiro para o *buffer*. Os materiais do mesmo tipo têm o mesmo nível de prioridade. Todas as prioridades são atualizadas quando um pedido é criado ou destruído.

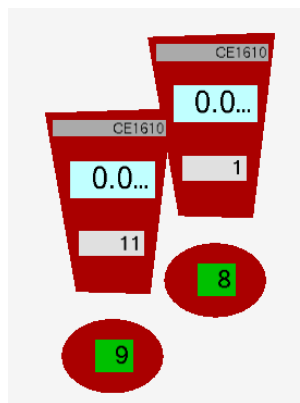


Figura 4.25: Fila de dois pedidos a serem processados

A imagem 4.25 mostra uma fila de dois pedidos. Com o objetivo de o utilizador poder observar os valores pertinentes de cada pedido, usou-se etiquetas dinâmicas que mudam o seu valor, em tempo real, no decorrer da simulação. Estas mostram o tipo de material, o tempo do pedido no sistema (tempo desde que o pedido foi criado até ao momento), o valor associado à prioridade e a quantidade “encomendada” de paletes. Mais uma vez é aconselhável a leitura de [14] para mais pormenores sobre como é calculada esta prioridade.

4.4.2.2 Locais de armazenagem

A modelação de locais de armazenagem foi conseguida com a criação de um novo objeto chamado “*storage*”. Normalmente, é possível implementar locais de armazenagem usando simplesmente o objeto *server*. No entanto, para este caso, não era possível atingir o nível de complexidade desejado através de servidores. Num sistema em que a entidade, a paleta, é libertada de um local de armazenagem específico segundo um pedido que foi criado externamente, era de esperar que a *storage* tivesse alguma “inteligência” extra.

A *storage* consiste em quatro elementos principais que são todas estações (*stations*). As estações servem para armazenar artigos discretos e definir uma capacidade. Das quatro estações, duas são estações de armazenamento, uma serve como um *buffer* de entrada (responsável por

tomar decisões) e a última tem a função de *buffer* de saída. Também foram definidos dois nós, um de entrada e um de saída. As entidades de material (paletes), são transportadas até ao nó de entrada que são transferidas para o *buffer* de entrada. Aqui é tomada a decisão para qual estação de armazenamento a transferir o material, *storage1* ou *storage2*. Quando a intenção é armazenar um tipo de material, apenas a *storage1* é usada. Quando é necessário armazenar mais que um tipo de material, são usadas a *storage1* e *storage2* (figura 4.26). A capacidade de armazenamento de cada estação é uma propriedade inerente ao objeto. Posteriormente, as entidades são requeridas pela produção, estas são transferidas para o *buffer* de saída onde aguardam a chegada do veículo da produção.

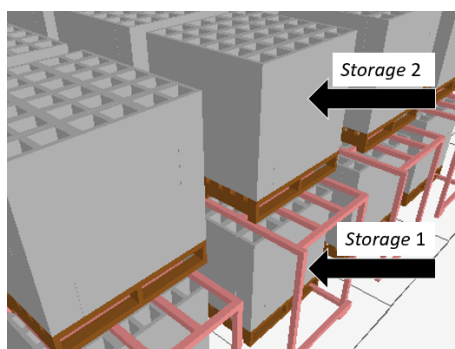


Figura 4.26: Locais de armazenagem: *Storage 1* e *Storage 2*

Uma propriedade bastante importante de referir é o limite utilização da capacidade de uma *storage*. Através da manipulação desta propriedade é possível limitar as capacidades dos objetos *storage* criados. Por exemplo, se um local de armazenagem tem uma capacidade de 10 paletes e é usado um limite para a sua utilização de 80%, é o equivalente a dizer que a *storage* tem uma capacidade de 8 paletes. Esta propriedade pode ser bastante útil já que é possível analisar qual a percentagem de *buffer* que efetivamente é necessária, o que futuramente pode levar à redução da sua capacidade.

É importante de mencionar que o processo de criar uma entidade (paleta) de um dado material para reabastecer um local de armazenagem (*storage*) não é um pedido como os pedidos da produção anteriormente referidos. Em vez disso foi modelado uma lógica que não segue a realidade atual do sistema. Como foi referido em 4.1, o sistema de reabastecimento do *buffer* é do tipo *push*, isto é, o armazém “empurra” material para o *buffer* quando necessário. No modelo simulado, é o objeto *storage* que cria um material no armazém para este ser transportado por um veículo do armazém até a respetiva localização no *buffer*. Sendo assim, quando é criado um pedido da produção para retirar uma dada paleta, é criada uma nova paleta do mesmo tipo de material no armazém para ser transportada para o *buffer*. Assim conclui-se que os pedidos de reabastecimento de material para o *buffer* seguem uma filosofia *pull*, isto é, as ordens de reabastecimento são controladas pela produção. Esta é a abordagem que faz mais sentido neste problema e portanto vai ser adotada na simulação, mesmo que não esteja de acordo com a realidade atual implementada na empresa.

A figura 4.27 ilustra como está representado graficamente o objeto *storage* numa visualização

2D. Como a figura indica, foram usadas etiquetas dinâmicas para ajudar o utilizador a visualizar alguns dados importantes. À esquerda, representado a laranja, tem-se o stock, em quantidade de paletes, presente no local de armazenamento inferior assim como o código do material que contém. À direita, representado a verde, o tipo de material armazenado e o stock presente no local de armazenamento superior. Também estão representados os nós de estrada e saída de material à esquerda e à direita, respetivamente.



Figura 4.27: Visualização de uma *storage* em 2D

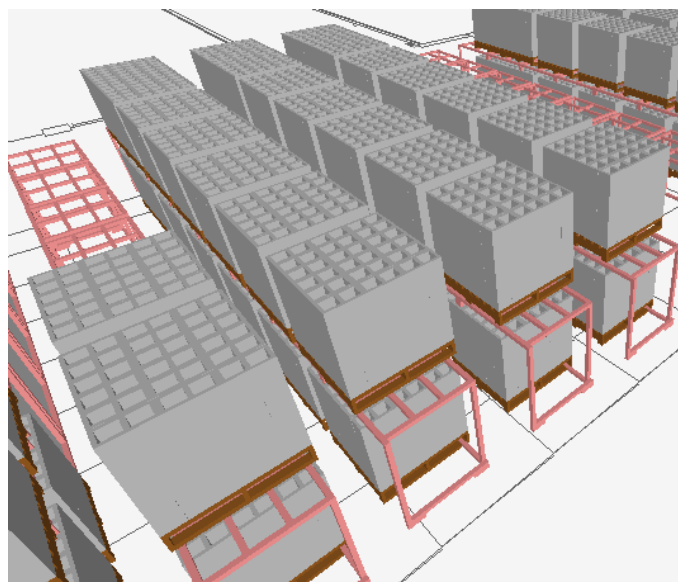
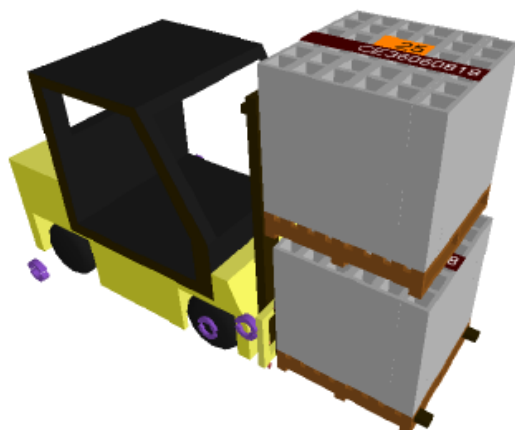


Figura 4.28: Visualização de uma *storage* em 3D

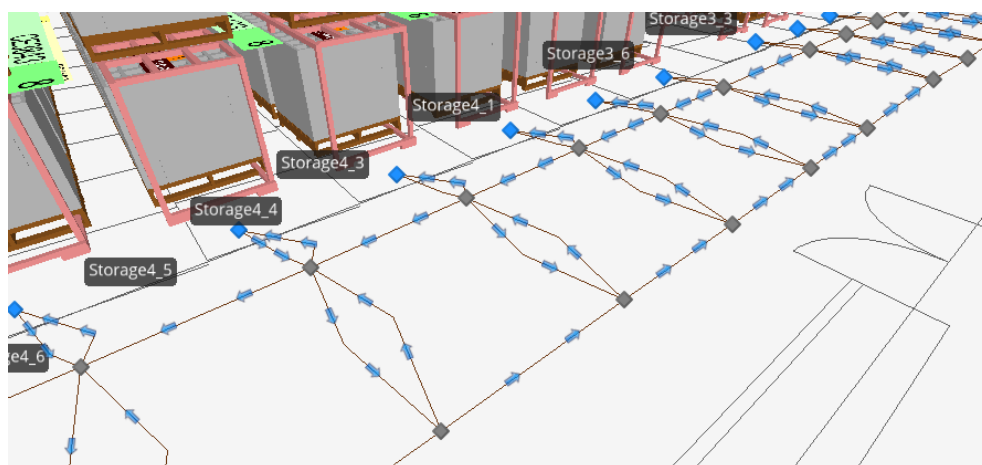
4.4.2.3 Veículos e trajetos

Os veículos são objetos do *Simio* que fazem parte da biblioteca standard. Estes são capazes de realizar as tarefas de transporte de material requeridas para este projeto. Este tipo de objeto tem inúmeras propriedades que podem ser alteradas ao gosto do utilizador, tais como: velocidade de deslocamento, capacidade de carga, tempo de carga e descarga... O objeto “veículo” pertencente à biblioteca *standard* do *Simio* pode ser observado na figura [4.29](#).

Figura 4.29: Veículo em *Simio*

Os veículos podem viajar em “redes” ou livremente pela simulação. As “redes” consistem num conjunto de caminhos (*paths*) bem definidos. O modo de viagem “livre” é mais apropriado para a modelação de pessoas, por exemplo trabalhadores. Quando se usa veículos como empilhadoras ou AGVs é aconselhado o uso de trajetórias que são modeladas através de caminhos e nós. Nesta simulação foram usados centenas de caminhos e nós de modo a definir todas as trajetórias que unem os pontos de interesse na simulação.

Os caminhos podem ser unidirecionais e bidirecionais. Em ambos os cenários simulados, foram usados caminhos unidirecionais para que um sentido correto de circulação fosse estabelecido. Também foi considerado que, todos os veículos (empilhadoras e AGVs) tivessem pontos de cruzamento sempre que necessário de modo a otimizar as distâncias percorridas nas rotas definidas. Na imagem 4.30 é possível observar alguns pontos de cruzamento nos caminhos de acesso às unidades de armazenamento, assim como o sentido definido de circulação no corredor. Note que quando um veículo tem de efetuar uma deslocação entre dois nós, o *Simio* possui um algoritmo de pesquisa pelo caminho mais curto.

Figura 4.30: *Paths* e nós em *Simio*

4.4.3 Dados de entrada

Para que a simulação se aproximasse ao máximo da realidade, foram usados dados de entrada diretamente retirados do sistema de apoio informático SAP da empresa. Sendo assim, foi possível usar um histórico de dados reais de modo a enriquecer a simulação.

Foram analisados os meses de janeiro, fevereiro, março e abril. Como já foi anteriormente referido, o mês de março foi o mês mais significativo no que toca à produção de pneus, por isso faz sentido usar os valores relativos ao reabastecimento do *buffer* nesse mês.

Existem duas tabelas Excel necessárias para a simulação correr normalmente. A primeira é a tabela de materiais ou “Material Table” onde está localizada uma listagem dos materiais consumidos pelas misturadoras no mês de março, como sugere a imagem 4.31. Na primeira coluna está apresentado o código do material e na segunda o ID respetivo. A tabela completa encontra-se no anexo B.

Type	ID
None	0
CE1001	1
CE1007	2
CE1601	3
CE1604	4
CE1605	5
CE1606	6
CE1610	7
CE1811	8
CE2501	9
CE2602	10

Figura 4.31: Tabela dos materiais "Material Table"

A segunda tabela que a simulação tem de entrada chama-se tabela de pedidos ou “Request Table”. Esta é a causadora da criação dos objetos do tipo “pedido” elucidados em 4.4.2. Cada linha corresponde a um pedido da produção diferente. Assim, cada linha contém toda a informação necessária à criação de um pedido: o tipo de material (código), a data e hora e a quantidade, em número de paletes de cada pedido.

Material	Date	Quantity
CE3606	01-03-17 2:34	1
CE3606	01-03-17 3:53	1
CE3854	01-03-17 4:09	12
CE1610	01-03-17 4:19	15
CE2604	01-03-17 4:31	2
CE2602	01-03-17 5:07	6
CE3460	01-03-17 6:10	7
CR4113	01-03-17 7:31	2

Figura 4.32: Tabela de Pedidos, "Request Table"

É importante clarificar a forma como foram retirados os dados do sistema informático SAP para a criação destas tabelas. Foi efetuada uma conversão para paletes das quantidades dos materiais requisitadas (em quilogramas), para que a unidade de quantidade na simulação fosse a paleta e não o quilograma. Assim, foi aplicada uma formula de modo a arredondar por excesso os dados retirados do sistema.

$$N^o Paletes_{i,m} = ArredExcesso \frac{ABS(Quant_{i,m})}{CapPaleta_m} \quad (4.3)$$

Onde, $N^o Paletes_{i,m}$ é resultado em numero de paletes do pedido i do material m , $Quant_{i,m}$ é a quantidade em quilogramas do pedido i do material m e a $CapPaleta_m$ é a capacidade em quilogramas da paleta onde está armazenado o material m .

Assim, conclui-se que, com esta abordagem, os próprios dados de entrada são um pouco pessimistas já que, por vezes, a quantidade reabastecida de um determinado pedido não é um múltiplo da capacidade em quilogramas do respetivo material. Sendo assim, os resultados apresentados de seguida têm uma pequena margem de segurança.

4.4.4 Resultados e discussão

Toda a modelação dos cenários propostos irá servir para avaliar a influência da implementação de AGVs no reabastecimento do armazém intermédio. As simulações também auxiliam a medição do impacto que a mudança de *layout* e a redistribuição dos materiais têm no sistema armazém-*buffer*-produção. Um outro dado importante de analisar é o *trade-off* entre a capacidade do armazém intermédio e o número de veículos a usar. Por outras palavras, irá ser estudado como os tempos de cumprimento dos pedidos da produção variam com o numero de veículos utilizados no reabastecimento do *buffer* e com a sua utilização em termos de capacidade de armazenamento. Uma análise desta natureza pode ser bastante útil quando se tenciona avaliar o desempenho do sistema quando é reduzida a capacidade do *buffer*.

Então, esta secção será dividida em duas partes principais. Numa fase inicial irão ser enumeradas e explicadas todas as variáveis de controlo presentes na simulação. Estes tipos de variáveis são constantes que funcionam como *inputs* no sistema a analisar e servem para testar o mesmo cenário em diferentes condições. Seguidamente, serão demonstrados todos os resultados relativos aos cenários que foram simulados e será feita a comparação e discussão dos resultados obtidos nos dois cenários simulados: cenário “Original” e o cenário “Novo”.

4.4.4.1 Variáveis de controlo

Todas a variáveis de controlo usadas, a sua unidade e o respetivo valor usado, estão listadas na tabela 4.7. Assim, as variáveis relativas ao primeiro cenário serão analisadas primeiro. Recordando a tabela 4.5, neste cenário é usado empilhadoras convencionais tanto no trajeto armazém-*buffer* como no trajeto *buffer*-produção.

As duas primeiras linhas da tabela de variáveis são referentes a propriedades da *storage*. A “Utilização do *buffer*” controla a utilização, em termos de capacidade, do armazém intermédio

em estudo. Por exemplo, se este valor for 100%, quer dizer que o *buffer* está a ser usado na sua total capacidade. Se este valor estiver a 50%, o *buffer* só está a usar metade da sua capacidade de armazenagem. Este valor será variado entre 100% e 10% com um passo de 10%. A “*Storage ranking rule*” é a forma como os materiais fluem em cada local de armazenagem. LIFO é um acrónimo inglês para “*last in first out*” que significa que a primeira paleta a entrar numa *storage* será última a sair da mesma.

Tabela 4.7: Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário "original"

Variáveis	Unidade	Valor
Utilização do <i>buffer</i>	Porcentagem	Entre 20 e 100
<i>Storage ranking rule</i>	-	LIFO
Velocidade do veículo	Metros por segundo	1.8
Capacidade de carga do veículo	Paletes	2
Tempo de carga do veículo	Segundos	15
Tempo de descarga do veículo	Segundos	15
Tempo de viagem na produção	Minutos	3
Tempo de viagem no armazém	Minutos	3
Numero de veículos no armazém- <i>buffer</i>	Veículos	1
Numero de veículos na produção- <i>buffer</i>	Veículos	10
Tipo de horário utilizado	-	<i>HumanWeek</i>

Todas as variáveis que se seguem são alusivas às propriedades dos veículos usados (empilhadoras). Estes valores foram definidos com base nas empilhadoras de contrapeso que são usadas tanto no reabastecimento do *buffer* como no transporte de material para a produção. Para a “capacidade de carga do veículo” foi usado o valor de dois, porque é possível o transporte simultâneo de duas paletes através das empilhadoras utilizadas. A velocidade, o tempo de carga e o tempo de descarga são valores médios recolhidos através da sensibilidade empírica dos colaboradores da empresa. O tempo de viagem na produção e o tempo de viagem no armazém são variáveis que controlam os valores associados aos *timepaths*. Estes já foram anteriormente explicados em 4.4.1. O “numero de veículos no armazém-*buffer*” e “numero de veículos na produção-*buffer*” são auto-explicativos. Aqui foram usados 10 veículos para o numero de veículos do lado da produção. Este valor não corresponde à realidade presente na fábrica. Na realidade existem duas empilhadoras na produção que são usadas para retirar material do *buffer*. No entanto é justificável o uso deste valor exagerado visto que o processo em estudo é o abastecimento do *buffer* e não o transporte de material para a produção. Assim é sempre garantido que o *bottleneck* está no lado do abastecimento e não da produção. O tipo de horário de trabalho usado chama-se “*HumanWeek*”. Este consiste no típico horário de trabalho de um operador na fábrica que inclui duas pausas de 10 minutos e uma pausa de 40 minutos para o almoço, por turno, isto é, de 8 em 8 horas.

As variáveis de controlo definidas para o cenário “Novo” são bastante semelhantes às usadas no cenário anterior. A principal diferença é o facto de o cenário “Novo” usar AGVs no abastecimento do *buffer*, por isso há um acréscimo de variáveis de controlo de propriedades específicas de AGVs. Na tabela 4.8 estão representadas as variáveis de controlo referentes ao cenário “Novo”.

Tabela 4.8: Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário "Novo"

Variáveis	Unidade	Valor
Utilização do <i>buffer</i>	Porcentagem	Entre 20 e 100
<i>Storage ranking rule</i>	-	FIFO
Velocidade do veículo	Metros por segundo	1
Capacidade de carga do veículo	Paletes	1
Tempo de carga do veículo	Segundos	20
Tempo de descarga do veículo	Segundos	20
Tempo de viagem na produção	Minutos	3
Tempo de viagem no armazém	Minutos	0
Numero de veículos no armazém- <i>buffer</i>	Veículos	Entre 1 a 3
Numero de veículos na produção- <i>buffer</i>	Veículos	10
Tempo de troca da bateria	Minutos	10
Tempo de duração da bateria	Horas	8
Tipo de horário utilizado	-	<i>HumanWeek</i>

Assim, irei destacar as principais diferenças nos valores atribuídos às variáveis de controlo deste cenário. A primeira diferença está na “*Storage ranking rule*” ser FIFO- “first in, first out”. Isto deve-se ao facto de, neste cenário, ser usado a proposta de *layout* apresentada em 4.3.2 onde existe uma estrutura central onde estão armazenadas as paletes de material e existem dois corredores distintos de acesso e recolha do material. A velocidade, capacidade de carga, tempo de carga e o tempo de descarga do veículo são valores que tiveram como suporte informações recolhidas dos fornecedores deste tipo de soluções autónomas. O numero de veículos usados no abastecimento do *buffer* irá variar de 1 a 3, para que seja possível avaliar quantos AGVs são necessários para garantir que nunca falta material na produção. Para a duração da bateria foi estimado um valor de 8 horas e um tempo de troca das baterias de 10 minutos. Em relação ao tipo de horário usado neste cenário, o “*AGVWeek*”, já não é contabilizado pausas de descanso ou almoço, ao contrário do que acontecia no “*HumanWeek*”.

Agora que foram clarificadas todas as variáveis de controlo de ambos os cenários, segue-se a análise dos resultados desses mesmo cenários.

4.4.4.2 Resultados

O primeiro cenário a ser simulado será o “Original”, visto que servirá de ponto de referência para que depois seja possível realizar a comparação deste cenário com o que inclui AGVs. Com o objetivo de tornar esta comparação o mais “justa” possível, os dados de entrada, isto é, as duas folhas de Excel que a simulação tem de *input* devem ser as mesmas. Por outras palavras, o número de pedidos criados em ambos os cenários assim como o número de matérias diferentes no *buffer* devem ser os mesmos. Sendo assim, foi feito um ajuste na quantidade de materiais que o *layout* atual tem. Quando se realizou uma análise de fluxos de matérias neste *buffer*, secção 4.3, chegou-se à conclusão que existia três materiais que efetivamente eram consumidos pelas misturadoras 0 à 9, mas que não constavam no armazém intermédio. Sendo assim, existiam duas

abordagens possíveis: a primeira seria eliminar todos os pedidos relativos ao abastecimento desses três materiais, o que resultaria de uma diminuição considerável de pedidos a serem processados na simulação, o que não é o desejado. Sendo assim, optou-se por uma outra abordagem que consiste em acrescentar locais de armazenagem para os três materiais em falta no *buffer*, de modo a que a quantidade de pedidos se mantivesse igual nos dois cenários. Estes três novos locais de armazenagem estão representados a azul na figura 4.33.

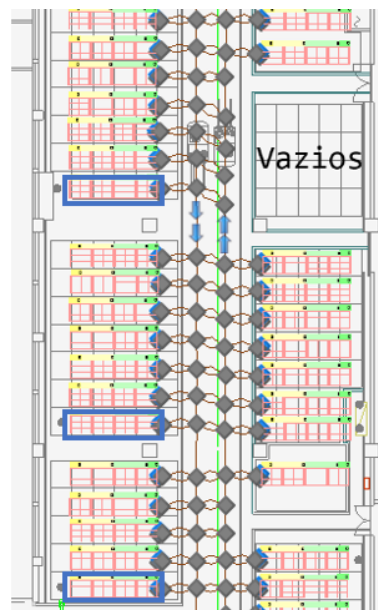


Figura 4.33: Planta *buffer* 1- *storage* acrescentadas a azul

Com este acréscimo de estes três locais de armazenamento no cenário “Original”, faz com que este seja favorecido, já que a sua capacidade aumenta ligeiramente.

Como foi dito anteriormente, o cenário “Original” tenta aproximar-se ao máximo da realidade atual da zona da fábrica em estudo. Assim, todos os resultados extraídos da simulação deste cenário estão representados na tabela 4.34.

Variáveis de controlo		Respostas			
Utilização do Buffer (%)	Numero de veículos	Utilização do veiculo (%)	Tempo médio de cumprimento de um pedido (min)	Tempo máximo cumprimento de um pedido (min)	Pedidos completos (%)
100%	1	46.9%	8.6	58.1	100%
90%	1	46.6%	9.0	72.0	100%
80%	1	46.7%	9.2	72.1	100%
70%	1	46.5%	10.2	93.7	100%
60%	1	46.7%	10.9	105.1	100%
50%	1	46.9%	12.9	151.3	100%
40%	1	47.8%	19.2	161.2	100%
30%	1	48.3%	29.0	190.4	99.5%
20%	1	45.5%	36.5	262.7	90.2%

Figura 4.34: Resultados do cenário "Original" com um veículo, variando a utilização do *buffer*

Nesta primeira experiência, é possível observar como o sistema responde a variações da capacidade do *buffer*. Sendo assim, segue a explicação do significado dos quatro resultados/respostas: A” utilização do veículo” é um valor percentual que representa a porção do tempo que o veículo responsável pelo abastecimento do *buffer* está efetivamente em operação. O “Tempo médio de cumprimento de um pedido” representa o tempo desde a criação de um objeto “pedido” na produção até à sua destruição, isto é, o tempo desde que o pedido é criado até ser totalmente satisfeito. O “Tempo máximo cumprimento de um pedido” é um valor indicativo de como o sistema responde a “picos” de pedidos da produção. Este valor é o tempo máximo do cumprimento de um pedido durante todo o mês simulado. Como foi referido anteriormente, um pedido é constituído por um código de um material, por uma data e por uma quantidade. O tempo de cumprimento de um pedido de uma paleta será bastante inferior ao de quinze paletes, daí os valores máximos atingidos aparentarem ser um pouco altos. Durante o mês simulado, março, pode-se observar na tabela ilustrada na figura 4.32 e no anexo C que tanto existem pedidos de uma paleta como existem pedidos de quinze paletes. A última resposta avaliada é a percentagem de pedidos completos. Quando este valor é inferior a 100%, está implícito que houve pedidos que não foram cumpridos. Os pedidos são considerados não cumpridos quando no fim dos 31 dias simulados do mês de março ainda há pedidos pendentes. Isto revela que o sistema de abastecimento e a capacidade do *buffer* foram insuficientes para o cumprimento de todos os pedidos da produção no mês simulado.

Nesta fase, é importante definir quais os modelos a validar, isto é, quais os intervalos de valores que são aceitáveis, ou não, para as respostas de uma dada simulação. Os resultados apresentados na tabela 4.34 irão servir como base para esta decisão. Atualmente, tem-se empiricamente a ideia que 0.7 empilhadoras são suficientes para abastecer este armazém intermédio de borrachas. Este valor foi retirado de uma análise ao sistema real feita por um supervisor do armazém. Sendo assim, o cenário mais próximo do real é o que usa a capacidade total do *buffer*, apresentado na primeira linha da tabela 4.34. Como não era possível simular apenas 70% de um veículo, simulou-se um veículo. Como já se sabe à priori que 0.7 veículos são suficientes, pode-se admitir que 8.6 minutos de tempo médio de cumprimento de um pedido é um valor com uma margem muito grande. Por isso, será aceitável alguma degradação do tempo médio de cumprimento de um pedido (cerca de 25%) e uma ligeira degradação no tempo máximo (cerca de 12%).

Sendo assim, para os resultados que se seguem, O modelo é validado se:

- Utilização do veículo $< 70\%$
- Tempo médio de cumprimento de um pedido < 10.75 minutos
- Tempo máximo cumprimento de um pedido < 65 minutos
- Pedidos completos $> 99.9\%$

Em relação à percentagem de utilização do veículo, foi estimado que 70% de utilização era um valor razoável, visto que é o mesmo que dizer que o veículo teve 30% do tempo “parado”. Por isso, 70% de utilização de um AGV é o valor aceitável já que oferece uma margem bastante

elevada para elementos perturbadores que a simulação não tem em conta, por exemplo, paragens de emergência causadas pelo atravessamento de pessoas ou paragens causadas pelo cruzamento com outros veículos em circulação. Quando a percentagem de pedidos completos se afasta de 100%, é um indicador bastante óbvio que o sistema não tem capacidade de acompanhar os pedidos criados. Por isso, a percentagem de pedidos completos deve ser superior a 99.9

Na tabela 4.35, estão apresentadas as respostas do sistema (cenário “Novo”) quando se varia o número de AGVs no abastecimento do *buffer* e a utilização percentual dos locais de armazenamento.

Variáveis de controlo		Respostas			
Utilização do Buffer (%)	Numero de veículos	Utilização média dos veículo (%)	Tempo médio de cumprimento de um pedido (min)	Tempo máximo cumprimento de um pedido (min)	Pedidos completos (%)
100	1	45.5%	9.3	32.7	100%
90	1	45.1%	9.5	51.9	100%
80	1	45.1%	9.7	56.2	100%
70	1	45.1%	10.1	60.2	100%
60	1	45.1%	10.6	67.0	100%
50	1	45.5%	11.5	74.6	100%
40	1	44.7%	15.2	141.7	97.1%
30	1	44.7%	21.2	165.8	97.1%
20	1	44.7%	32.3	184.8	97.1%
100	2	21.1%	9.2	32.7	100%
90	2	20.9%	9.3	32.7	100%
80	2	20.9%	9.4	32.7	100%
70	2	20.9%	9.6	34.3	100%
60	2	20.9%	9.8	34.6	100%
50	2	21.1%	10.1	46.1	100%
40	2	20.7%	11.1	62.4	97.1%
30	2	20.7%	13.0	79.4	97.1%
20	2	19.8%	16.7	88.9	97.1%
100	3	13.1%	9.2	32.7	100%
90	3	13.0%	9.3	32.7	100%
80	3	13.0%	9.3	32.7	100%
70	3	13.0%	9.4	34.3	100%
60	3	13.0%	9.6	34.6	100%
50	3	13.1%	9.7	34.6	100%
40	3	12.8%	10.2	42.4	97.1%
30	3	12.6%	11.1	44.4	97.1%
20	3	12.3%	13.7	60.9	97.1%

Figura 4.35: Resultados do cenário "Novo", variando o número de AGVs e a utilização do *buffer*

Os modelos assinalados a vermelho são os que não cumprem as condições de validação impostas. Em regra geral, os resultados mostram que com o aumento do número de veículos no armazém, a utilização necessária do *buffer* diminui.

A primeira conclusão que se retira é que para o uso de apenas um AGV no abastecimento do *buffer*, é necessário usar praticamente toda a capacidade de armazenamento do mesmo. Para garantir um nível de serviço aceitável com um veículo, comparativamente com o atual, a utilização

do *buffer* não deve descer abaixo dos 70%. Também é interessante constatar que o sistema que usa um AGV no abastecimento do *buffer*, consegue uma melhor resposta aos picos de pedidos da produção comparativamente com o cenário "Original" que usa uma empilhadora. O tempo máximo de resposta a um pedido no cenário "Original" com a utilização do *buffer* a 100% e com uma empilhadora a realizar o seu abastecimento (primeira linha da tabela 4.34), é de quase uma hora: 58 minutos. Nas mesmas condições, isto é, com 100% de utilização do *buffer*, nos resultados extraídos do cenário "Novo", observa-se que o tempo máximo de resposta a um pedido é cerca de metade: 32 minutos, mesmo quando o abastecimento é realizado por um AGV (primeira linha tabela 4.35). Este resultado é a prova de que uma melhor distribuição dos materiais pelo *buffer* (redistribuição proposta em 4.3.3) tem uma elevada influência na forma como o sistema reage aos picos de pedidos da produção.

Por outro lado, se forem usados dois AGVs no transporte de material do armazém para o *buffer*, o nível de utilização do *buffer* pode descer até aos 50%. Isto significa que, com dois veículos, era possível reduzir para metade a capacidade do *buffer* sem sacrificar o desempenho do sistema.

Uma outra ilação retirada destes dados é que não existe uma diferença justificável para o investimento de um terceiro veículo. Com três AGVs, para além a utilização média de os veículos rondar os 13%, que é um valor exageradamente pequeno, quando se tenta diminuir a capacidade do *buffer* para menos de 50%, o sistema já não consegue acompanhar os pedidos.

Capítulo 5

Caso de estudo 2: Paletização Final

5.1 Apresentação do problema

Este caso de estudo teve lugar na zona de inspeção e paletização final. É aqui onde o produto acabado, os pneus, são patetizados para posteriormente poderem ser distribuídos através de camiões. As torres de paletização são os locais onde os pneus são colocados em paletes. Existem dois tipos de torres: manuais e automáticas. Nas torres de paletização manuais, um conjunto de operadores coloca manualmente os pneus nas respetivas paletes, enquanto que nas torres de paletização automáticas, esta tarefa é realizada com a ajuda de manipuladores robóticos.

A área de interesse neste caso de estudo está representada na imagem 5.1.

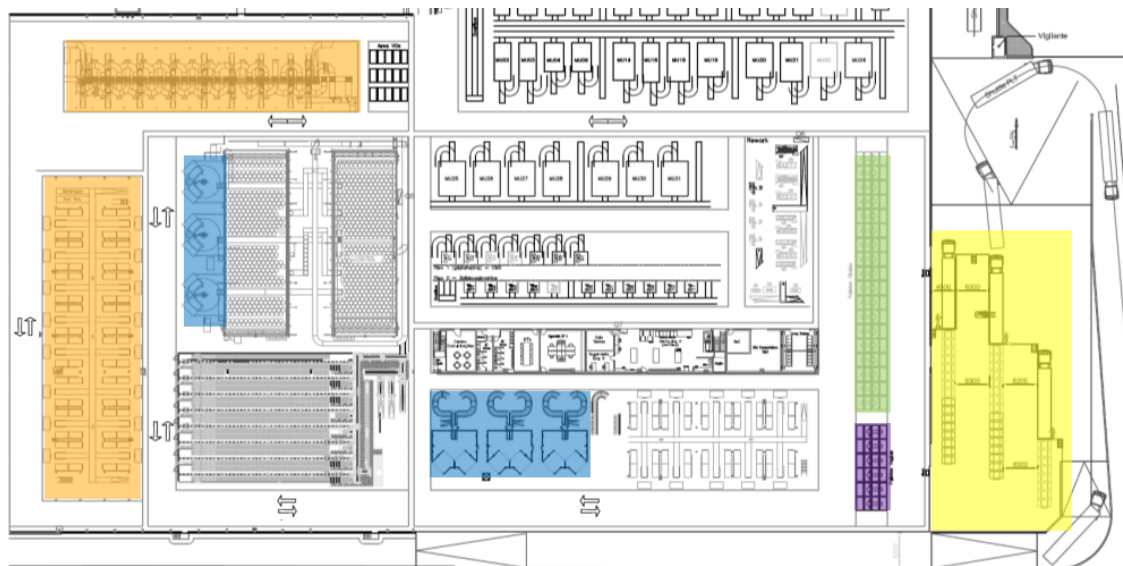


Figura 5.1: Planta da zona de paletização final

As áreas indicadas a cor de laranja representam os locais das torres de patelização manual. Estas têm um *output* médio diário de 395 paletes. As áreas indicadas a azul, são os locais de paleticação automática e debitam em média 526 paletes por dia. Note-se que, o número de pneus

contidos em cada paleta varia com o tamanho do pneu em causa. Neste caso de estudo, a unidade de "quantidade" irá ser expressa em paletes e não pneus.

Os locais indicados a verde e roxo na planta 5.1, são ambos *buffers* de paletes. O local a verde serve de armazém intermédio de **paletes cheias**. É neste local onde se armazena temporariamente as paletes cheias quando estas ainda não foram transportadas para os respetivos camiões responsáveis pela sua distribuição (zona amarela). O local indicado a roxo, é um armazém intermédio de **paletes vazias**. As paletes vazias que são devolvidas pela zona amarela, são armazenadas na zona a roxo, para posteriormente serem transportadas para junto das torres de paletização para serem novamente utilizadas.

Neste momento, o transporte tanto das paletes cheias como das paletes vazias é feito através de empilhadoras convencionais de contra-peso. Os operadores destas empilhadoras são responsáveis pelo transporte das paletes cheias desde as torres de paletização até a zona de despacho. Estes também são responsáveis pelo transporte das paletes vazias desde o seu retorno até junto das torres de paletização.

Também se pode observar algumas setas brancas que representam o sentido de circulação atual das empilhadoras nos corredores de circulação.

Este caso de estudo terá como principal objetivo integrar soluções autónomas no transporte das paletes cheias e vazias.

5.2 Soluções de transporte e ajustes de *layout*

Com o objetivo de aumentar a produtividade e eficiência do transporte de paletes na zona de paletização final, decidiu-se avaliar o impacto que diferentes soluções de transporte teriam no sistema real. Como se pode observar na planta apresentada em 5.1, existem vários corredores de circulação, cada um com diferentes comprimentos e larguras. De forma a simplificar a análise individual de cada um, foi efetuada a divisão da planta apresentada em 5.1 em três áreas. A figura 5.2 ilustra como essa divisão foi feita.

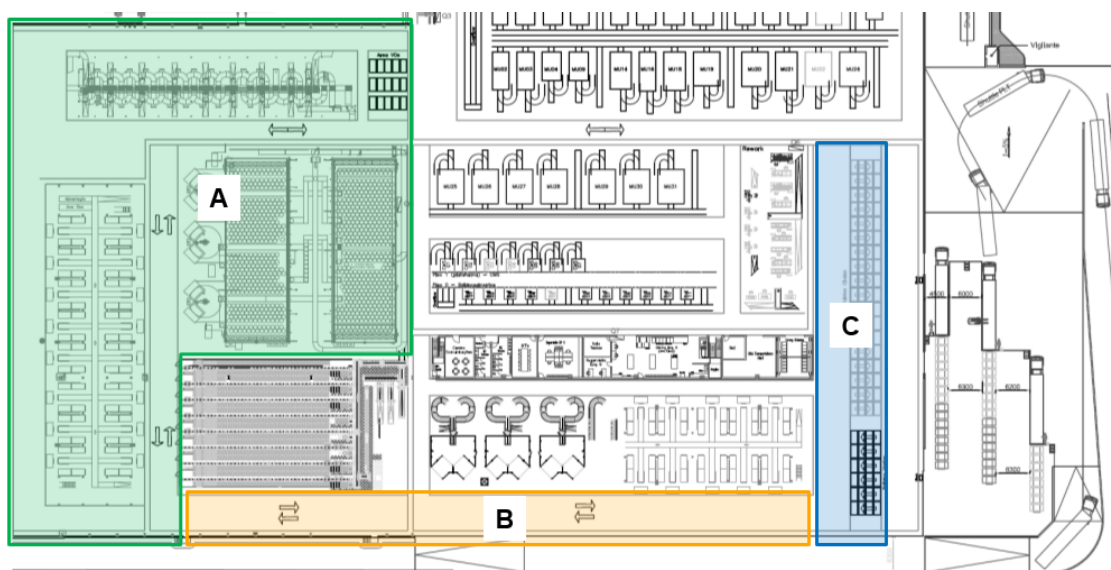


Figura 5.2: Planta da zona de paletização final dividida em três áreas: A, B, C

O primeiro local a ser alvo de uma mudança foi a área "B". Como é possível observar na figura 5.2, é nesta zona onde está localizado o corredor com maior comprimento da planta apresentada. Sendo assim, decidiu-se que a solução de transporte paletes mais adequada neste corredor seria o uso de transportadores. Como foi referido em 2.2.1, os transportadores são soluções ideais quando se trata do transporte de materiais numa rota bem definida entre dois pontos. Esta solução apenas necessita de mão de obra nos locais de carga e descarga das paletes. Neste corredor há um fluxo de paletes em dois sentidos- são transportadas paletes cheias das torres de paletização para a zona de despacho e são transportadas paletes vazias no sentido contrário. Assim, decidiu-se avaliar uma solução que envolvesse um transportador com dois níveis em altura, para que, num espaço confinado, fosse possível realizar o transporte de paletes em ambos os sentidos, sem ocupar demasiado o espaço disponível. O tipo de transportador a usar é o tapete de correntes, já que as paletes são metálicas e podem pesar até uma tonelada. A figura 5.3 esquematiza a solução que inclui o tapete de correntes assente numa estrutura de dois níveis.

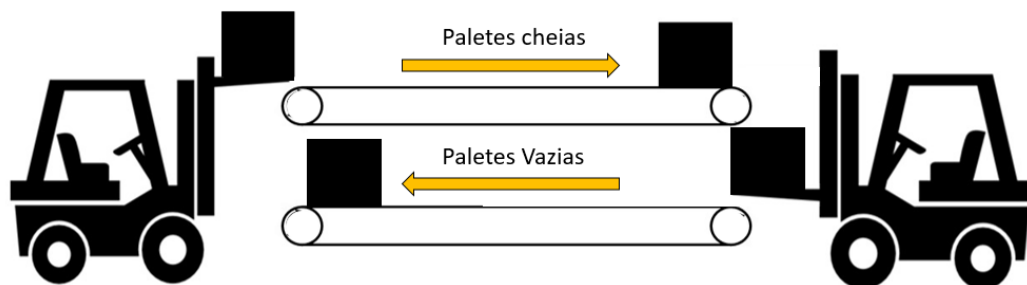


Figura 5.3: Tapete de correntes assente numa estrutura de dois andares. Sentidos e tipos de material em circulação

As paletes que transportam os pneus têm cerca de dois metros de comprimento e um de largura.

Para que a largura do corredor "B" fosse aproveitada ao máximo, admite-se que as paletes são postas "ao comprimento" no transportador. Assim, o que resta do corredor tem largura suficiente para a circulação de outros veículos em paralelo. Isto pode ser especialmente útil se eventualmente for necessário parar o transportador para manutenção ou ocorrer uma avaria que impeça que o mesmo realize o transporte das paletes. Neste caso, poderia-se usar uma empilhadora de contra-peso para, temporariamente, realizar o transporte das paletes. Assim, a solução apresentada mostra alguma flexibilidade.

Em relação à zona "A", o transporte desde as torres de paletização até ao transportador localizado na zona "B" [5.3](#), idealmente seria feito com veículos autónomos. Com o *layout* apresentado em [5.2](#), tal não é possível. Devido à largura das paletes mais o raio de curvatura necessário do AGV, chegou-se à conclusão que a largura dos corredores na zona "A" era insuficiente para a circulação em dois sentidos usando veículos autónomos [5.4](#).

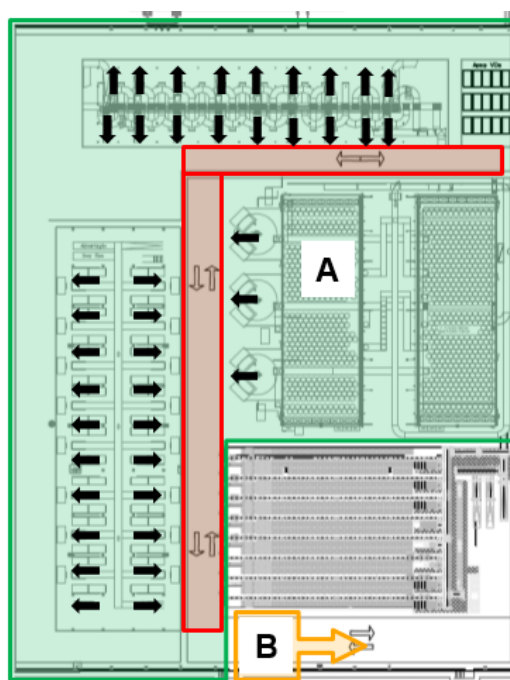


Figura 5.4: Zoom da zona "A- corredores incompatíveis com AGVs

Um outro elemento que torna o espaço incompatível com o uso de AGVs é a forma como as paletes são colocadas depois da paletização manual. Como se pode observar na figura [5.4](#), cada torre de paletização manual é constituída por vários pontos de saída de paletes, que estão representados através de setas pretas. Nestes pontos, não existe uma posição bem definida para a colocação das paletes, o que complica bastante o uso de veículos autónomos. Estes precisam de locais de recolha de material com posições *standard*, isto é, bem definidas, caso contrário o seu uso é bastante dificultado ou impossível. Ao contrário das torres de paletização manual, as torres automáticas têm posições bem definidas para a colocação das paletes cheias (torre localizada à direita na figura [5.4](#)).

Conclui-se desta forma que, para a inserção de veículos autónomos no processo de transportar as paletes na zona "A" até ao transportador da zona "B", era necessário alargar os corredores de circulação e substituir as torres de paletização manual por torres de paletização automática. Assim, na figura 5.5 está representada a nova proposta de alteração do *layout* onde as torres manuais localizadas na área laranja da figura 5.1 foram totalmente substituídas por torres de paletização automáticas, tornando desta forma a zona "A" num espaço "AGV Friendly".

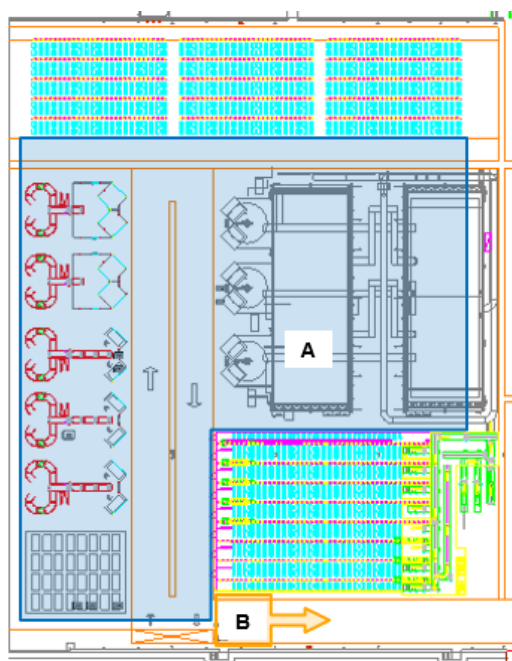


Figura 5.5: Proposta de alteração de *layout*- Paletização 100% automática

De notar que a zona "C" não é alvo deste estudo. No entanto é uma zona relevante de se analisar pois é o elo de ligação do corredor "B" para o transporte dos pneus para os respetivos camiões. Na zona "C" existiam duas soluções passíveis de se aplicar.

A primeira consistia na colocação das paletes no chão (na zona de armazenagem assinalada a verde e roxo na figura 5.1) através do uso de empilhadoras. Assim, eram usadas empilhadoras convencionais no transporte das paletes cheias desde o ponto de recolha do transportador até ao respetivo *buffer* e no transporte das paletes vazias do *buffer* de vazias para o ponto de carga do transportador localizado na zona "B". Aqui, está implícito que o tipo de armazenagem usado nos *buffers* era o empilhamento das paletes umas por cima das outras (*black stacking*).

A segunda alternativa, de natureza mais automática, consiste no uso de uma estrutura de armazenagem de paletes em cada *buffer* em conjunto com gruas empilhadoras (*stacker cranes*). Assim, a zona "C" funcionaria como uma espécie de armazém automático onde o transporte das paletes cheias e vazias eram garantidos automaticamente através de gruas empilhadoras assim como a colocação das paletes nas respetivas estruturas, sem que fosse necessário qualquer intervenção humana.

Um outro pormenor também bastante importante de clarificar é a forma como as paletes cheias são transportadas desde a torre de paletização automática (localizada a meio do corredor "B") até ao *buffer* de paletes cheias e do *buffer* de vazias até à torre em causa. De modo a otimizar as distâncias percorridas e para evitar o desperdício de recursos, simplesmente admitiu-se que é possível o transporte das paletes da torre automática para o transportador sem que este obstruísse a passagem no corredor (setas a azul 5.6). Na figura 5.6 está representada a torre de paletização automática em causa, assinalada a azul, e o transportador de paletes anteriormente referido, assinalado a cinzento escuro.

Esta solução passaria pelo uso de um manipulador que retirasse as paletes cheias dos pontos de saída e as colocasse num segundo transportador que teria ligação com o transportador representado a cinzento na figura 5.6. Este segundo transportador estaria montado sobre numa estrutura em altura de modo a não obstruir a passagem a outros veículos no corredor localizado na zona "B". Está aqui subentendido que existe um ponto intermédio no transportador onde é possível tanto colocar paletes cheias de pneus como retirar vazias, para que o fluxo natural de paletes seja assegurado na torre de paletização automática.

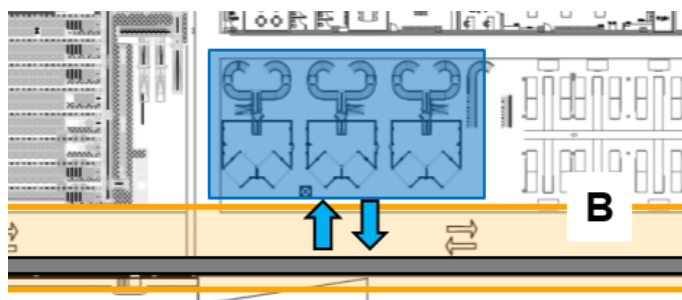


Figura 5.6: Transporte automático das paletes da torre até ao transportador

5.3 Simulação

Esta secção iniciará com uma descrição e a devida justificação dos cenários escolhidos para a simulação. As simplificações adotadas também serão esclarecidas nesta secção.

De seguida será feita a enumeração e explicação de todos os objetos presentes nas simulações.

Por último, serão espostos e analisados os resultados dos cenários simulados. Aqui também será averiguado o impacto da automização de todo o processo de transporte de paletes na zona de inspeção e paletização final.

5.3.1 Cenários Simulados

Esta simulação tem como principal objetivo o estudo de diferentes soluções de transporte de paletes na zona de inspeção final. Assim, no seguimento das soluções de transporte propostas na secção anterior, foram definidos dois cenários.

Note-se que, a solução para o transporte de paletes no corredor "B" da figura 5.2 que incluía usar um tapete de correntes foi considerada de tal forma vantajosa que foi usada em ambos os

cenários. Como foi referido anteriormente, a zona representada pela letra "C" não é alvo deste estudo, concluindo-se assim, que as diferenças significativas entre os dois cenários que irão ser simulados estarão contidas na zona "A".

Assim, o primeiro cenário simulado está representado na figura 5.7. Neste, o tipo de veículo usado no transporte de paletes são empilhadoras de contra-peso. Como se pode observar, foram desenhadas setas bidirecionais de diferentes cores de modo a ajudar a compreensão dos processos envolvidos.

As setas assinaladas a cor-de-laranja indicam os pontos médios que foram considerados para as torres de paletização. Assim, estas setas representam os pontos de carga e descarga das paletes cheias e vazias, respetivamente, por parte das empilhadoras.

A seta assinalada a cinzento claro representa os locais de entrega e recolha de paletes no tapete de correntes localizado ao longo do corredor "B". Na outra ponta deste corredor também foram desenhadas duas setas vermelhas de sentidos opostos de modo a reforçar a existência de dois sentidos no fluxo de paletes cheias e vazias no transportador. Este transportador foi modelado na simulação como dois transportadores, lado a lado, de modo a facilitar a visualização da circulação de paletes nos mesmos a duas dimensões.

Por fim, a zona assinalada com um retângulo azul claro, no canto inferior esquerdo, representa um local intermédio para a colocação de paletes vazias. As paletes vazias que chegam do transportador à zona "A", são temporariamente postas num local de armazenagem intermédio antes de serem transportadas para as respetivas torres de paletização para poderem ser reutilizadas.

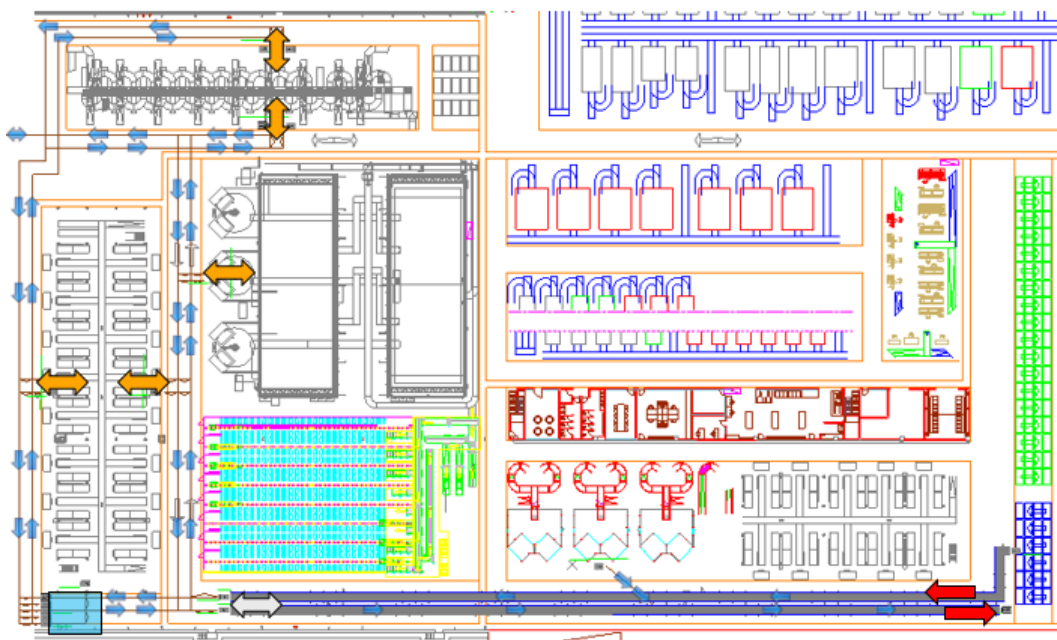


Figura 5.7: Cenário simulado na zona de inspeção final usando empilhadoras

Na figura 5.7 também é possível observar pequenas setas azuis que representam os caminhos e os sentidos de circulação que foram definidos para os veículos usados.

O cenário que se segue, em termos de lógica de funcionamento, é bastante similar ao anteriormente descrito. As principais diferenças passam pelo *layout* usado e pela solução adotada para o transporte de paletes na zona "A". Neste cenário serão usados AGVs em vez de empilhadoras para o transporte de paletes.

Este novo cenário está representado na figura 5.8. Como se pode ver, as torres de paletização manuais foram substituídas por torres de paletização automáticas, alterando ligeiramente os pontos de carga e descarga das paletes cheias e vazias, respetivamente.

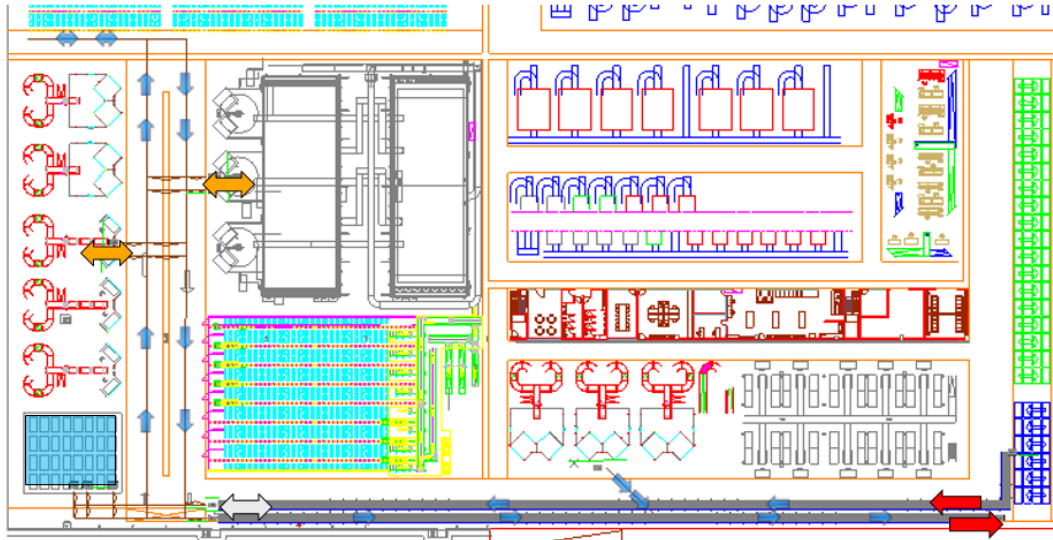


Figura 5.8: Cenário simulado na zona de inspeção final usando AGVs

Uma característica que claramente "salta à vista" neste novo cenário é o facto de o *layout* ser bastante mais simples, tornando-o mais compatível com AGVs. Existem menos pontos de recolha e entrega de paletes, pois as torres de paletização automáticas só têm uma frente. O significado das setas e áreas de diferentes cores é também aplicado para este cenário.

Note-se que o *output* diário em número de paletes é o mesmo em ambos os cenários. Assim, mesmo que os pontos de carga e descarga nas torres de paletização variem em quantidade e posicionamento nos cenários apresentados, o fluxo de circulação de paletes é o mesmo.

Agora que, os processos envolvidos e as principais diferenças entre os dois cenários foram esclarecidos, será feita a enumeração as simplificações inerentes e cada um:

- A primeira simplificação em ambos os cenários é admitir um ponto médio de recolha e entrega das paletes nas diferente torres de paletização. Como foi explicado anteriormente, existem vários pontos de saída de paletes cheias das torres de paletização (principalmente nas torres manuais). Com o objetivo a simplificar e de não tornar "pesada" a simulação de ambos os cenários, foram considerados pontos médios nas torres de paletização.
- Uma outra simplificação toma lugar nos locais de armazenagem de paletes vazias (área assinalada a azul) na zona "A". Nestes, não se está a ter encontra uma possível limitação de capacidade consoante o espaço reservado para a mesma. Por outras palavras está a ser

considerado uma capacidade destes *buffers* infinita. Esta simplificação foi adotada pois o dimensionamento destes locais de armazenagem de paletes vazias não fazia parte do projeto em causa. O foco deste problema está mais relacionado com fluxo e o transporte das paletes e não o seu armazenamento.

5.3.2 Objetos da simulação

Nesta secção será feito um levantamento dos objetos que foram usados de modo a modelar os cenários anteriormente referidos. Para que a dissertação não se torne repetitiva, já que muitos destes objetos foram expostos na secção 4.4.2, será feito um resumo muito breve dando principal foco aos objetos que não foram referidos na simulação do primeiro caso de estudo.

Entidades do Modelo

As entidades participantes na simulação destes modelos são a paleta cheia e a paleta vazia. Estas estão ilustradas a figura 5.9. Tal como o nome indica, a paleta cheia representa uma paleta pronta a ser entregue na zona de despacho da fabrica. Nesta estão contidos pneus que podem ter variados tamanhos. As paletes vazias são as paletes que foram retornadas e devem ser entregues junto das torres de paletização para serem reutilizadas.

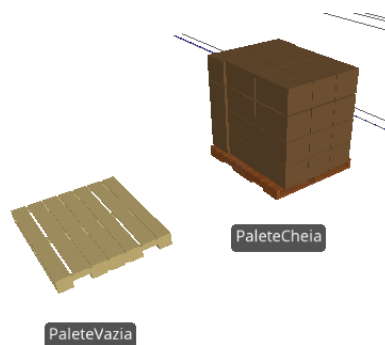


Figura 5.9: Entidades do modelo. Paleta vazia à esquerda e paleta cheia à direita

Assim, de uma forma similar ao que acontece na simulação do primeiro caso de estudo, a unidade de referencia de quantidade é a paleta.

Sources e Sinks

As *sources* ou "fontes" e os *sinks* são objetos que fazem parte da biblioteca *standard* do *Simio*. Os primeiros criam as entidades, neste caso as paletes. Os *sinks* são os objetos que destroem as entidades criadas. Assim foram definidos diferentes pontos de criação e de destruição ao longo da área simulada. Como se pode observar na figura 5.10 a), cada torre de paletização contém uma fonte de paletes cheias e um *sink* de paletes vazias. O *sink* das paletes cheias representado na figura 5.10 b), está localizado na extremidade direita do transportador de correntes localizado no corredor "B", ou seja na zona de despacho onde as paletes cheias são entregues (ver setas a vermelho na figura 5.8). Por outro lado, as paletes vazias têm de ser transportadas da zona de despacho até

às torres de paletização, por isso existe uma fonte de vazias nessa mesma area representada pelo figura 5.10 c).

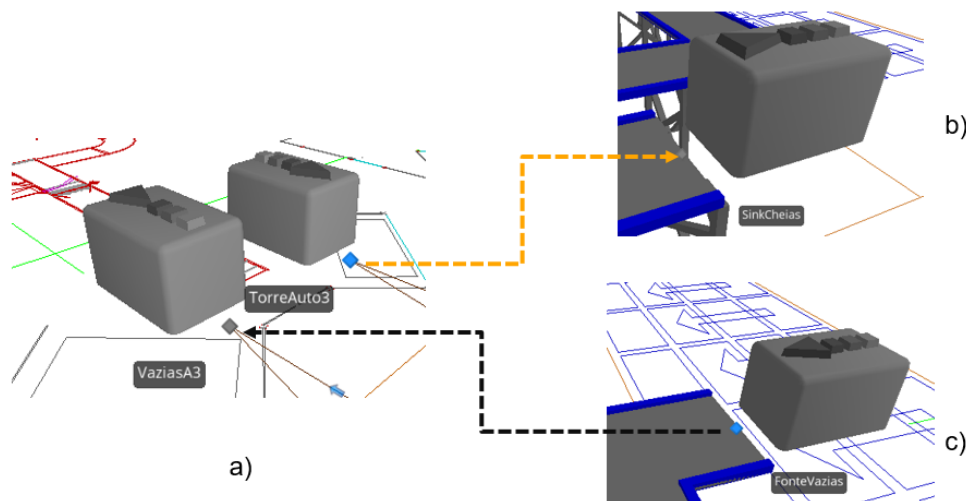


Figura 5.10: *Sources e Sinks*. a) torre de paletização. b) *Sinks* de paletes cheias. c) *Sources* de paletes vazias

Assim, o "ciclo de vida" de uma paleta cheia descreve-se da seguinte forma. A paleta cheia é criada a uma velocidade correspondente a "x" paletes por dia em cada fonte colocada no ponto médio da respetiva torre de paletização. Posteriormente, um veículo transporta a paleta cheia desde o seu ponto de criação até ao transportador de paletes cheias que a levará até à zona de despacho onde se encontra o *sink* de paletes cheias, b).

O processo inverso toma lugar para se descrever o "ciclo de vida" de uma paleta vazia. Esta é criada na ponta do transportador junto à zona de despacho para ser transportada pelo mesmo até à zona "A". Aqui, o veículo transporta a paleta vazia para um *buffer* intermédio e só depois é transportada para as respetivas torres de paletização. Na figura 5.10 a), a etiqueta com o nome "VaziasA3" representa um exemplo de um local final (*sink* de paletes vazias) para onde as paletes vazias devem ser levadas.

Cada fonte tem uma propriedade associada à mesma que define o *output* desejado num certo intervalo de tempo de uma dada de entidade. Assim é possível alterar o valor desta propriedade de forma a que se aproxime do output das torres de paletização reais. Como foi explicado anteriormente, as torres manuais debitam uma quantidade diferente de paletes do que as torres automáticas. Assim, esta propriedade por ser ajustada ao gosto o utilizador.

Veículos, caminhos e nós

O principal objetivo de simular estes cenários é saber quantos veículos são necessários para que o transporte tanto de paletes cheias como de paletes vazias fosse assegurado. Assim, foram usado veículos da biblioteca standard do *Simio* que representam as empilhadoras ou os AGVs dependendo do cenário a ser simulado. Este objeto está ilustrado na figura 5.11

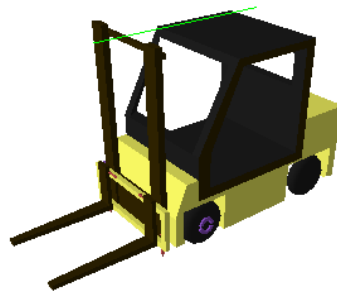


Figura 5.11: Veículo *standard* em *Simio* com um símbolo de empilhadora aplicado

Este veículos desempenham as tarefas de transporte das entidades simuladas. Quando o veículo tem de decidir qual a fonte de onde deve retirar uma dada paleta, este segue uma ordem temporal. Dito por outras palavras, o veículo "escolhe" realizar o transporte das paletes que estão à mais tempo no sistema, podendo desta forma concluir-se que o sistema segue uma filosofia FIFO.

Em relação aos caminhos, foram usados caminhos unidireccionais de modo a que houvesse um sentido a ser respeitados nos corredores. Assim, os veículos presentes na simulação viajam apenas pelos caminhos definidos no sentido correto. Também foram usados nós para se definir pontos de cruzamento desejáveis, para que as distancias percorridas pelos veículos fosse a minima. Na figura 5.12 estão ilustrados alguns caminhos e nós que foram modelados.

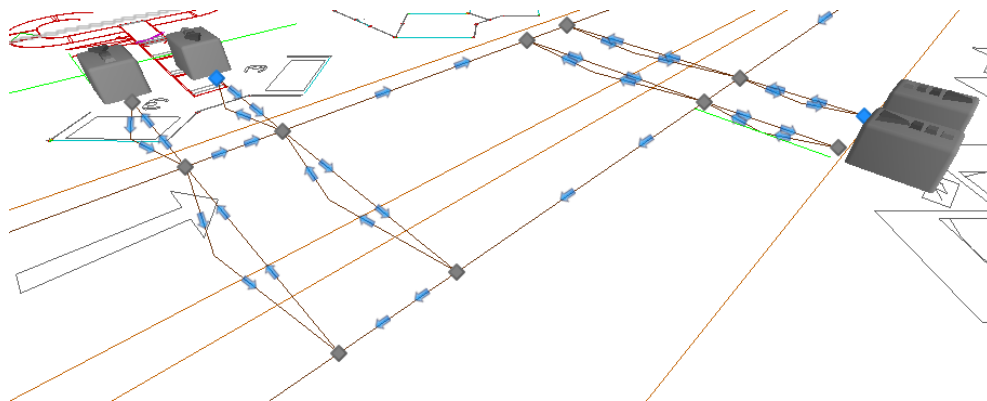


Figura 5.12: Exemplo de caminhos e nós modelados no cenário que usa o AGVs

Na secção seguinte serão ilustrados os resultados pertinentes de ambos os cenários simulados.

5.3.3 Resultados e discussão

Em primeiro lugar, serão definidos quais os valores das variáveis de controlo que cada cenário usa. Assim, nas tabelas 5.1 e 5.2 estão indicadas as variáveis e dos respectivos valores atribuídos às mesmas para os dois cenários simulados.

Tabela 5.1: Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário que usa empilhadoras

Variáveis	Unidade	Valor
Numero de veículos	Veículos	Entre 4 e 8
Velocidade do veiculo	Metros por segundo	2.2
Capacidade de carga do veiculo	Paletes	1
Tempo de carga do veiculo	Segundos	20
Tempo de descarga do veiculo	Segundos	20
Tipo de horário utilizado	-	HumanWeek

Tabela 5.2: Tabela das variáveis de controlo usadas no cenário que usa AGVs

Variáveis	Unidade	Valor
Numero de veículos	Veículos	Entre 4 e 8
Velocidade do veiculo	Metros por segundo	1
Capacidade de carga do veiculo	Paletes	1
Tempo de carga do veiculo	Segundos	15
Tempo de descarga do veiculo	Segundos	15
Tipo de horário utilizado	-	AGVWeek

Note-se que os valores usados nesta simulação, em relação às empilhadoras e aos AGVs, diferem um pouco relativamente aos usados na simulação do primeiro caso de estudo feita na secção 4.4.4.1. Isto deve-se ao facto dos projetos tomarem lugar em diferentes áreas na fábrica. Assim, foram usados valores de diferentes magnitudes consoante o projeto em causa. No entanto, é importante referir que estas variáveis de controlo podem ser facilmente alteradas de modo a correr novamente os cenários simulados em poucos minutos.

Esta simulação teve a duração de uma semana. Para os resultados que se seguem, o modelo é validado se:

- Utilização do veiculo < 75%
- WIP final aproximadamente igual ou inferior ao WIP médio
- Estabilidade > 99.9%

O WIP é um acrónimo inglês para *Work in Progress*. Neste caso em específico representa o número de paletes (cheias ou vazias) que se encontram em circulação no sistema. O WIP foi modelado como sendo uma variável inteira global da simulação. Sempre que é criado uma paleta esta variável é incrementada e quando uma entidade é destruída, esta variável é decrementada. Assim, o WIP médio representa quantas paletes em média existem no sistema a serem transportadas ou à espera para serem transportadas. O WIP final não é mais do que o valor da variável inteira WIP no final da simulação. Através destes valores é possível tirar conclusões à cerca da estabilidade do sistema. Se o WIP final for bastante superior ao WIP médio, pode indicar que há cada vez mais paletes da simulação a serem processadas à medida que o tempo passa. Por outras palavras quer dizer que estão a ser criadas paletes a uma velocidade superior do que as que estão a ser destruídas,

tornando o sistema insustentável. A resposta "Estabilidade" representa a divisão entre o número de entidades criadas e o número de entidades destruídas. Assim, através da análise destas três respostas é possível perceber se existem veículos suficientes para realizar o transporte de todas as paletes criadas na simulação dos dois cenários.

Para os valores das variáveis de controlo apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2, os resultados estão apresentados nas tabelas ilustradas nas figuras 5.13 e 5.14.

Numero de veículos	Utilização dos veículos (%)	WIP médio	WIP final	Estabilidade (%)	Distância média percorrida (Km)
4	100%	2200	4402	85.9%	646.8
5	93.1%	40	37	99.9%	583.5
6	74.1%	22.7	6	99.9%	446.3
7	58.8%	18.4	5	99.9%	328.6
8	50.9%	16.7	5	99.9%	280.9

Figura 5.13: Resultados obtidos do cenário que usa empilhadoras

Numero de veículos	Utilização dos veículos (%)	WIP médio	WIP final	Estabilidade (%)	Distância média percorrida (Km)
4	100%	1899.4	3781	87.9%	414.305
5	100%	932.8	1871	94.0%	438.797
6	75.0 %	9.6	10	99.9%	306.272
7	62.2 %	8.7	8	99.9%	249.646
8	54.2 %	8.5	8	99.9%	217.123

Figura 5.14: Resultados obtidos do cenário que usa AGVs

Para o caso do cenário que usa empilhadoras, é possível observar que 6 empilhadoras são suficientes para tornar o sistema estável. Para o caso do cenário que usa AGVs chegou-se à conclusão que é necessário de, no mínimo, 6 veículos autónomos.

Estes resultados são bastante interessantes pois, mais uma vez, é possível de observar o impacto no sistema de uma mudança de *layout*. Como é possível observar nas tabelas 5.1 e 5.2, uma empilhadora move-se a mais do que o dobro da velocidade de um AGV. No entanto, como no primeiro cenário é necessário percorrer maiores distâncias devido ao posicionamento das torres de paletização, conclui-se que os percursos estão bastante melhor otimizados no segundo cenário que usa apenas torres de paletização automáticas.

O novo *layout* demonstrou resultados de tal modo cativantes que foi realizado mais uma simulação de modo a avaliar apenas o impacto do novo *layout* comparativamente com o antigo. Assim, foi simulado um terceiro cenário onde foi usado o novo *layout* (*layout* que apenas continha torres de paletização automáticas) sendo o transporte das paletes era assegurado por empilhadoras.

Os resultados da simulação deste terceiro cenário revelaram que o com apenas cinco empilhadoras, com uma utilização média de 76%, é garantido o bom funcionamento de todo o sistema

(estabilidade). Assim, conclui-se que a mudança do *layout* antigo para o novo, isto é, a substituição das torres de paletização manuais por de torres de paletização automáticas, permite o uso de menos recursos, neste caso, o uso de menos uma empilhadora comparativamente com os resultados obtidos em [5.13](#).

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros

Como nesta dissertação estão incluídos dois projetos distintos, este capítulo irá estar dividido em duas partes. Numa fase inicial serão comentados os resultados obtidos no caso de estudo 1, presentes no capítulo 4. Aqui também será feita uma reflexão sobre as possíveis melhorias a implementar de modo a tornar as simulações e os seus resultados mais realistas. Numa segunda fase serão discutidos os resultados obtidos no capítulo 5. De forma semelhante ao que foi feito para o primeiro caso de estudo, também serão expostas algumas melhorias que futuramente poderiam ser implementadas.

Caso de Estudo 1

Esta dissertação visa a implementação de AGVs no processo de abastecimento de um *buffer*. Como tal, é necessário tornar o espaço "AGV friendly". Para tal foi proposto um novo *layout* com dois corredores de circulação encostados à parede e o local de armazenagem no centro. Assim existe uma separação física entre o corredor onde circularão AGVs e o corredor onde circularão empilhadoras convencionais. Esta separação aumenta consideravelmente a produtividade do AGV visto que o número de interferências diminui consideravelmente.

Numa primeira análise revelaram-se uma serie de problemas do foro logístico no *buffer*. Entre elas realça-se a distribuição pouco ponderada dos materiais pelo espaço disponível. Para colmatar este problema procedeu-se uma reorganização da área. Em primeiro lugar atribui-se o número de espaços a cada material com base na premissa "é necessário garantir um tempo até *stock out* de dois dias". Seguiu-se a análise ABC e XYZ de modo a conhecer o consumo de cada material e a forma como este varia num determinado período de tempo. Assim foi possível realizar uma distribuição ponderada otimizando os processos envolvidos neste problema.

Posto isto, foram simulados dois cenários. Um primeiro que se tenta aproximar da realidade atual do sistema considerando o abastecimento do *buffer* realizado com empilhadoras. E um segundo cenário com as alterações do *layout* e distribuição dos materiais propostos sendo o armazém intermédio abastecido por AGVs em vez de empilhadoras.

No que toca ao numero de AGVs requeridos, foram retiradas duas principais conclusões. A primeira é que com apenas um AGV é possível garantir o abastecimento do *buffer* sem que falte

material à produção revelando uma taxa de utilização de 45%. É importante referir que com a utilização de um veículo autónomo é possível reduzir até 70% a capacidade do *buffer* sem comprometer do bom funcionamento do sistema.

A segunda ilação é que a implementação de dois AGVs apresenta uma taxa de utilização de cerca de 20% e permite uma redução da capacidade do *buffer* até 50%.

Com base nestes dados concluiu-se que a implementação de um AGV seria a melhor opção. Primeiro, a aquisição deste tipo de tecnologia representa um investimento avultado para a empresa, não se justificando a compra do segundo. A operação apenas com um AGV permite uma taxa de utilização do veículo moderada (45%), havendo uma margem considerável para possíveis interferências. Para além disso a capacidade do *buffer* pode ser reduzida em 30% tornando-se esta melhor solução.

No que toca a considerações futuras, seria interessante uma análise ABC e XYZ mais abrangente. Note-se que o estudo realizado neste projeto teve por base apenas os quatro primeiros meses de 2017. Assim, a distribuição sugerida é apenas aplicável à época de produção de pneus de verão, não sabendo se resultaria na produção de pneus de inverno visto não existirem dados referentes a esses meses. Ao realizar uma análise com uma amostra de, pelo menos, um ano de dados seria possível averiguar se existem materiais que podem estar armazenados no *buffer* durante todo o ano ou se é necessária uma revisão do mesmo de seis em seis meses, isto é, sempre que o ciclo produtivo se altera.

Relativamente à tabela de pedidos (*Request Table*) que a simulação usa como entrada, idealmente seriam usados dados do consumo das misturadoras à hora. Contudo esses dados não existem, por isso foram utilizados os dados do transporte do material do armazém para o *buffer* de borrachas. O principal problema associado a esta aproximação é o facto de o abastecimento ser realizado, por vezes, em grandes quantidades de uma só vez, refletindo-se na simulação num pedido de paletes exageradamente grande que na realidade não aconteceria. Na situação atual, um operador responsável do armazém é capaz de, por exemplo, abastecer quinze paletes de um só material durante meia hora, fazendo o registo dessa movimentação apenas no final. Este caso, na simulação, é equivalente a um pedido por parte da produção de quinze paletes instantaneamente, conduzindo picos de pedidos irrealistas.

Por último, penso que a implementação de veículos autónomos compensa quando se consegue amortizar o investimento a curto-médio prazo. Para além disso, este tipo de soluções deve refletir-se na otimização de um processo reduzindo eventuais despesas associadas à mão de obra, stocks, etc. Assim, ao ser necessário um ponto intermédio entre o armazém de matérias primas e o *buffer*, onde um operador coloca as paletes à disposição do AGV não se está a otimizar o processo. Por isso, para a implementação de um AGV sugiro a reformulação do armazém de matérias primas, de modo a tornar também este espaço "*AGV friendly*". Desta forma, o processo de abastecimento do *buffer* seria 100% autónomo.

Caso de Estudo 2

Este projeto tem como objetivo implementar veículos autónomos do transporte de paletes na

zona de inspeção final da empresa. Assim, foi analisado a planta do local em estudo e concluiu-se que eram necessários alguns ajustes de modo a tornar este espaço "AGV friendly". De modo a colmatar as barreiras encontradas à implementação de AGVs, foi proposto uma alteração de *layout* que passava pela substituição das torres de paletização manuais por torres de paletização automáticas e pelo reposicionamento das mesmas de modo a que a largura de todos os corredores de circulação fosse suficiente para a movimentação de veículos autónomos.

Com a finalidade de avaliar o impacto da mudança de *layout* e da implementação de AGVs neste sistema, foram definidos dois cenários para serem simulados. No primeiro cenário, onde eram usadas tanto torres de paletização manuais como automáticas, o transporte das paletes nesta área era feito por empilhadoras de contra-peso. No segundo cenário, onde apenas eram usadas torres de paletização automáticas, o transporte das paletes era realizado por AGVs.

Em relação os resultados obtidos da simulação dos dois cenários chegou-se à conclusão da quantidade de veículos necessária de modo a que o sistema fosse sustentável/estável. Assim, no primeiro cenário constatou-se que eram necessárias 6 empilhadoras e no segundo cenário eram requeridos 6 AGVs, ambos com uma utilização dos veículos de aproximadamente 75%. Este resultado revelou ser especialmente surpreendente já que as empilhadoras tem uma velocidade de circulação bastante superiores à de um AGV.

Estes resultados revelaram que uma reestruturação de *layout* e a otimização das rotas percorridas pelos veículos podem ser bastante vantajosas para a empresa, já que a quantidade de recursos utilizada, para o mesmo fluxo de paletes, diminui consideravelmente.

Em relação a considerações futuras, seria interessante uma definição do problema mais detalhada. A falta de dados relativos a esta zona da fabrica deixam as simulações um bocado a desejar. Com uma maior quantidade de informação disponível à cerca de um dado sistema, é possível modelar simulações bastante mais próximas da realidade. Os dados usados nas simulações neste caso de estudo passavam pelas características associadas aos veículos presentes nas simulações e pelas quantidades de paletes diárias que cada torre de paletização tinha de *output*. Assim, com o uso de históricos de dados associados a esta zona da fabrica poderia-se construir simulações bastante mais realistas.

Anexo A

Análise ABC e XYZ no *buffer 1*

Para a classificação funcionar os dados têm que estar ordenados por ordem crescente na coluna %.

Material	Consumo kg	Consumo %	Consumo % Acumulada	ABC	Média	Desvio Padrão	CV	XYZ
CE1610	2361335	13.99%	13.99%	A	20356.3	5449.3	0.27	X
CN2037	2309134	13.68%	27.67%	A	19906.3	8533.9	0.43	X
CN2049	1669642	9.89%	37.57%	A	14393.5	8907.3	0.62	Y
CE1601	1013731	6.01%	43.57%	A	8739.1	4377.9	0.50	Y
CN2007	896527	5.31%	48.88%	A	7728.7	4674.5	0.60	Y
CE1001	846894	5.02%	53.90%	A	7300.8	2051.6	0.28	X
CE2602	718344	4.26%	58.16%	A	6192.6	2226.7	0.36	X
CE3302	676500	4.01%	62.17%	A	5831.9	2574.3	0.44	X
CE3854	549509	3.26%	65.42%	A	4737.1	3482.7	0.74	Y
CR4101	502495	2.98%	68.40%	A	4331.9	1503.8	0.35	X
CE1604	455175	2.70%	71.10%	A	3923.9	2479.7	0.63	Y
CE3494	451318	2.67%	73.77%	A	3924.5	3106.7	0.79	Y
CE2604	420721	2.49%	76.26%	A	3626.9	1960.9	0.54	Y
CE3301	401955	2.38%	78.64%	A	3465.1	2831.0	0.82	Y
CE3446	391737	2.32%	80.96%	B	3377.0	2719.2	0.81	Y
CE3418	324167	1.92%	82.89%	B	2794.5	2428.5	0.87	Y
CE3460	321023	1.90%	84.79%	B	2767.4	2503.6	0.90	Y
CE3471	305972	1.81%	86.60%	B	2637.7	2026.2	0.77	Y
CR4113	269479	1.60%	88.20%	B	2323.1	1349.5	0.58	Y
CE3860	260275	1.54%	89.74%	B	2243.7	2651.7	1.18	Z
CE3463	242488	1.44%	91.18%	B	2108.6	2079.7	0.99	Y
CE3433	235827	1.40%	92.57%	B	2033.0	1600.0	0.79	Y
CE3843	214787	1.27%	93.85%	B	1851.6	2755.3	1.49	Z
CE2501	212744	1.26%	95.11%	C	1834.0	2958.6	1.61	Z
CR4103	138936	0.82%	95.93%	C	1197.7	721.8	0.60	Y
CE3606	121997	0.72%	96.65%	C	1051.7	1785.6	1.70	Z
CE3478	113555	0.67%	97.33%	C	978.9	1792.7	1.83	Z
CE1605	108759	0.64%	97.97%	C	937.6	1381.6	1.47	Z
CE3839	87200	0.52%	98.49%	C	751.7	1215.9	1.62	Z
CE3430	80355	0.48%	98.96%	C	692.7	1309.7	1.89	Z
CE3605	44241	0.26%	99.22%	C	381.4	907.4	2.38	Z
CE3835	40447	0.24%	99.46%	C	354.8	614.3	1.73	Z
CE1606	35716	0.21%	99.68%	C	307.9	558.3	1.81	Z
CE3836	30501	0.18%	99.86%	C	262.9	609.2	2.32	Z
CE1007	15092	0.09%	99.95%	C	130.1	191.0	1.47	Z
CE1811	9122	0.05%	100.00%	C	78.6	195.6	2.49	Z

Anexo B

Tabela de materiais

Type	ID
None	0
CE1001	1
CE1007	2
CE1601	3
CE1604	4
CE1605	5
CE1606	6
CE1610	7
CE1811	8
CE2501	9
CE2602	10
CE2604	11
CE3301	12
CE3302	13
CE3418	14
CE3430	15
CE3433	16
CE3446	17
CE3460	18
CE3463	19
CE3471	20
CE3478	21
CE3494	22
CE3605	23
CE3606	24
CE3835	25
CE3836	26
CE3839	27
CE3843	28
CE3854	29
CE3860	30
CN2007	31
CN2037	32
CN2049	33
CR4101	34
CR4103	35
CR4113	36

Anexo C

Tabela de pedidos

Material	Date	Quantity
CE3606	01-03-17 2:34	1
CE3606	01-03-17 3:53	1
CE3854	01-03-17 4:09	12
CE1610	01-03-17 4:19	15
CE2604	01-03-17 4:31	2
CE2602	01-03-17 5:07	6
CE3460	01-03-17 6:10	7
CR4113	01-03-17 7:31	2
CN2037	01-03-17 8:52	7
CN2007	01-03-17 9:37	6
CE1604	01-03-17 9:41	9
CE3606	01-03-17 9:48	2
CE1001	01-03-17 10:10	2
CE3302	01-03-17 11:02	4
CE3302	01-03-17 11:02	5
CE3433	01-03-17 11:02	9
CE3494	01-03-17 11:02	6
CN2037	01-03-17 11:02	10
CN2049	01-03-17 11:08	3
CN2049	01-03-17 11:08	5
CE3301	01-03-17 11:58	5
CE3471	01-03-17 11:58	5
CN2007	01-03-17 11:58	3
CE1007	01-03-17 12:15	2
CE2501	01-03-17 12:15	2
CE3301	01-03-17 12:15	2
CE3301	01-03-17 12:15	2
CE1601	01-03-17 12:42	8
CE1001	01-03-17 12:46	3
CE1001	01-03-17 12:48	10
CE3463	01-03-17 12:49	4
CE3460	01-03-17 14:24	5
CR4101	01-03-17 14:48	4
CE3446	01-03-17 15:10	5
CN2049	01-03-17 15:36	1
CE3606	01-03-17 16:26	2
CN2037	01-03-17 17:04	4
CN2037	01-03-17 17:04	10
CN2049	01-03-17 17:43	2
CE1001	01-03-17 17:45	2
CE1610	01-03-17 17:56	9
CR4113	01-03-17 19:00	7
CE3839	01-03-17 19:12	9
CE3302	01-03-17 19:56	3
CE3418	01-03-17 21:27	13
CE1001	01-03-17 22:12	1
CE2604	01-03-17 22:39	4
CE2604	01-03-17 22:40	1
CE1001	01-03-17 22:40	2
CE1001	02-03-17 0:46	2
CE3302	02-03-17 1:04	6
CE1601	02-03-17 1:11	6
CR4101	02-03-17 1:18	2
CE3843	02-03-17 1:20	2

CE1001	02-03-17 1:22	3
CE1610	02-03-17 1:22	6
CR4103	02-03-17 2:20	1
CE1001	02-03-17 4:48	4
CE2604	02-03-17 5:28	2
CE1610	02-03-17 5:34	7
CE3301	02-03-17 7:02	4
CR4103	02-03-17 7:25	1
CN2049	02-03-17 8:22	8
CN2007	02-03-17 9:26	7
CN2007	02-03-17 10:38	2
CE3463	02-03-17 10:52	6
CE2604	02-03-17 11:08	2
CE2604	02-03-17 11:13	2
CE1001	02-03-17 11:32	4
CN2007	02-03-17 11:35	7
CN2037	02-03-17 13:57	10
CN2037	02-03-17 14:23	10
CE3446	02-03-17 15:03	7
CE1610	02-03-17 15:30	8
CE3606	02-03-17 16:34	2
CN2037	02-03-17 17:04	8
CN2037	02-03-17 17:05	3
CE2602	02-03-17 17:39	7
CR4101	02-03-17 17:57	6
CN2049	02-03-17 19:06	3
CE3854	02-03-17 19:35	10
CE1001	02-03-17 21:22	8
CN2049	03-03-17 0:56	8
CE1001	03-03-17 1:00	2
CE3494	03-03-17 1:08	4
CE1610	03-03-17 1:25	15
CE1604	03-03-17 1:35	6
CE3471	03-03-17 1:52	4
CE1601	03-03-17 2:13	9
CE1001	03-03-17 2:22	2
CE1001	03-03-17 2:36	4
CE3446	03-03-17 4:19	7
CN2007	03-03-17 4:33	4
CE3302	03-03-17 4:36	7
CE3430	03-03-17 4:54	2
CE3494	03-03-17 5:28	6
CR4103	03-03-17 7:06	1
CE2604	03-03-17 7:22	3
CE3843	03-03-17 9:02	1
CE3418	03-03-17 9:28	7
CE3471	03-03-17 10:03	3
CE3606	03-03-17 10:10	1
CN2037	03-03-17 12:11	10
CE1001	03-03-17 14:58	6
CE1610	03-03-17 16:45	15
CN2007	03-03-17 17:03	4
CE2602	03-03-17 17:57	7
CE3460	03-03-17 18:39	3
CE3606	03-03-17 18:46	1

CE1601	03-03-17 19:36	8
CR4113	03-03-17 19:53	3
CR4113	03-03-17 19:59	3
CN2049	03-03-17 21:11	5
CN2037	03-03-17 21:42	10
CE1001	03-03-17 22:42	1
CE3478	04-03-17 0:35	1
CE3471	04-03-17 0:37	4
CE3302	04-03-17 0:57	7
CE3433	04-03-17 1:00	5
CE3418	04-03-17 1:14	5
CE3606	04-03-17 1:26	1
CE1604	04-03-17 1:41	5
CE1610	04-03-17 2:11	15
CR4103	04-03-17 2:16	2
CE2604	04-03-17 2:19	4
CE1001	04-03-17 2:20	1
CN2037	04-03-17 4:26	5
CR4101	04-03-17 4:34	3
CE1001	04-03-17 4:44	3
CE2602	04-03-17 4:54	4
CE3471	04-03-17 9:40	6
CN2007	04-03-17 11:32	7
CN2037	04-03-17 11:42	5
CN2049	04-03-17 12:09	4
CE3460	04-03-17 12:38	2
CE1601	04-03-17 14:11	8
CE3854	04-03-17 14:39	6
CE3460	04-03-17 14:54	4
CE3418	04-03-17 16:35	7
CE1001	04-03-17 16:51	3
CE2604	04-03-17 16:52	2
CE2604	04-03-17 16:54	5
CE2604	04-03-17 18:23	1
CE1001	04-03-17 18:24	3
CE3860	04-03-17 19:24	6
CE1001	04-03-17 19:25	4
CE1001	04-03-17 19:39	4
CE1001	04-03-17 19:46	1
CE1610	04-03-17 20:33	15
CE1604	04-03-17 20:49	6
CE3494	04-03-17 20:58	6
CE3302	04-03-17 21:05	5
CE3605	04-03-17 21:14	1
CE2604	05-03-17 0:24	5
CE3460	05-03-17 0:43	2
CE3463	05-03-17 1:22	3
CN2049	05-03-17 2:07	3
CN2049	05-03-17 2:27	4
CN2037	05-03-17 5:14	10
CE1601	05-03-17 6:40	11
CE3301	05-03-17 7:17	6
CN2007	05-03-17 8:52	7
CE3460	05-03-17 9:24	2
CE1610	05-03-17 9:29	15

CE1001	05-03-17 9:38	4
CE1604	05-03-17 9:50	6
CR4101	05-03-17 10:38	5
CE2602	05-03-17 10:53	7
CN2037	05-03-17 11:03	10
CE3606	05-03-17 11:36	1
CN2049	05-03-17 12:07	3
CE2604	05-03-17 16:20	4
CR4101	05-03-17 16:21	4
CN2049	05-03-17 16:32	5
CE3418	05-03-17 16:32	5
CN2049	05-03-17 16:33	8
CE3471	05-03-17 16:42	3
CE3446	05-03-17 16:51	4
CE3843	05-03-17 17:03	4
CR4103	05-03-17 17:13	2
CE3460	05-03-17 17:24	3
CE1001	05-03-17 17:29	3
CE2604	05-03-17 21:59	3
CE1001	05-03-17 22:00	5
CE1606	05-03-17 22:02	2
CE3433	06-03-17 0:36	4
CE2602	06-03-17 0:37	3
CN2037	06-03-17 1:23	10
CE3463	06-03-17 1:58	4
CN2007	06-03-17 3:42	7
CR4113	06-03-17 4:57	4
CE2604	06-03-17 6:04	6
CE2602	06-03-17 6:16	5
CE3606	06-03-17 6:26	1
CN2049	06-03-17 8:18	5
CN2007	06-03-17 8:18	3
CE2501	06-03-17 9:07	3
CE3302	06-03-17 9:45	5
CE1610	06-03-17 9:57	10
CE1001	06-03-17 11:03	6
CE2604	06-03-17 11:03	4
CE1605	06-03-17 11:40	5
CE3854	06-03-17 11:56	8
CN2037	06-03-17 14:14	4
CE1001	06-03-17 15:32	10
CE2501	06-03-17 16:36	3
CE2602	06-03-17 16:49	4
CE3860	06-03-17 17:21	4
CE2604	06-03-17 19:05	4
CR4101	06-03-17 19:09	4
CE2602	06-03-17 19:19	4
CE2604	06-03-17 19:22	1
CE3302	06-03-17 19:44	4
CN2037	06-03-17 19:51	10
CE3854	06-03-17 21:37	6
CE1601	06-03-17 22:05	4
CR4113	07-03-17 1:48	7
CE3302	07-03-17 1:55	7
CE3471	07-03-17 2:00	5

CE3843	07-03-17 2:15	2
CE1610	07-03-17 2:17	5
CE3606	07-03-17 4:32	1
CE1610	07-03-17 4:36	15
CN2049	07-03-17 5:20	3
CE3494	07-03-17 6:34	4
CE2602	07-03-17 6:45	4
CE2604	07-03-17 7:09	2
CN2007	07-03-17 8:38	3
CN2037	07-03-17 9:09	7
CR4101	07-03-17 10:51	4
CE2602	07-03-17 13:54	5
CN2049	07-03-17 14:08	1
CE1001	07-03-17 15:00	8
CE2604	07-03-17 15:01	11
CE1001	07-03-17 16:54	6
CE3302	07-03-17 17:13	4
CN2037	07-03-17 17:24	4
CN2037	07-03-17 17:32	7
CE3854	07-03-17 17:33	2
CE1605	07-03-17 19:02	5
CE1001	07-03-17 19:14	2
CE1610	07-03-17 19:22	15
CE3301	07-03-17 21:41	3
CE3839	07-03-17 21:45	2
CE1606	07-03-17 22:10	2
CE3460	07-03-17 22:31	3
CR4101	07-03-17 22:33	4
CE3463	07-03-17 22:48	4
CE3836	07-03-17 23:20	4
CE3854	08-03-17 0:42	6
CE3418	08-03-17 1:00	6
CE1604	08-03-17 1:21	7
CE3446	08-03-17 1:40	6
CE3606	08-03-17 1:40	1
CN2037	08-03-17 1:56	4
CN2037	08-03-17 2:12	7
CN2007	08-03-17 2:27	3
CE1610	08-03-17 2:30	9
CE3494	08-03-17 4:15	6
CN2049	08-03-17 4:36	5
CE1601	08-03-17 5:04	6
CR4113	08-03-17 5:19	3
CE3433	08-03-17 5:27	5
CE3302	08-03-17 5:28	4
CE3301	08-03-17 5:36	3
CE3301	08-03-17 5:38	1
CE1001	08-03-17 7:07	6
CR4103	08-03-17 8:32	1
CE3471	08-03-17 8:36	5
CE3606	08-03-17 8:46	1
CE3606	08-03-17 8:52	1
CE1610	08-03-17 9:52	6
CN2037	08-03-17 10:54	4
CE1811	08-03-17 11:43	1

CE1001	08-03-17 15:05	2
CR4113	08-03-17 16:41	3
CE2602	08-03-17 17:07	5
CE2602	08-03-17 17:19	3
CE1601	08-03-17 17:31	9
CR4101	08-03-17 17:51	4
CE3854	08-03-17 18:42	5
CE3418	08-03-17 19:01	8
CN2037	08-03-17 19:36	7
CN2037	08-03-17 19:38	2
CR4103	08-03-17 22:03	2
CE1001	08-03-17 22:35	3
CE3460	08-03-17 22:39	2
CE1001	08-03-17 22:57	1
CE3302	09-03-17 0:48	7
CN2049	09-03-17 1:08	3
CE1001	09-03-17 1:32	5
CE1007	09-03-17 1:51	2
CE1604	09-03-17 1:57	5
CE3301	09-03-17 2:31	5
CE3463	09-03-17 2:44	4
CE3860	09-03-17 2:45	2
CE3860	09-03-17 2:51	2
CE1610	09-03-17 4:40	15
CE3494	09-03-17 5:51	4
CE2604	09-03-17 6:03	2
CN2037	09-03-17 8:34	3
CN2037	09-03-17 8:37	7
CN2007	09-03-17 9:21	5
CN2049	09-03-17 11:30	5
CE2604	09-03-17 13:42	8
CE3478	09-03-17 16:37	2
CE2501	09-03-17 16:53	2
CE1601	09-03-17 17:24	8
CE2602	09-03-17 17:58	7
CR4101	09-03-17 18:37	4
CE3471	09-03-17 19:06	4
CE1610	09-03-17 19:56	11
CN2007	09-03-17 21:32	2
CE3460	09-03-17 21:50	2
CE1001	09-03-17 22:15	7
CE2604	10-03-17 0:27	4
CE1001	10-03-17 0:34	6
CE3494	10-03-17 1:08	6
CE1604	10-03-17 1:09	4
CE3302	10-03-17 1:13	7
CE3446	10-03-17 1:16	4
CN2037	10-03-17 1:16	10
CE3839	10-03-17 1:22	3
CE1001	10-03-17 4:19	8
CE1606	10-03-17 4:29	2
CE3835	10-03-17 4:35	3
CE1605	10-03-17 4:42	4
CR4113	10-03-17 4:46	6
CE2604	10-03-17 5:10	1

CE3460	10-03-17 5:50	3
CE3606	10-03-17 6:54	1
CR4103	10-03-17 7:15	1
CE1610	10-03-17 8:40	5
CE3606	10-03-17 8:45	1
CN2037	10-03-17 8:58	7
CE3854	10-03-17 10:02	5
CN2049	10-03-17 10:40	3
CE3478	10-03-17 11:04	2
CE2602	10-03-17 11:16	4
CE3471	10-03-17 11:25	3
CR4101	10-03-17 11:34	4
CN2049	10-03-17 14:58	5
CN2049	10-03-17 17:08	3
CE3843	10-03-17 17:27	2
CE1610	10-03-17 17:34	15
CE3494	10-03-17 18:33	6
CE1601	10-03-17 18:39	8
CE3430	10-03-17 18:53	2
CE2602	10-03-17 19:06	3
CE1001	10-03-17 22:15	4
CE2604	11-03-17 0:41	4
CE1001	11-03-17 0:42	4
CE3302	11-03-17 1:03	7
CE3460	11-03-17 1:13	2
CN2007	11-03-17 1:17	3
CE1001	11-03-17 2:35	3
CE1604	11-03-17 4:04	6
CE3854	11-03-17 4:21	4
CE1610	11-03-17 6:30	7
CR4103	11-03-17 6:53	2
CE3446	11-03-17 7:11	5
CE3302	11-03-17 8:50	7
CE1610	11-03-17 8:52	8
CN2049	11-03-17 9:27	8
CN2037	11-03-17 10:08	10
CE2604	11-03-17 11:57	3
CE3418	11-03-17 12:01	9
CE1001	11-03-17 15:01	4
CE1001	11-03-17 15:46	4
CE3854	11-03-17 16:22	6
CE3606	11-03-17 16:39	1
CE3471	11-03-17 16:49	6
CE2602	11-03-17 16:58	8
CN2007	11-03-17 17:21	7
CE1606	11-03-17 17:48	1
CE1601	11-03-17 19:25	15
CN2049	11-03-17 22:24	8
CR4113	11-03-17 22:59	7
CN2037	11-03-17 23:24	4
CE3606	12-03-17 1:07	1
CR4101	12-03-17 1:14	4
CE1001	12-03-17 1:21	4
CE2604	12-03-17 1:23	9
CE3301	12-03-17 3:07	1

CE1610	12-03-17 3:35	15
CN2049	12-03-17 4:03	4
CE3302	12-03-17 7:07	4
CE1604	12-03-17 7:13	7
CN2049	12-03-17 7:27	4
CN2037	12-03-17 7:31	7
CE3606	12-03-17 7:41	2
CE1001	12-03-17 8:54	3
CE2604	12-03-17 8:54	4
CE3471	12-03-17 9:04	3
CE3605	12-03-17 9:55	1
CN2007	12-03-17 10:01	6
CE2602	12-03-17 10:08	5
CE1610	12-03-17 10:20	15
CE3843	12-03-17 11:56	1
CE3854	12-03-17 14:46	6
CE1001	12-03-17 15:35	2
CN2049	12-03-17 15:53	8
CE1001	12-03-17 16:10	7
CE3460	12-03-17 17:55	3
CE3418	12-03-17 17:59	9
CE1001	12-03-17 18:22	1
CE3843	12-03-17 19:03	3
CE3433	12-03-17 19:10	7
CE2604	12-03-17 21:46	2
CN2037	12-03-17 22:09	4
CE2604	13-03-17 0:22	3
CE1001	13-03-17 0:23	6
CE3494	13-03-17 0:23	6
CE1601	13-03-17 0:30	6
CR4101	13-03-17 0:36	2
CE3471	13-03-17 0:39	4
CE3446	13-03-17 0:46	5
CE1604	13-03-17 0:55	6
CN2037	13-03-17 1:08	10
CN2049	13-03-17 1:23	4
CN2049	13-03-17 5:45	4
CE3460	13-03-17 6:02	3
CN2049	13-03-17 6:20	3
CE1001	13-03-17 6:44	1
CE3302	13-03-17 9:00	5
CE1610	13-03-17 9:20	15
CE2602	13-03-17 11:47	4
CE1001	13-03-17 12:47	5
CE2501	13-03-17 14:35	4
CN2037	13-03-17 16:21	10
CN2007	13-03-17 16:30	7
CE3302	13-03-17 16:56	5
CE1601	13-03-17 16:58	4
CR4101	13-03-17 17:06	4
CE3854	13-03-17 17:11	6
CE1605	13-03-17 17:24	4
CE3301	13-03-17 19:11	3
CE1604	13-03-17 19:19	5
CE3606	13-03-17 19:21	1

CN2049	13-03-17 21:35	5
CE2604	13-03-17 22:30	5
CE1001	13-03-17 22:40	3
CE3854	13-03-17 23:11	6
CE1001	14-03-17 0:51	2
CE1001	14-03-17 1:02	2
CN2049	14-03-17 1:25	8
CE1610	14-03-17 2:04	9
CE3433	14-03-17 2:19	5
CE1001	14-03-17 4:37	2
CN2049	14-03-17 5:05	8
CE3460	14-03-17 6:29	2
CE1811	14-03-17 9:06	2
CE2604	14-03-17 9:19	12
CE3463	14-03-17 9:26	6
CE2602	14-03-17 9:59	4
CE3460	14-03-17 10:31	2
CN2037	14-03-17 11:03	10
CE1610	14-03-17 12:12	6
CE1610	14-03-17 12:38	11
CE1001	14-03-17 14:25	2
CE1001	14-03-17 14:25	2
CE1001	14-03-17 16:28	2
CE3606	14-03-17 16:48	2
CE3471	14-03-17 17:10	5
CE3835	14-03-17 17:20	3
CE3302	14-03-17 17:25	5
CE1001	14-03-17 17:44	4
CE3460	14-03-17 18:22	3
CN2037	14-03-17 18:43	10
CE1001	14-03-17 21:49	2
CE1601	14-03-17 21:57	6
CE2602	14-03-17 22:01	5
CE1604	14-03-17 22:07	6
CR4101	14-03-17 22:15	4
CE1001	14-03-17 22:21	2
CE1606	14-03-17 22:22	1
CE1606	14-03-17 22:22	1
CE1001	14-03-17 23:17	2
CE1606	14-03-17 23:19	1
CE1610	15-03-17 1:09	5
CN2049	15-03-17 1:22	8
CE3606	15-03-17 1:24	1
CE1601	15-03-17 1:29	4
CE3302	15-03-17 1:30	4
CE1001	15-03-17 1:39	4
CE3460	15-03-17 1:48	2
CE3471	15-03-17 4:54	2
CR4103	15-03-17 4:58	1
CE1001	15-03-17 5:15	3
CE1001	15-03-17 9:00	3
CE2602	15-03-17 10:34	5
CE3494	15-03-17 11:05	4
CE1610	15-03-17 11:39	7
CE1601	15-03-17 12:09	6

CN2037	15-03-17 13:55	5
CE2604	15-03-17 14:33	2
CE3302	15-03-17 14:44	5
CE3606	15-03-17 15:02	1
CE3854	15-03-17 17:13	4
CE3854	15-03-17 17:20	4
CE3471	15-03-17 17:38	6
CE1604	15-03-17 17:42	1
CE1604	15-03-17 18:51	2
CR4103	15-03-17 18:53	2
CE1001	15-03-17 18:59	5
CE1001	15-03-17 19:00	2
CN2037	15-03-17 19:01	5
CN2007	15-03-17 19:13	7
CE1001	15-03-17 19:46	3
CE2604	15-03-17 19:49	2
CE1007	15-03-17 22:15	1
CE3839	15-03-17 22:31	4
CE1610	16-03-17 0:49	8
CN2037	16-03-17 0:56	5
CE3606	16-03-17 1:15	1
CE1001	16-03-17 1:21	2
CE2604	16-03-17 1:21	5
CE3446	16-03-17 1:38	5
CE3854	16-03-17 1:40	6
CN2037	16-03-17 1:41	5
CE3302	16-03-17 1:50	5
CE2602	16-03-17 4:57	5
CR4101	16-03-17 4:58	4
CR4113	16-03-17 5:15	4
CN2049	16-03-17 5:23	4
CE1601	16-03-17 5:28	4
CE1610	16-03-17 7:03	6
CE1001	16-03-17 7:16	3
CE1001	16-03-17 11:43	6
CE2604	16-03-17 11:43	1
CE1610	16-03-17 12:11	10
CE3460	16-03-17 17:43	2
CE3494	16-03-17 17:55	4
CE1604	16-03-17 18:25	6
CE3418	16-03-17 18:46	5
CE3433	16-03-17 18:55	2
CN2049	16-03-17 19:01	4
CE3446	16-03-17 19:24	4
CE2604	16-03-17 19:28	2
CE1001	16-03-17 19:29	4
CE3843	16-03-17 19:50	1
CN2037	16-03-17 21:33	10
CE2604	16-03-17 21:57	4
CE3302	16-03-17 22:09	5
CE3854	16-03-17 22:20	6
CE3860	16-03-17 22:32	4
CE2602	16-03-17 22:49	3
CE1001	16-03-17 22:55	2
CE1606	16-03-17 23:40	2

CE3471	17-03-17 1:01	7
CN2037	17-03-17 1:42	4
CE3494	17-03-17 1:47	4
CE1601	17-03-17 1:50	2
CE3302	17-03-17 1:52	4
CR4101	17-03-17 2:16	2
CE2604	17-03-17 4:59	2
CE1610	17-03-17 5:13	7
CE1610	17-03-17 5:15	1
CN2007	17-03-17 5:37	7
CE3433	17-03-17 5:39	5
CE1001	17-03-17 9:27	7
CE2604	17-03-17 9:41	2
CR4113	17-03-17 10:11	4
CE3430	17-03-17 10:37	1
CE2602	17-03-17 11:05	4
CE2602	17-03-17 13:19	3
CE1610	17-03-17 13:57	7
CE3839	17-03-17 14:17	4
CN2037	17-03-17 16:48	7
CE1610	17-03-17 19:16	15
CE1601	17-03-17 19:47	6
CE3302	17-03-17 20:04	5
CE1001	17-03-17 21:55	6
CE3606	17-03-17 22:06	1
CE3606	17-03-17 22:06	1
CE3463	17-03-17 22:53	4
CN2007	18-03-17 1:38	7
CR4101	18-03-17 5:18	2
CR4101	18-03-17 5:19	4
CE1001	18-03-17 5:28	4
CE1604	18-03-17 5:34	6
CE2602	18-03-17 5:35	8
CE3301	18-03-17 5:57	3
CR4103	18-03-17 6:17	1
CE3494	18-03-17 7:02	4
CE1601	18-03-17 7:14	4
CN2037	18-03-17 7:19	3
CE1001	18-03-17 8:36	1
CE1606	18-03-17 8:45	1
CE2604	18-03-17 9:36	1
CE1001	18-03-17 9:39	5
CR4113	18-03-17 10:13	2
CE3418	18-03-17 10:14	5
CE3302	18-03-17 10:32	5
CE1610	18-03-17 11:28	15
CN2037	18-03-17 11:57	8
CE2604	18-03-17 12:30	3
CE1001	18-03-17 16:35	2
CE3606	18-03-17 16:42	1
CE3460	18-03-17 17:15	5
CE1601	18-03-17 17:29	2
CE3471	18-03-17 17:43	3
CE1606	18-03-17 18:23	1
CE2604	18-03-17 18:24	8

CE3460	18-03-17 19:43	4
CN2037	18-03-17 20:17	10
CE1001	18-03-17 22:46	6
CE3860	18-03-17 22:57	4
CE3433	18-03-17 23:18	4
CE1001	18-03-17 23:27	4
CE1604	18-03-17 23:38	5
CE1601	18-03-17 23:46	4
CE3446	18-03-17 23:52	5
CE1001	19-03-17 0:06	2
CE1610	19-03-17 4:35	9
CE3418	19-03-17 5:18	6
CE2602	19-03-17 5:27	5
CE2604	19-03-17 5:30	3
CR4103	19-03-17 5:34	1
CE3605	19-03-17 6:22	2
CE3302	19-03-17 7:17	4
CR4101	19-03-17 7:34	6
CE3471	19-03-17 7:50	3
CE2604	19-03-17 8:58	1
CE3843	19-03-17 9:02	3
CE1610	19-03-17 9:32	6
CN2037	19-03-17 9:50	10
CN2007	19-03-17 10:43	7
CE2604	19-03-17 12:54	4
CE3854	19-03-17 14:34	8
CE3302	19-03-17 14:38	2
CE1601	19-03-17 14:42	6
CE3302	19-03-17 14:49	5
CE1001	19-03-17 14:56	3
CN2037	19-03-17 15:02	10
CE1601	19-03-17 15:15	4
CE1604	19-03-17 15:48	6
CE3606	19-03-17 16:01	1
CE3471	19-03-17 16:08	3
CR4113	19-03-17 16:13	6
CR4113	19-03-17 16:22	4
CE3460	19-03-17 16:29	3
CE1007	19-03-17 17:38	1
CE3446	19-03-17 18:33	2
CE3433	19-03-17 18:36	2
CE1001	19-03-17 21:31	6
CE2604	19-03-17 23:22	4
CE1001	19-03-17 23:26	3
CE1606	20-03-17 0:57	2
CE1001	20-03-17 1:17	4
CE1001	20-03-17 1:56	2
CE2602	20-03-17 1:58	5
CE1601	20-03-17 2:08	4
CE3606	20-03-17 3:54	1
CE3302	20-03-17 4:17	4
CE3302	20-03-17 5:54	4
CE3843	20-03-17 8:40	2
CE1606	20-03-17 9:06	2
CR4103	20-03-17 9:20	2

CE3446	20-03-17 11:27	4
CE3460	20-03-17 11:31	3
CE3494	20-03-17 11:39	4
CE3494	20-03-17 12:26	4
CE1610	20-03-17 13:04	15
CE2604	20-03-17 16:57	5
CE3471	20-03-17 17:10	4
CE2501	20-03-17 17:22	5
CR4101	20-03-17 17:59	6
CE3460	20-03-17 19:00	2
CE2602	20-03-17 20:02	7
CE3854	20-03-17 20:18	8
CE1001	20-03-17 21:36	4
CR4103	20-03-17 21:45	2
CE3606	20-03-17 22:02	2
CN2037	20-03-17 22:33	10
CE1001	20-03-17 23:10	4
CE1610	21-03-17 0:53	15
CE3494	21-03-17 0:57	4
CE3302	21-03-17 1:00	4
CE3606	21-03-17 1:12	1
CE1601	21-03-17 1:20	2
CE1601	21-03-17 1:23	6
CR4113	21-03-17 1:30	4
CN2037	21-03-17 1:38	7
CE1604	21-03-17 2:00	6
CE1001	21-03-17 4:08	3
CN2037	21-03-17 4:13	4
CN2037	21-03-17 4:13	7
CN2007	21-03-17 4:14	7
CE3301	21-03-17 4:35	6
CE3418	21-03-17 4:38	4
CE2604	21-03-17 5:11	2
CE1001	21-03-17 5:11	2
CE1001	21-03-17 9:06	8
CE2604	21-03-17 9:07	2
CN2037	21-03-17 9:29	4
CE3835	21-03-17 9:53	3
CE1604	21-03-17 14:35	5
CE1610	21-03-17 14:54	15
CE3839	21-03-17 15:23	2
CE3471	21-03-17 16:57	7
CE3460	21-03-17 17:46	3
CE3302	21-03-17 18:44	5
CE2602	21-03-17 19:54	6
CE1601	21-03-17 21:36	6
CE3446	21-03-17 21:51	4
CE3418	21-03-17 22:14	5
CE2604	21-03-17 22:27	3
CE3606	21-03-17 23:09	1
CE1001	22-03-17 0:36	2
CN2007	22-03-17 0:43	2
CE1610	22-03-17 0:57	15
CE3302	22-03-17 1:10	5
CN2037	22-03-17 1:15	9

CE1601	22-03-17 1:50	4
CE1001	22-03-17 3:40	3
CN2007	22-03-17 3:46	6
CE1001	22-03-17 4:05	3
CE1001	22-03-17 4:31	2
CE2604	22-03-17 8:57	4
CR4101	22-03-17 9:11	6
CE2604	22-03-17 11:27	1
CE1001	22-03-17 11:27	4
CE3463	22-03-17 11:56	4
CN2037	22-03-17 12:17	10
CE3606	22-03-17 14:52	2
CE3471	22-03-17 14:53	5
CE1001	22-03-17 15:28	2
CE1001	22-03-17 16:33	3
CR4103	22-03-17 16:57	2
CE2602	22-03-17 17:16	7
CE3460	22-03-17 17:45	2
CE3854	22-03-17 18:32	6
CE3860	22-03-17 18:58	2
CE1605	22-03-17 19:05	2
CE3460	22-03-17 21:44	3
CN2037	22-03-17 22:40	10
CE1001	22-03-17 22:45	3
CE3302	23-03-17 0:38	5
CE3494	23-03-17 0:58	6
CR4113	23-03-17 1:05	4
CE1601	23-03-17 1:26	6
CE1604	23-03-17 1:33	7
CE3433	23-03-17 1:46	4
CE1001	23-03-17 2:19	2
CE2604	23-03-17 2:19	1
CE2604	23-03-17 4:32	2
CE1001	23-03-17 4:33	1
CE1001	23-03-17 4:50	1
CN2037	23-03-17 5:23	10
CE1001	23-03-17 8:53	4
CN2037	23-03-17 9:16	5
CE3606	23-03-17 9:41	2
CE2604	23-03-17 9:56	4
CE1001	23-03-17 11:34	2
CE2604	23-03-17 12:46	4
CE3494	23-03-17 12:55	2
CE3302	23-03-17 12:57	4
CE3471	23-03-17 13:10	4
CR4101	23-03-17 15:03	4
CE3418	23-03-17 15:07	5
CE2501	23-03-17 16:28	3
CE2604	23-03-17 17:35	3
CE2604	23-03-17 17:48	1
CE1007	23-03-17 18:31	1
CN2049	23-03-17 18:45	5
CN2007	23-03-17 19:56	5
CE3460	23-03-17 22:08	3
CE1610	23-03-17 22:11	15

CE1007	23-03-17 23:29	1
CE1001	24-03-17 0:37	7
CE1610	24-03-17 0:51	15
CE2602	24-03-17 1:44	7
CE3854	24-03-17 1:49	10
CE3302	24-03-17 1:54	5
CE1601	24-03-17 4:57	6
CE1605	24-03-17 4:58	4
CE1605	24-03-17 4:58	2
CN2007	24-03-17 5:06	3
CE1604	24-03-17 5:24	4
CR4101	24-03-17 5:26	4
CE1001	24-03-17 5:56	3
CR4113	24-03-17 7:20	4
CE1606	24-03-17 8:48	3
CE1001	24-03-17 9:35	7
CN2037	24-03-17 10:50	5
CE2604	24-03-17 12:10	4
CR4103	24-03-17 12:13	2
CE3606	24-03-17 12:51	2
CE3301	24-03-17 14:21	3
CE1610	24-03-17 14:39	15
CE2602	24-03-17 17:05	7
CE2602	24-03-17 17:09	2
CE2604	24-03-17 18:01	4
CE3460	24-03-17 18:02	3
CE3835	24-03-17 18:55	2
CE3835	24-03-17 18:55	2
CE1601	24-03-17 19:12	6
CR4101	24-03-17 19:36	2
CN2037	24-03-17 19:58	10
CN2049	24-03-17 21:58	8
CN2049	24-03-17 21:58	8
CE3302	24-03-17 23:19	5
CE3839	25-03-17 0:54	4
CN2007	25-03-17 1:04	7
CN2049	25-03-17 1:06	8
CE3463	25-03-17 1:17	4
CE3418	25-03-17 1:29	9
CE3302	25-03-17 1:48	5
CE3494	25-03-17 1:53	4
CE2604	25-03-17 4:05	4
CE3471	25-03-17 4:19	4
CE1001	25-03-17 4:21	8
CE1610	25-03-17 4:38	9
CN2037	25-03-17 4:48	10
CE1610	25-03-17 5:06	6
CE1001	25-03-17 7:41	4
CE1606	25-03-17 9:34	1
CE1001	25-03-17 14:16	4
CE1604	25-03-17 14:27	3
CN2049	25-03-17 14:29	6
CN2037	25-03-17 14:30	8
CR4103	25-03-17 14:42	2
CE1601	25-03-17 14:59	4

CE3302	25-03-17 15:00	4
CE2602	25-03-17 15:09	5
CE1610	25-03-17 17:12	15
CE3854	25-03-17 18:02	6
CN2049	25-03-17 19:37	5
CN2049	25-03-17 19:55	3
CE1001	25-03-17 20:52	2
CE2604	25-03-17 20:53	2
CE3860	25-03-17 21:34	6
CE3843	25-03-17 23:23	2
CE3843	25-03-17 23:39	2
CE3471	26-03-17 0:05	3
CE1601	26-03-17 0:07	6
CR4101	26-03-17 1:25	6
CE3446	26-03-17 1:52	4
CE1001	26-03-17 2:16	2
CE3460	26-03-17 4:02	3
CE1001	26-03-17 6:43	4
CN2037	26-03-17 6:51	10
CE2604	26-03-17 7:00	3
CE2604	26-03-17 7:01	4
CN2049	26-03-17 7:03	8
CE3854	26-03-17 7:11	10
CE1604	26-03-17 7:26	9
CE3460	26-03-17 7:40	3
CE3494	26-03-17 7:49	7
CE3302	26-03-17 7:57	5
CN2007	26-03-17 9:20	7
CE1601	26-03-17 10:31	6
CE1610	26-03-17 11:14	15
CE3606	26-03-17 11:24	1
CE3430	26-03-17 11:33	2
CE2602	26-03-17 13:44	6
CE3460	26-03-17 14:33	3
CE3471	26-03-17 15:13	2
CE3446	26-03-17 16:35	4
CE1601	26-03-17 16:48	4
CE3471	26-03-17 16:48	3
CE3302	26-03-17 17:05	4
CE3478	26-03-17 18:31	2
CE1001	26-03-17 21:08	3
CN2049	26-03-17 23:38	4
CE2604	26-03-17 23:49	4
CE1604	27-03-17 0:11	3
CE3606	27-03-17 0:11	1
CE3418	27-03-17 0:20	11
CE3843	27-03-17 0:39	2
CE1610	27-03-17 0:48	9
CE1606	27-03-17 4:11	1
CE3854	27-03-17 5:38	4
CR4103	27-03-17 5:40	2
CE1001	27-03-17 8:01	8
CE1001	27-03-17 8:01	6
CE2501	27-03-17 10:05	3
CE1601	27-03-17 10:43	6

CN2037	27-03-17 11:06	10
CN2037	27-03-17 11:06	7
CR4113	27-03-17 11:06	11
CE3302	27-03-17 11:15	5
CE1001	27-03-17 15:45	3
CE2602	27-03-17 16:26	4
CR4101	27-03-17 16:37	5
CN2049	27-03-17 19:05	8
CE1001	27-03-17 20:18	2
CN2037	27-03-17 22:15	4
CN2007	28-03-17 0:01	7
CE2604	28-03-17 0:29	6
CN2037	28-03-17 0:51	10
CE3460	28-03-17 0:51	3
CE3460	28-03-17 0:57	1
CE3606	28-03-17 0:57	1
CE1610	28-03-17 0:59	6
CE3471	28-03-17 1:37	3
CE3494	28-03-17 1:41	4
CE1001	28-03-17 3:26	2
CE1001	28-03-17 3:27	4
CE1001	28-03-17 3:38	1
CE2604	28-03-17 3:41	1
CE1001	28-03-17 4:41	2
CE1610	28-03-17 7:45	15
CE1601	28-03-17 9:48	6
CE1604	28-03-17 10:26	5
CN2049	28-03-17 13:43	4
CE1001	28-03-17 15:58	4
CE2602	28-03-17 17:25	5
CE3302	28-03-17 17:49	4
CN2049	28-03-17 20:20	4
CE1001	28-03-17 20:53	2
CE1601	28-03-17 21:03	4
CE3302	28-03-17 21:15	4
CE2604	28-03-17 21:28	1
CE3606	28-03-17 23:39	2
CE3606	28-03-17 23:51	1
CN2037	29-03-17 0:17	5
CE1601	29-03-17 0:18	8
CE3460	29-03-17 0:49	3
CR4101	29-03-17 1:00	5
CE3433	29-03-17 1:01	5
CE1001	29-03-17 1:12	1
CR4103	29-03-17 1:18	2
CE1604	29-03-17 1:22	6
CE3446	29-03-17 3:29	4
CE2604	29-03-17 3:33	8
CE1610	29-03-17 3:38	15
CE1001	29-03-17 3:40	2
CN2037	29-03-17 4:21	10
CE2602	29-03-17 6:02	6
CE3302	29-03-17 6:11	5
CE3854	29-03-17 8:09	6
CE2604	29-03-17 10:23	4

CE1001	29-03-17 11:34	2
CN2049	29-03-17 13:03	8
CN2049	29-03-17 16:22	1
CN2049	29-03-17 16:22	1
CN2049	29-03-17 16:22	1
CE3418	29-03-17 17:00	3
CE2604	29-03-17 17:35	1
CN2037	29-03-17 17:46	5
CN2007	29-03-17 18:12	4
CE1610	29-03-17 18:39	7
CE3854	29-03-17 20:22	2
CE1001	29-03-17 20:39	2
CE1001	29-03-17 21:15	1
CN2037	29-03-17 21:21	4
CE3854	29-03-17 21:53	2
CE3302	29-03-17 22:13	2
CE1001	29-03-17 23:34	3
CN2049	29-03-17 23:43	4
CE3471	30-03-17 0:13	2
CE1604	30-03-17 0:49	5
CE3471	30-03-17 0:53	3
CE3494	30-03-17 0:57	4
CE3302	30-03-17 1:01	4
CE1601	30-03-17 1:04	2
CR4113	30-03-17 1:06	4
CR4101	30-03-17 1:25	4
CE3460	30-03-17 1:25	3
CE1610	30-03-17 1:26	8
CE2602	30-03-17 1:53	5
CE2604	30-03-17 2:05	2
CE3433	30-03-17 3:55	4
CE3446	30-03-17 4:23	2
CE1001	30-03-17 4:34	9
CE3463	30-03-17 6:16	3
CN2049	30-03-17 9:04	3
CE3854	30-03-17 11:03	2
CN2049	30-03-17 12:17	5
CN2037	30-03-17 12:57	7
CE3460	30-03-17 13:59	2
CE1001	30-03-17 14:31	2
CE2604	30-03-17 16:31	4
CE2501	30-03-17 17:40	5
CE3446	30-03-17 17:53	2
CE3854	30-03-17 18:21	2
CN2037	30-03-17 19:02	10
CE3606	30-03-17 20:08	1
CE3418	30-03-17 20:12	3
CE1610	30-03-17 20:52	9
CN2049	30-03-17 21:18	4
CE1001	30-03-17 21:30	2
CE3606	30-03-17 21:45	1
CN2049	30-03-17 21:57	3
CN2049	30-03-17 22:01	1
CE1601	30-03-17 22:22	2
CE3302	30-03-17 22:25	1

CE3301	30-03-17 22:29	2
CN2049	30-03-17 23:39	8
CE3302	30-03-17 23:39	4
CE3854	30-03-17 23:48	4
CE3471	30-03-17 23:55	3
CE1001	31-03-17 0:04	2
CE1001	31-03-17 0:07	3
CE3471	31-03-17 0:14	3
CE3606	31-03-17 0:21	1
CE3446	31-03-17 0:27	2
CE3418	31-03-17 0:32	3
CE2604	31-03-17 0:37	3
CE2602	31-03-17 0:44	4
CE1604	31-03-17 0:51	2
CE1610	31-03-17 1:18	6
CN2037	31-03-17 1:18	10
CE1001	31-03-17 1:28	3
CE3494	31-03-17 1:42	3
CE1601	31-03-17 1:53	2
CE3471	31-03-17 3:39	2
CE3606	31-03-17 3:40	2
CE3433	31-03-17 3:56	2
CE1610	31-03-17 4:32	9
CE1001	31-03-17 8:12	1
CE2604	31-03-17 11:11	2
CE1001	31-03-17 11:11	3
CN2049	31-03-17 13:17	5
CE1001	31-03-17 13:46	3
CE3302	31-03-17 14:38	2
CE1610	31-03-17 15:31	6
CE1601	31-03-17 15:58	2
CE3418	31-03-17 17:59	7
CR4101	31-03-17 18:17	4
CE1604	31-03-17 18:31	2
CE2602	31-03-17 18:33	2
CE1001	31-03-17 19:11	5
CE1601	31-03-17 20:23	2
CE1604	31-03-17 20:39	2
CE2604	31-03-17 20:57	3
CE3843	31-03-17 21:04	2
CE1001	31-03-17 22:43	2

Referências

- [1] James P. Womack. The psychology of lean production. *Applied Psychology*, Volume 45, April 1996, Pages 119-122, DOI: 10.1111/j.1464-0597.1996.tb00754.
- [2] Taiichi Ohno, Norman Bodek. *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Published by Diamon, Inc., Tokyo, Japan, 1978, ISBN-13: 978-0915299140.
- [3] Shigeo Shingo. *O sistema Toyota de produção do ponto do Ponto de Vista da Engenharia de Produção* - Bookman Companhia Ed., 1996.
- [4] Richard J. Schonberger. *Técnicas Industriais Japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade*. Trad. Oswaldo Chiquetto. São Paulo: Pioneira, 1984.
- [5] Peter Drucker. The economy's dark continent. *Fortune*, (1962 -April), p. 103, 265, 268, and 270.
- [6] Ronald H. Ballou. *Business logistics/supply chain management*. PEARSON EDUCATION (US) Ed., 2004 - May, ISBN: 9780131492868.
- [7] Alcibiades Guedes. *Apontamentos de organização e gestão de empresas*. FEUP. 2010.
- [8] Michael E. Porter. *Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência*, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1989.
- [9] Alcibiades Guedes. *Apontamentos de logística*. FEUP. 2010.
- [10] Automated Guided Vehicle Market by Type (Unit Load Carrier, Tow Vehicle, Forklift Truck, Pallet Truck, Assembly Line Vehicle), Navigation Technology, Battery Type, Industry, Application, & Region - Global Forecast to 2022, By: market-sandmarkets.com, Publishing Date: April 2017, Report Code: SE 3351, Consultado em Maio de 2017, URL: <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automated-guided-vehicle-market-27462395.html>.
- [11] Automatic guided vehicle. Consultado em Maio de 2017, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Automated_Guided_Vehicle.
- [12] Savant automation. Tipologias agv's disponíveis no mercado. Consultado em Maio de 2017, URL: <http://www.agvsystems.com/faqs/q19.html>.
- [13] L. Schulze, S. Behling and S. Buhrs, AGVS in Logistics Systems State of the Art, Applications and New Developments, International Conference On Industrial Logistics (ICIL 2008): Logistics in a Flat World, Strategy, Management and Operations, pp. 256-264, Tel Aviv, Israel, 9-15 March, 2008.

- [14] Guilherme Sperb Lawless. Cost optimization in agv applications. [Dissertação de Mestrado], FEUP 2016.
- [15] Michael Pidd. Computer simulation in management science. Computer Simulation in Management Science, John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 1998, ISBN:0471979317.
- [16] Saadettin Erhan Kesen Baykoç and Ömer Faruk. Simulation of automated guided vehicle (agv) systems based on just-in-time (jit) philosophy in a job-shop environment. Simulation modelling practice and theory. Simulation Modelling Practice and Theory 15(3):272-284 · March 2007, DOI: 10.1016/j.simpat.2006.11.002.
- [17] Simulation versus Analytic Modeling in Large Computing Environments Predicting the Performance Impact of Tuning Changes. Consultado em Março de 2017: URL: <http://www.responsivesystems.com/papers/misc/Simulation.pdf>.
- [18] Tayfur Altioç, Benjamin Melamed, Simulation modeling and analysis with ARENA. Academic Press, 2010.
- [19] C. D. PEGDEN. Simio: a new simulation system based on intelligent objects. Simulation.. In Proceeding of the 39th Winter Simulation Conference, pag.2293–2300, Washington, DC, USA — December 09 - 12, 2007.
- [20] C. D. PEGDEN and D. T. STURROCK. D. T. Introduction to simio. WSC '11 Proceedings of the Winter Simulation Conference, Pages 29-38, Phoenix, Arizona — December 11 - 14, 2011.
- [21] Dias, L.S.; Pereira, G.B., Vik, P., Oliveira, J.. Discrete Simulation Tools Ranking – a Commercial Software Packages comparison based on popularity. ISC 2011 – 9th Industrial Simulation Conference. Venice, Italy, 2011, June 6-8. Pag. 5-11. (<http://hdl.handle.net/1822/15634>).
- [22] VIK, Pavel; DIAS, Luis; PEREIRA, Guilherme; OLIVEIRA, José and ABREU, Ricardo, 2011 Simulation White Paper, Using Simio in the Design of Integrated Automated Solutions For Cement Plants. Consultado em Março de 2017: URL: <http://www.simio.com/resources/white-papers/using-simio-cement-plants/index.php>.
- [23] Captain Christopher Jermaine Bevelle (USAF), RPS Simulation of US Air Force F-16 Fleet Phase Maintenance Cycle, Consultado em Março de 2017. URL: <http://www.simio.com/resources/papers/WinterSim2016/RPS-Simulation-Air-Force.php>.
- [24] The AnyLogic Company. Consultado em Abril de 2017. URL: <http://www.anylogic.com/about-us>.
- [25] Anylogic: System Dynamics. Consultado em Abril de 2017. URL: <http://anylogic.com/system-dynamics>.
- [26] Anylogic: discrete event simulation modeling. Consultado em Abril de 2017. URL: <http://anylogic.com/discrete-event-simulation>.
- [27] Anylogic: agent-based simulation modeling. Consultado em Abril de 2017. URL: <http://anylogic.com/agent-based-modeling>.
- [28] Anylogic: simulation software for every business challenge. Consultado em Abril de 2017. URL: <http://www.anylogic.com/features>.

- [29] Anylogic: clients & testimonials. Consultado em Abril de 2017. URL: <http://www.anylogic.com/clients>.
- [30] Visual Components. URL: <http://www.visualcomponents.com/about-us/>.
- [31] Mariana Oliveira. Mecanismos e sistemas logísticos para armazenamento utilizando paletes. [Dissertação de Mestrado], FEUP 2017.