

**Geração e seleção de percursos de mercadorias em entrepostos de
grande dimensão na
SONAE**

Ricardo Gil Rodrigues Cruz dos Santos

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Maria Henriqueta Sampaio Nóvoa

Orientador na SONAE: Gina Sarabando Casal



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2012-06-29

Aos meus pais, à minha irmã

Resumo

Uma operação logística que se pautar pela procura da eficiência nos seus processos, necessita questionar os paradigmas em que se baseia, procurando perceber se esses paradigmas são a resposta mais eficiente ao contexto externo em que a operação toma parte. Uma análise ao contexto externo atual permite constatar uma tendência crescente para a proliferação da tipologia de loja de retalho alimentar que, estando estrategicamente localizada na malha urbana, apresenta uma menor área de venda, mantendo, porém, a oferta de uma gama alargada de artigos.

A necessidade de preparar lojas com padrões de encomenda díspares e a necessidade de atribuir localizações de *picking* no entreposto a artigos de rotação também ela díspar, originam então as oportunidades de melhoria que o presente projeto pretende estudar. De facto, a organização atual da operação de *picking* do entreposto origina ineficiências ao nível da distância e do tempo de preparação das encomendas. Isto porque o centro de distribuição não tem em conta as disparidades da procura dos artigos quando atribui as localizações de *picking*, o que leva a percursos excessivamente longos que demoram demasiado tempo a completar. Por outro lado, o entreposto prepara todas as ordens de compra em circuitos de *picking* discretos, não agregando lojas ou artigos com uma quantidade encomendada manifestamente baixa, o que faz com que as localizações de *picking* sejam visitadas demasiadas vezes para se retirar uma quantidade de caixas que poderia ser preparada numa única visita.

Assim, e partindo do conhecimento adquirido da revisão bibliográfica efetuada, esta dissertação pretende definir classes de rotação para os artigos presentes no centro de distribuição, estudando qual o critério de definição e de organização das mesmas, que permitirá melhorias de produtividade mais significativas na operação de *picking*. Em segundo lugar, pretende-se quantificar as melhorias de produtividade da operação de *picking* que adviriam da agregação em tarefas de *batch picking* das lojas ou dos artigos com poucas encomendas num dado dia. Por último, estuda-se também o impacto na produtividade fruto da implementação simultânea das duas mudanças atrás descritas.

Da simulação das tarefas de *picking* nos vários cenários em análise, concluiu-se que (1) a reorganização dos artigos no centro de distribuição mediante a sua rotação permite uma redução significativa da distância total percorrida, o que contribui para uma melhoria assinalável da produtividade, (2) a preparação agregada dos artigos com baixas quantidades encomendadas exorta a melhorias de produtividade expressivas que justificariam, na sequência da presente dissertação, o estudo dos custos e a conceptualização da necessária operação de *sorting* dos artigos preparados em *batch picking*.

Em conclusão, o repto da procura de soluções eficientes reside exatamente no ato de desafiar os paradigmas em que se fundamenta o que hoje se faz para se fazer melhor amanhã, sendo este projeto prova disso mesmo.

“Generation and selection of routes of goods in large warehouses”

Abstract

A logistics operation that pursues efficiency in its processes needs to question the paradigms in which it relies, adapting them to the external environment in which the operation takes part. Focusing attention on the external context, there is a growing trend towards the proliferation of the type of retail food store which, being strategically located in the urban area has a smaller area of sale, but keeping however the presence of a wide range of goods.

The need to supply stores with disparate patterns of demand and the need to assign the picking locations in the warehouse to goods which also have disparate rotation, resulting in the improvement opportunities that the project intends to study. In fact, the current organization of the picking operation causes inefficiencies in terms of orders' distance and preparation time, leading to excessively long paths. Furthermore, the warehouse prepares all purchase orders in independent circuits, and does not perform batch picking of stores or goods that have clearly low quantities ordered, which causes more frequency of visits to the picking locations to withdraw a quantity of boxes which could be prepared in one unique visit.

This dissertation intends to define rotation classes for the goods in the depot, studying the criterion for defining and organizing them, which will enable the most significant productivity improvements. Secondly, it intends to quantify the productivity improvements of the picking operation that would come from the implementation of batch picking to stores or items with few orders each day. Finally, it also studies the impact on productivity for the simultaneous implementation of the two changes described above.

Simulating the tasks of picking in various scenarios of analysis, it was concluded that (1) rearranging the items in the distribution center by rotation allows a significant reduction of total distance traveled, which contributes to a remarkable improvement of productivity; (2) the preparation in batch picking of items with low quantities ordered leads to significant improvements in productivity that justify, following this dissertation, the cost study and conceptualization of the necessary sorting operation to the items prepared in batch picking.

Agradecimentos

À Dr^a Gina Casal pela sua disponibilidade e pelos conhecimentos, motivação e confiança que me transmitiu.

À professora Henriqueta Nóvoa pelo apoio e orientação prestados ao longo do projeto.

Aos colegas da FEUP que também realizaram o seu projeto de dissertação na Sonae e com os quais houve um espírito de partilha e entreaajuda.

A todos os colaboradores da Sonae que com a sua colaboração contribuíram para a realização deste projeto, em particular à Manuela Faria, ao José Soares e ao Paulo Sousa.

Índice de Conteúdos

1	Enquadramento do projeto.....	7
1.1	Introdução	7
1.2	Apresentação da empresa	7
1.3	O projeto de geração e seleção de percursos na SONAE MC.....	8
1.3.1	Contexto externo e suas implicações na operação de distribuição.....	8
1.3.2	Objetivos do projeto	10
1.4	Organização da operação de distribuição	11
1.5	Centro de distribuição PBS da Maia	12
1.6	Organização do relatório	14
2	Revisão bibliográfica	15
2.1	Introdução	15
2.2	Logística e centros de distribuição	15
2.3	<i>Order Picking</i>	16
2.3.1	Objetivos da operação de <i>picking</i>	17
2.3.2	Tendência atual.....	17
2.3.3	Métodos	18
2.3.4	<i>Layout</i>	19
2.3.5	<i>Picking por zona</i>	19
2.3.6	Política de roteamento	20
2.4	Políticas de atribuição de localização	20
2.5	<i>Batching</i>	23
2.6	Conclusão	27
3	Reorganização do <i>layout</i> em <i>slows</i> e <i>fast movers</i>	28
3.1	Introdução	28
3.2	Funcionamento do centro de distribuição.....	28
3.3	Apresentação do problema	29
3.4	Metodologia seguida na resolução.....	30
3.5	Solução proposta	35
4	<i>Batch picking</i>	40
4.1	Introdução	40
4.2	Apresentação do problema	40
4.3	Metodologia seguida na resolução.....	42
4.4	Solução proposta	47
4.4.1	<i>Batch à loja</i>	48
4.4.2	<i>Batch ao SKU</i>	49
5	<i>Batch picking</i> com <i>layout</i> reorganizado em <i>slows</i> e <i>fast movers</i>	53
5.1	Introdução	53
5.2	Metodologia.....	53
5.3	Solução proposta	54
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	58
	Referências	60

Geração e seleção de percursos de mercadorias em entrepostos de grande dimensão

ANEXO A.....	62
ANEXO B.....	66
ANEXO C	69
ANEXO D	75
ANEXO E.....	78

Siglas

AS/RS – *Automated storage and retrieval systems*

BEBI – Bebidas

COI – *Cube-per-order index*

DPH – Detergentes e Produtos de Higiene

EQI – *Entry-Item-Quantity*

MERC – Mercearia

PBL – *Picking by line*

PBS – *Picking by store*

PETC – *Pets & Care*

SKU – *Stock keeping unit*

Índice de Figuras

Figura 1 – Resumo das alternativas em análise no âmbito do projeto	10
Figura 2 – Situação atual do entreposto	10
Figura 3 – Distribuição típica do tempo de preparação (retirado de De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007, pp. 486, figura 4).....	17
Figura 4 – Quadro síntese da classificação dos métodos de <i>order picking</i> (baseado em De Koster et al., 2007, pp.484, figura 2)	18
Figura 5 – Quadro resumo do tipo de soluções existentes para o problema de agregação das ordens de compra pelo critério de proximidade.....	24
Figura 6 – Esquema ilustrativo das etapas seguidas no estudo da reorganização do <i>layout</i> em <i>slows</i> e <i>fast movers</i>	30
Figura 7 – Comparação das duas possibilidades de reorganização do <i>layout</i> :.....	34
Figura 8 – Valores de melhoria na produtividade da atividade de <i>picking</i> pela reorganização do <i>layout</i> com patamar a 90 % e corredores dedicados a cada uma das classes.....	37
Figura 9 – Esquema ilustrativo das etapas seguidas no estudo da implementação da modalidade de <i>batch picking</i>	42
Figura 10 – Output da ferramenta de visualização da atividade de um dia de preparação no entreposto (exemplo para 9 lojas da insígnia Continente e 6 localizações de <i>picking</i>).....	44
Figura 11 – Relação entre rácio de encomenda a 1, 2 a 4 ou mais de 5 caixas e sua representatividade no total encomendado por cada loja.....	46
Figura 12 – Melhoria de produtividade na operação de <i>picking</i> pela implementação da modalidade de <i>batch picking</i> ao SKU.	50
Figura 13 – Esquema ilustrativo das duas fases da análise de <i>batch picking</i> num <i>layout</i> reorganizado em <i>slow</i> e <i>fast movers</i>	53
Figura 14 – Melhoria de produtividade na operação de <i>picking</i> pela implementação da modalidade de <i>batch picking</i> aos SKUs localizados nas subzonas de <i>slow movers</i> (com a distinção das classes a obedecer a um patamar de rotação agregada de 80%).....	54
Figura 15 – Melhoria na produtividade da operação de <i>picking</i> que se obtém aplicando o <i>batch picking</i> ao SKU ao grupo de tarefas de SKUs <i>fast movers</i>	56
Figura 16 – Esquema explicativo do cálculo da mudança de corredor	63
Figura 17 – Exemplo do output da ferramenta de simulação de tarefas.....	64
Figura 18 – Exemplo do output com detalhe do cálculo de simulação de uma tarefa	65
Figura 19 – Planta do entreposto	66

Figura 20 – Valores de melhoria na produtividade de <i>picking</i> pela reorganização do <i>layout</i> com patamar a 90% e classes a conviverem no mesmo corredor	71
Figura 21 – Valores de melhoria na produtividade de <i>picking</i> pela reorganização do <i>layout</i> com patamar a 95% e classes a conviverem no mesmo corredor	71
Figura 22 – Valores de melhoria na produtividade de <i>picking</i> pela reorganização do <i>layout</i> com patamar a 97% e classes a conviverem no mesmo corredor	72
Figura 23 – Valores de melhoria na produtividade de <i>picking</i> pela reorganização do <i>layout</i> com patamar a 95% e corredores dedicados a cada uma das classes	72
Figura 24 – Valores de melhoria na produtividade de <i>picking</i> pela reorganização do <i>layout</i> com patamar a 97% e corredores dedicados a cada uma das classes	73
Figura 25 – Comparação da média de reaprovisionamentos por dia em cada corredor quando se varia a organização do <i>layout</i>	73
Figura 26 – Diminuição da distância percorrida em cada dia de preparação conseguida pela implementação do novo <i>layout</i>	74
Figura 27 – Diminuição do tempo de paragem/arranque em cada dia de preparação conseguida com a implementação do novo <i>layout</i> e seu contributo para a diminuição do tempo total.....	74
Figura 28 – Exemplo de matriz de encomendas diária (SKU e lojas).....	75
Figura 29 – Melhoria de produtividade pela implementação do <i>batch picking</i> à loja (todas as iterações com número de lojas a variar entre 11 e 20 para 2 dias simulados)	76
Figura 30 – Melhoria de produtividade pela implementação do <i>batch picking</i> à loja (apenas iteração em que se simula a seleção de 20 lojas para <i>batch</i>)	76
Figura 31 – Total de caixas a colocar na operação de <i>sorting</i> e número de operações de baixar paletes completas originado em cada iteração do <i>batch picking</i> ao SKU.....	77
Figura 32 – Total de caixas a colocar na operação de <i>sorting</i> e número de operações de baixar paletes completas originado após cada iteração da segunda fase do <i>batch picking</i> em <i>layout</i> reorganizado em <i>slow</i> e <i>fast movers</i>	78

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Percentagem de SKUs afetos às classes <i>slow</i> e <i>fast movers</i> variando o patamar limite de rotação agregada por unidade de negócio (UN)	36
Tabela 2 – Redução do número de <i>pickers</i> por dia e ganho anual que adviria da implementação da reorganização do <i>layout</i> em <i>fast</i> e <i>slow movers</i> (com patamar = 90%)	38
Tabela 3 – Redução do número de <i>pickers</i> por dia e ganho bruto anual que adviria da implementação de <i>batch picking</i> ao SKU.....	51
Tabela 4 – Número e custo dos operadores de máquinas extra que seriam necessários para a implementação de <i>batch picking</i> ao SKU.....	51
Tabela 5 – Relação entre as 4 zonas de <i>picking</i> , unidades de negócio e categorias que as compõem	67
Tabela 6 – Percentagem de SKUs afetos às classes <i>slow</i> e <i>fast movers</i> com o patamar limite de rotação agregada por unidade de negócio igual a 80%	69
Tabela 7 – Cálculo dos ganhos de produtividade após as duas fases da análise da opção de <i>batch picking</i> em <i>layout</i> reorganizado por <i>slow</i> e <i>fast movers</i>	79
Tabela 8 – Comparação da solução obtida no <i>layout</i> reorganizado por classes com a solução de <i>batch picking</i> no <i>layout</i> atual	80

1 Enquadramento do projeto

1.1 Introdução

O presente projeto enquadra-se no âmbito da dissertação realizada no 2º semestre do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão e visa a análise da operação de *picking* em entrepostos de grande dimensão. O principal objetivo do projeto é o de gerar e selecionar novas soluções de percursos de *picking* que levem a uma redução no tempo de preparação das encomendas.

Neste capítulo introdutório começar-se-á por apresentar a empresa onde o projeto decorre. De seguida é feita a apresentação do projeto em si, expondo-se uma perspetiva do contexto atual e das tendências da operação de distribuição no que toca ao número e tipo de lojas, bem como à gama de referências presentes nas mesmas. Dessa apresentação deduzir-se-á a pertinência do projeto, cujos objetivos serão detalhados na secção 1.3.2. Nas secções posteriores será feita uma apresentação da organização da operação logística da empresa no seu todo, focando-se depois a atenção no funcionamento do entreposto em que o projeto se centrará. O capítulo encerrará com a apresentação da estrutura do presente relatório.

1.2 Apresentação da empresa

Fundada em 1959, a SONAE define-se hoje como uma empresa de retalho, não obstante deter também duas parcerias – na área de Telecomunicações (SONAE COM), bem como na área dos Centros Comerciais (SONAE SIERRA).

Os negócios *core* da área do retalho encontram-se organizados em duas empresas, a SONAE MC e a SONAE SR. A SONAE MC é responsável pelo retalho alimentar – sendo líder em Portugal (APED, 2011) – enquanto a SONAE SR tem a seu cargo o retalho especializado, nomeadamente eletrónica, desporto e moda. Juntos representaram um volume de negócios de 4.562 M€ em 2011, sendo a SONAE MC responsável por 73% desse valor (SONAE, 2012).

Pelo facto de a SONAE MC deter o negócio de retalho que tem mais impacto no volume de negócios da empresa, bem como pelo facto de a sua complexa operação logística não estar tão desenvolvida como a operação logística da SONAE SR, o presente projeto focar-se-á na SONAE MC.

A SONAE MC encontra-se então estruturada em 8 insígnias, que agrupam lojas que vão desde a restauração até às parafarmácias. De seguida apresenta-se uma listagem dessas insígnias e uma breve descrição das mesmas:

- Bom Bocado, na área da restauração com cafetarias / restaurantes;
- Book.it, na área das livrarias / papelarias;
- Continente, que alberga os hipermercados do grupo;
- Modelo Continente, que detém os supermercados;
- Continente Bom dia, que detém os supermercados de conveniência;

- Continente Horeca, um canal grossista representado pela insígnia Meu Super;
- Continente Ice, uma insígnia especializada em ultracongelados;
- Well's, insígnia que detém as parafarmácias.

Importa referir que estas insígnias se distribuem por 454 lojas, representando aproximadamente 564 mil m² (SONAE, 2012), a maior área de vendas do sector do retalho alimentar em Portugal (APED, 2011).

1.3 O projeto de geração e seleção de percursos na SONAE MC

Uma vez apresentada a empresa onde o projeto decorre, será então apresentado o projeto em si. Nesta secção começar-se-á por apresentar o contexto e tendências atuais do sector do retalho e as suas implicações na operação de distribuição. Do confronto entre esse ambiente externo e a forma como o entreposto em análise hoje se organiza, concluir-se-á a pertinência de se estudar a hipótese de efetuar circuitos de *picking* em que se juntam lojas com baixas quantidades encomendadas, bem como da pertinência de estudar uma alternativa de *layout* que reflita o nível de rotação dos *stock keeping units* (SKUs) no seu posicionamento no centro de distribuição. Por último serão detalhados os objetivos do projeto. É importante referir que a designação “SKU” se refere ao código interno da empresa para identificar cada referência que faz parte da gama. Note-se que, para um mesmo produto, esse código pode variar de acordo com o *pack* em que o mesmo é vendido e preparado no entreposto.

1.3.1 Contexto externo e suas implicações na operação de distribuição

A análise da conjuntura em que o projeto se insere focar-se-á em dois pontos fundamentais: (1) o tipo de loja onde se efetuam as transações e (2) a gama de artigos presente nessas lojas.

Atualmente verifica-se uma tendência crescente para a expansão de um tipo de loja mais pequena, estrategicamente localizada e que não descarta a presença de uma diversificada gama de referências. Estas lojas, que na SONAE MC pertencem maioritariamente à insígnia “Continente Bom Dia”, apresentam padrões de quantidade encomendada mais baixos que os das lojas de maiores dimensões. Ao nível do centro de distribuição este facto reflete-se num aumento da atividade de *picking*, pois estas lojas encomendam quantidades não suficientes para serem satisfeitas por uma paleta completa que seria então baixada diretamente de *stock* para o cais de expedição afeto à loja. Verifica-se também que estas lojas tendem a encomendar poucas referências por dia e poucas caixas de cada referência, o que resulta em circuitos de *picking* ineficientes, dado percorrerem-se muitos metros parando-se em poucas localizações de *picking* e preparando-se poucas caixas nas localizações onde se para.

Não obstante pertencerem a outras insígnias, importa referir que há lojas com uma área de venda maior cujo comportamento de vendas se assemelha ao de um Continente Bom dia, particularmente as que foram compradas à cadeia Carrefour, o que torna o problema acima descrito ainda mais veemente.

Para além disso, verifica-se hoje uma tendência para um aumento da frequência semanal em que cada loja encomenda ao entreposto, sendo essa tendência acompanhada de uma diminuição do número de caixas pedidas para cada SKU em cada encomenda. A conjugação destes dois fatores coloca em questão os níveis de eficiência de um entreposto que apenas prepara encomendas na modalidade de *picking* discreto, isto é, em que cada loja é preparada num circuito a si afeto. Importa ainda referir que a tendência acima descrita encontra justificação quer na própria adoção de um novo paradigma de centro de distribuição que retira às lojas a obrigação de ter *stock*, quer no facto de as lojas, e em particular as de menor área de venda, possuírem um reduzido espaço para colocarem um *buffer* de SKUs.

Daqui surge então a urgência de se estudar o impacto da possibilidade de *batch picking*, isto é, de agregar a preparação das encomendas das lojas. Dessa forma a procura das mesmas seria satisfeita visitando o menor número de vezes possível cada localização de *picking*, solução que apresenta um grande potencial de ganhos de produtividade.

Focando agora a atenção na gama de produtos hoje presente numa grande superfície, conclui-se que a mesma tem vindo a alargar-se nos últimos anos. Todavia, a procura dos artigos que compõem essa gama não é homogénea. Pelo contrário, se dessa gama há artigos que são comprados todos os dias em grandes quantidades, outros há cuja presença em prateleira se justifica apenas pelo objetivo de alargar a oferta apresentando níveis de rotação muito inferiores.

Assim, da convivência nos mesmos circuitos de *picking* de produtos com padrões de rotação distintos se conclui a necessidade de se estudar o impacto ao nível da produtividade da implementação de políticas de atribuição de localização que tenham em linha de conta a rotação do artigo, categorizando-os em *slow* e *fast movers*. Desta forma as 4 zonas de *picking* já em voga no entreposto (e que serão detalhadas em 3.2) seriam subdivididas não nas categorias dos artigos, mas nessas duas categorias de rotação. Uma vez implementada, esta política deverá originar percursos mais curtos, levando a uma diminuição do tempo de *picking*, o principal foco de melhorias de produtividade em centros de distribuição (De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007).

Importa referir que enquanto a implementação da opção de *batch* será uma decisão apenas ao nível da gestão dos centros de distribuição, o mesmo não se verifica para as políticas de localização. A divisão em circuitos *slow* e *fast* faria cair o atual paradigma de um *layout store-friendly*, passando as lojas a receber os artigos separados consoante a sua rotação. Tal decisão, interferindo com a forma de funcionar da cadeia logística a jusante do entreposto, carece de um acordo entre as duas partes, gestão da logística e gestão das lojas, pelo que a sua implementação requererá um tempo de implementação elevado.

Por último, e porque os problemas se diluem um no outro, far-se-á um estudo das sinergias resultantes da implementação do novo *layout* proposto com a possibilidade de se efetuar *batch* à loja e/ou ao artigo.

1.3.2 Objetivos do projeto

Nesta secção far-se-á um esclarecimento das alternativas em estudo, que se esquematizam na Figura 1, sendo depois concretizados os objetivos que o presente projeto pretende atingir.

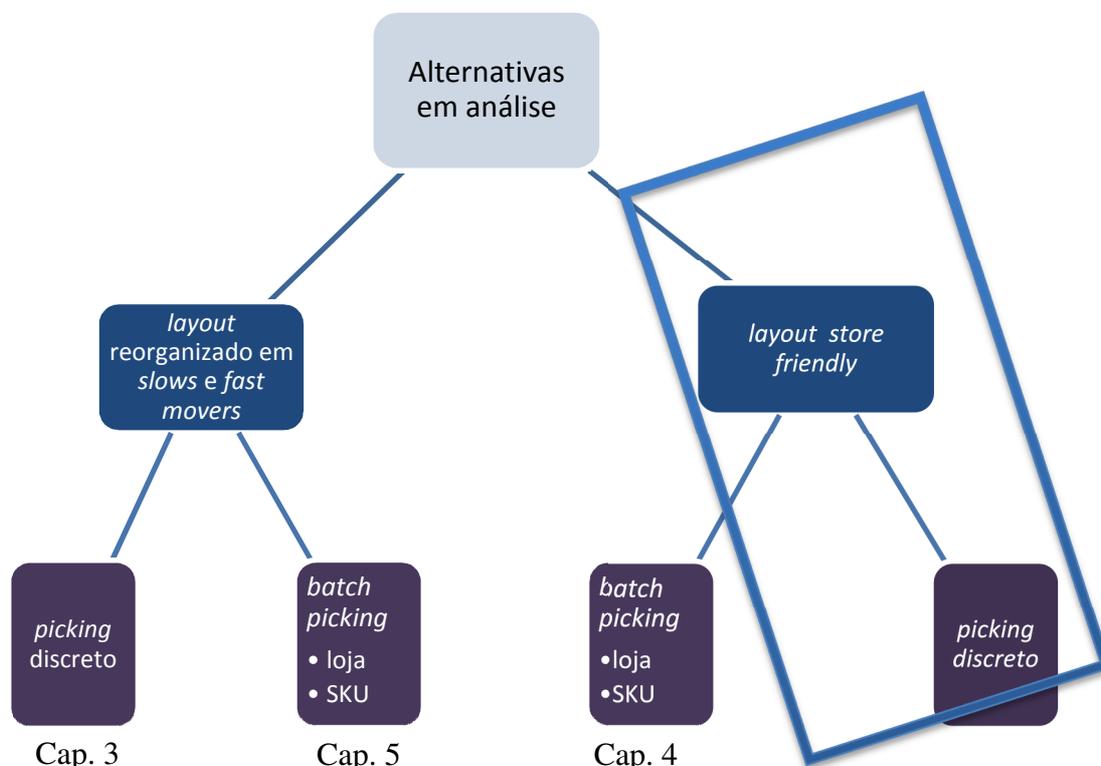


Figura 1 – Resumo das alternativas em análise no âmbito do projeto

O presente projeto visa então o estudo de dois temas que, sendo distintos, partilham sinergias: a reorganização do *layout* pela rotação dos SKUs e a implementação da modalidade de *batch picking*. No esquema acima, os dois temas em estudo são representados pelo código de cores. Lendo o esquema da esquerda para a direita tem-se que os 3 ramos mais à esquerda representam cada uma das 3 hipóteses em análise e o ramo em destaque à direita representa a situação atual do entreposto conforme se apresenta na Figura 2.



Figura 2 – Situação atual do entreposto

Não obstante, o projeto focou-se primeiro em estudar o impacto da mudança que resultaria da implementação de cada uma das novas abordagens individualmente. Essas duas alternativas são representadas pelo primeiro e terceiro ramo do esquema da Figura 1 e a sua análise será apresentada nos capítulos 3 e 4 respetivamente. A hipótese da sinergia que resultaria da implementação das duas

mudanças em simultâneo, que está representada pelo segundo ramo, será abordada no capítulo 5.

Os objetivos do projeto são então:

1. Propor uma reorganização do *layout* tendo em conta a rotação dos artigos;
2. Quantificar os ganhos de produtividade que adviriam da adoção dessa reorganização;
3. Quantificar os ganhos de produtividade que se conseguiriam com a implementação do *batch picking*;
4. Definir requisitos para a implementação no sistema de informação da decisão diária de quais as lojas / artigos que se justifica efetuar em *batch*;
5. Estudar e quantificar o benefício traduzido em diminuição do tempo de preparação que a implementação de ambas as medidas traria para o centro de distribuição.

1.4 Organização da operação de distribuição

Uma vez apresentada a empresa e o projeto que se pretende desenvolver é importante perceber a forma como a empresa organiza a sua operação de distribuição.

A operação logística do retalho alimentar da empresa encontra-se centralizada em dois polos, um localizado na Maia e outro na Azambuja. O polo da Maia é responsável pelo abastecimento da zona norte e centro norte do país, bem como das ilhas dos Açores e Madeira, num total de 172 lojas. Por sua vez o polo da Azambuja tem a seu cargo o abastecimento das lojas centro sul, sul e ilha da Madeira.

Os dois polos estão depois organizados internamente pelas necessidades de acondicionamento específicas que os artigos que constituem a gama do retalho alimentar apresentam, particularmente no que respeita à temperatura. Assim sendo, em cada um destes polos estão presentes 3 centros de distribuição, um que tem a seu cargo a preparação de encomendas de produtos congelados (a uma temperatura de -23°C), outro dedicado a produtos que necessitam de temperatura controlada (na ordem dos 5°C) e, por fim, um outro a temperatura ambiente que se encarrega da preparação de encomendas de artigos sem requisitos específicos de temperatura.

Por sua vez, no centro de distribuição a temperatura ambiente ocorrem duas operações distintas, *picking by line* (PBL) e *picking by store* (PBS). A primeira distinção entre as duas operações é que o PBL é uma operação que decorre sem recurso a *stock*, enquanto o PBS se baseia na existência de *stock*. Assim, o PBL está mais vocacionado para artigos de baixa rotação e para fornecedores que apresentem um elevado nível de serviço, dado a operação ser *just-in-time*. De seguida far-se-á uma descrição sumária das características operacionais de cada uma das operações.

A operação PBL caracteriza-se por cada loja que o centro de distribuição abastece, estar representada numa localização fixa no entreposto. O *picker* desloca-se com uma paleta de um SKU (ou mais do que um, no caso de o fornecedor entregar em *batch*) e deixa em cada loja a quantidade por ela encomendada. É portanto o SKU

que se desloca, enquanto a loja está fixa. Neste processo cada *picker* satisfaz várias encomendas, todas quantas as lojas que encomendaram o(s) SKU(s) que se encontram na paleta deslocada pelo operador num porta-paletes manual.

Na operação PBS, é o SKU que se encontra numa localização fixa – a sua localização de *picking* – e é a loja que se desloca. Isto é, o *picker* movimentar-se num porta-combis e as duas paletes que nele transporta representam uma dada loja, pelo que cada operador é responsável por uma encomenda em cada tarefa, e não por um SKU em cada tarefa como sucede no PBL.

No PBS tem-se então uma maior complexidade de operações, dado ser uma operação com *stock*, que exige tarefas de (1) aprovisionamento, a colocação na localização de *stock* das paletes rececionadas de um dado SKU; (2) baixar paletes completas, operação oposta à de aprovisionamento, ou seja implica retirar paletes completas de *stock* diretamente para o cais de expedição afeto à loja que encomendou o SKU; (3) reaprovisionamento, operação semelhante à operação de baixar paletes completas de *stock*, mas em que a paleta completa é colocada na localização de *picking* do SKU e (4) o *picking*, a operação *core* que se traduz numa sequência de paragens nas localizações de *picking* de cada SKU encomendado pela loja e da recolha da quantidade de caixas encomendada de cada um deles.

1.5 Centro de distribuição PBS da Maia

Dadas as restrições de tempo e a abrangência do projeto foi decidido focar a atenção num entreposto apenas. Assim, o projeto focar-se-á no polo da Maia, centro de distribuição alimentar a temperatura ambiente onde decorre a operação PBS.

O entreposto PBS da Maia, cujo macro *layout* pode ser consultado na Figura 19 do ANEXO C, tem aproximadamente 25.000 m² de área, e aproximadamente 13 m de altura útil. Como este é um entreposto de *layout* em U, os cais de receção e de expedição encontram-se do mesmo lado do entreposto. De forma a possibilitar as operações de receção e expedição este entreposto é constituído por 36 cais, aos quais estão afetos um total de 192 linhas de receção / expedição. Em cada uma dessas linhas é possível colocar 16 paletes, o que perfaz uma capacidade de 3.072 paletes ao solo nesta zona do entreposto, que ocupa uma área de aproximadamente 470 m².

No que respeita ao *layout* referir ainda que este entreposto apresenta um *layout* irregular, não rectangular. Essa característica implica que nele convivam as duas tipologias de entreposto mais estudadas da literatura: o entreposto sem corredor central e o entreposto com um ou mais corredores centrais.

Este entreposto gere o *stock* e efetua a preparação de uma gama de referências que conta com aproximadamente 5.750 SKUs. Essa preparação de encomendas ocorre todos os dias da semana exceto ao domingo, com turnos de 24h. O armazenamento dessas referências faz-se recorrendo ao sistema de *rack* convencional. Referir que este é o sistema indicado para uma grande variedade de referências permitindo um acesso direto e unitário às mesmas (Ramos, 2010). Neste centro de distribuição estão presentes 120 *racks* com 12,66 metros de altura.

Tem-se assim um total de 27.100 localizações de *stock* e 4.608 de localizações ao solo, as denominadas localizações de *picking*.

Para além da referida zona de cais, o entreposto conta ainda com uma sala de máquinas, um parque para reateis e outro para os porta paletes manuais e porta combis, um gabinete administrativo ao centro da zona de cais – local onde é efetuada a receção administrativa e a atribuição de tarefas de *picking* – uma sala para colocação de paletes e caixas, isto para além da zona de armazenagem / preparação.

A gestão das operações é levada a cabo com recurso a um sistema de informação que integra, entre outros:

- A parametrização do centro de distribuição, com coordenadas x, y, z de cada localização de *picking* e de *stock*, bem como dos cais e do local onde são atribuídas as tarefas aos operadores;
- Os dados logísticos do artigo, como o fornecedor, o peso, a cubicagem e o *Ti-Hi*, isto é, o número de caixas que perfaz uma camada numa paleta do artigo (*Ti*), e o número de camadas necessárias para perfazer uma paleta completa do mesmo (*Hi*);
- A localização de *picking*, ao solo, de cada SKU;
- As localizações de *stock* onde o SKU se encontra armazenado;
- As quantidades de cada SKU quer em *stock* quer na localização de *picking*.

Ao nível da gestão operacional, este sistema é ainda responsável por gerar tarefas de *picking*, de reaprovisionamento e de baixar paletes completas. Dado ter as coordenadas parametrizadas e de se poder definir uma velocidade de deslocamento com carga, uma velocidade de deslocamento sem carga e uma velocidade de virar no fim do corredor, o sistema gera um tempo *standard* para cada tarefa. Sendo assim, é possível medir a performance de cada um dos operadores, comparando os tempos reais com os calculados pelo sistema, o que constitui uma interessante ferramenta de gestão.

O *picking* neste entreposto é efetuado com recurso a um sistema de *voice*. Assim sendo, cada operador usa um dispositivo com um auscultador e um microfone para efetuar o *picking*, interagindo com o sistema através de um diálogo simples. Neste diálogo, o sistema indica ao *picker* a localização de *picking* para onde ele se deve dirigir e o número de caixas que tem de retirar dessa localização. Por parte do operador, a interação dá-se com a leitura do dígito de confirmação da localização em que se encontra - o que evita erros de preparação -, e proferir a palavra “pronto” como confirmação da preparação das caixas indicadas pelo *voice*. Com recurso a este sistema diminui-se o erro de preparação inerente à leitura de um mapa de *picking*, e aumenta-se a produtividade dos operadores fruto da maior disponibilidade física que o diálogo permite.

Outra particularidade operacional do centro de distribuição é a de que sempre que uma ordem de compra de um dado SKU perfaça 70% de uma paleta completa do mesmo, a quantidade encomendada é arredondada pelo sistema de informação para o valor da paleta completa. É assim eliminada a tarefa de *picking* dessas caixas sendo substituída pela tarefa de máquinas denominada “baixar paleta completa”.

Importa todavia referir que o sistema de informação é detido por terceiros e que qualquer desenvolvimento que nele se queira implementar implica um investimento monetário significativo. Estes desenvolvimentos são complicados também pelo tempo necessário para uma correta especificação de requisitos e de funcionalidades do sistema.

Um último ponto relevante acerca do sistema de informação é o facto de guardar o histórico da operação do entreposto, onde, entre outros, constam as tarefas de *picking* e os seus tempos de preparação, durante apenas 15 dias.

1.6 Organização do relatório

A organização do presente documento seguirá o seguinte fio condutor: no capítulo 2 será apresentada a pesquisa bibliográfica subordinada ao tema de *order picking*, ao que se seguirão 3 capítulos em que se discutem cada um dos problemas em análise, a reorganização do *layout* pela definição de classes de rotação no capítulo 3, a implementação de *batch picking* em 4 e a análise conjunta das mudanças supramencionadas no capítulo 5. Cada um desses capítulos inicia-se com uma apresentação do problema, seguida de uma apresentação da metodologia seguida na sua resolução e, por último, uma discussão dos resultados obtidos e a consequente apresentação da solução proposta. O capítulo 6 enfatiza os resultados obtidos com o projeto, bem como as conclusões a extrair dos mesmos, valorizando-se essa apresentação sumária dos resultados com o levantamento de novos estudos que seria pertinente realizar na sequência do presente projeto.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Introdução

Nesta secção far-se-á uma apresentação da literatura existente na área do conhecimento em que o presente problema se enquadra. A mesma encontra-se organizada da seguinte forma: primeiro faz-se um enquadramento histórico da logística, bem como o contributo, importância e função dos centros de distribuição. Em 2.3 será introduzido o conceito de *order picking* e far-se-á uma revisão sucessiva das áreas que influenciam esta atividade, mas que não serão o objetivo direto do presente trabalho. Em 2.4 e 2.5 apresentar-se-á então uma revisão mais detalhada dos dois problemas visados no âmbito deste projeto: as políticas de localização dos artigos e a opção de *batching* das ordens de compra.

2.2 Logística e centros de distribuição

O nascimento da logística não pode ser atribuído a um momento preciso na história da civilização, mas teve na área militar o seu grande motor gerador de grandes oportunidades de desenvolvimento (Guedes, 2010). Outrora encarada como um custo a ser minimizado, a logística é hoje vista como um meio para se atingir uma vantagem competitiva, seja por meio da minimização de custos, seja por meio da diferenciação (Voss, Calantone, & Keller, 2005).

Um dos elementos fundamentais num sistema logístico são os armazéns, que, aliás, representam 20% dos custos logísticos das empresas presentes no estudo levado a cabo pela “European Logistics Association” (ELA / AT Kearney) em 2004 (De Koster et al., 2007).

Se nos primórdios do desenvolvimento industrial considerações de eficiência na utilização do espaço e no manuseamento de produtos eram esquecidas, dados os baixos custos da mão-de-obra de então, o mesmo não se verificou no pós II Guerra Mundial. Justificada por um lado, pelo rápido desenvolvimento da tecnologia nos equipamentos de manuseamento e, por outro, pelo aumento dos custos de mão-de-obra, a atenção da gestão voltou-se para a melhoria da eficiência nas operações dentro dos armazéns, focando-se e estudando implicações ao nível de diferentes tipologias de *layout*, estratégias de roteamento, políticas de localização dos SKUs e métodos de *picking* (Ashayeri & Gelders, 1985).

Olhando para a evolução recente do número de armazéns, nota-se um abandono do paradigma de ter muitos armazéns de pequena dimensão, em favor do paradigma de se ter poucos armazéns de grande dimensão, por forma a se conseguirem economias de escala (De Koster et al., 2007), gerando, simultaneamente, oportunidades para grandes ganhos de eficiência.

Em conclusão, embora por vezes associados à ideia de algo que não acrescenta valor ou até a algo que o destrói, na realidade, a boa gestão dos armazéns apresenta um contributo relevante para múltiplos objetivos de uma empresa, a saber (De Koster et al., 2007):

- Proporcionam economias de escala:

- Ao nível dos transportes, pela consolidação de cargas que se obtém;
- Ao nível da produção, pela possibilidade de produzir para *stock*;
- Permitem reagir à incerteza do mercado, consequência de fatores como a sazonalidade e variação na procura;
- Atenuam as diferenças temporais e geográficas, entre produção e consumo;
- Possibilitam o processo de logística inversa;
- Ajudam a empresa a atingir o nível de serviço a clientes pretendido;
- São essenciais na implementação de uma política *just-in-time*.

Referir que em logística o termo “armazém” é indicado quando a função principal do espaço é armazenar ou criar um *buffer* de matérias-primas, produtos em processo ou produtos acabados. Todavia, quando a função distribuição toma um papel preponderante então a designação mais correta a adotar será a de “centro de distribuição”.

2.3 Order Picking

De entre as atividades do quotidiano de um centro de distribuição, *order picking* é a atividade *core*. Esta define-se como o processo de recolha de SKUs das suas localizações em armazém, como resposta a um pedido de um cliente, a ordem de compra. Cada ordem de compra é constituída por uma ou várias linhas, constando em cada linha um único SKU e quantidade encomendada.

Entre o momento em que uma ordem é lançada no centro de distribuição e o momento em que ela chega ao cliente, existe um amplo espaço de oportunidade para que erros ocorram. Estes podem ir desde o não cumprimento do número de caixas de cada SKU encomendado, passando pela própria recolha de SKUs errados, ou ainda possíveis quebras na recolha dos mesmos. Para além destes, a não eficiente gestão do tempo é motor de oportunidades de melhoria.

Assim, qualquer erro ou ineficiência nesta atividade terá um impacto direto no cliente, acarretando um aumento no tempo de entrega, um decréscimo no nível de serviço percecionado, bem como uma diminuição da performance da cadeia de abastecimento como um todo (Voss et al., 2005). De facto no estudo publicado por Voss et al. (2005) é referido que, muitas vezes percecionados como um custo necessário, os operadores de *picking* possuem na realidade a aptidão para afetar negativa ou positivamente a imagem da empresa, devendo ser encarados como uma função visível da mesma junto dos seus clientes.

Para além do que foi referido, no caso de armazéns tradicionais a operação *order picking* é a que necessita do maior volume de força de trabalho. Esta representa entre 50% a 75% dos custos totais para um armazém típico (De Koster et al., 2007; C. Petersen & Aase, 2004; C. G. Petersen, 2002). Daí a existência de um grande volume de investigação nesta área, que continua a ser o tópico de mais alta prioridade para melhorias de produtividade em centros de distribuição.

Nas secções seguintes apresentar-se-ão mais detalhadamente os objetivos da operação de *picking* e uma breve reflexão sobre a tendência que se verifica na atualidade e que aponta para um aumento destas operações. Depois far-se-á referência aos diferentes métodos que permitem levar a cabo esta operação, com especial foco nos métodos baseados em mão-de-obra. Uma vez apresentados estes pontos, abordar-se-ão três considerações que embora tenham impacto nesta atividade, não são objeto de estudo do presente projeto, sendo elas o *layout*, a divisão do entreposto em zonas e a política de roteamento dos *pickers*.

2.3.1 Objetivos da operação de *picking*

Numa operação de *picking* o principal objetivo é “maximizar o nível de serviço, sujeito a restrições de capacidade de mão-de-obra, máquinas e capital” (De Koster et al., 2007). Assim, para além de fatores como a conformidade da mercadoria expedida, ou o cumprimento das quantidades pedidas, a variável tempo é um fator decisivo entre a atividade de *picking* e o nível de serviço. Se, por um lado, é preciso garantir que as encomendas estão preparadas a tempo da expedição, por outro, o encurtamento do tempo de preparação traz em si mesmo implícito um aumento da flexibilidade do centro de distribuição.

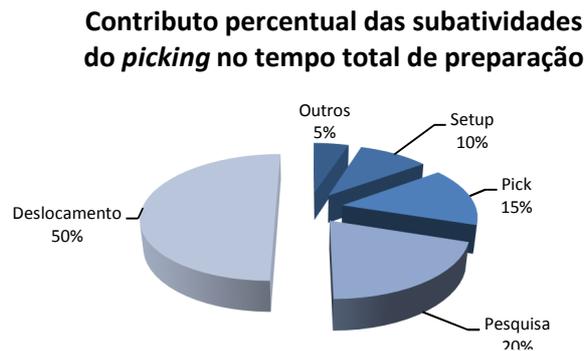


Figura 3 – Distribuição típica do tempo de preparação (retirado de De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007, pp. 486, figura 4)

Minimizar tempos de preparação apresenta-se, então, como uma necessidade/objetivo na gestão de uma operação de *picking*. De entre as subatividades que compõem esta operação e que são sumariadas na Figura 3, infere-se que o deslocamento é o principal contribuinte para o referido tempo de preparação. Assim, e uma vez que se trata de uma subatividade que não acrescenta valor, torna-se o candidato primeiro a melhoria (De Koster et al., 2007). E uma vez que o tempo de deslocamento é, para o caso de *picking* manual, função crescente da distância percorrida (De Koster et al., 2007), então qualquer melhoria de eficiência na distância percorrida trará uma redução substancial no tempo total exigido para preparar uma dada ordem e, conseqüentemente, uma redução substancial nos custos de operação do centro de distribuição (C. G. Petersen, 2002).

2.3.2 Tendência atual

Atualmente verifica-se um aumento ímpar na variedade de SKUs presentes em armazém. De facto, o alargamento da gama requiere mais espaço ao nível das

localizações de *stock* e, conseqüentemente, são precisas mais localizações ao solo de modo a possibilitar a operação de *picking*. Mais localizações ao solo levam a um aumento da distância total dos percursos o que acarreta um aumento do tempo de processamento por ordem de compra (C. G. Petersen, 2002). Para além disso, o número de ordens de compra tende a aumentar enquanto as quantidades encomendadas em cada ordem tendem a diminuir. Logo verifica-se uma redução do número de operações de baixar paletes completas sendo requerido mais operações de *picking* individual (C. G. Petersen, 2002).

2.3.3 Métodos

Visando alcançar os objetivos referidos existem várias abordagens para se realizar a operação de *picking* conforme se apresenta na Figura 4. Estas dividem-se em métodos baseados em mão-de-obra e métodos baseados em máquinas. Contudo, dado serem usados apenas em casos específicos, por exemplo no manuseamento de SKUs valiosos e de pequena dimensão, os métodos baseados em máquinas não serão aqui detalhados.

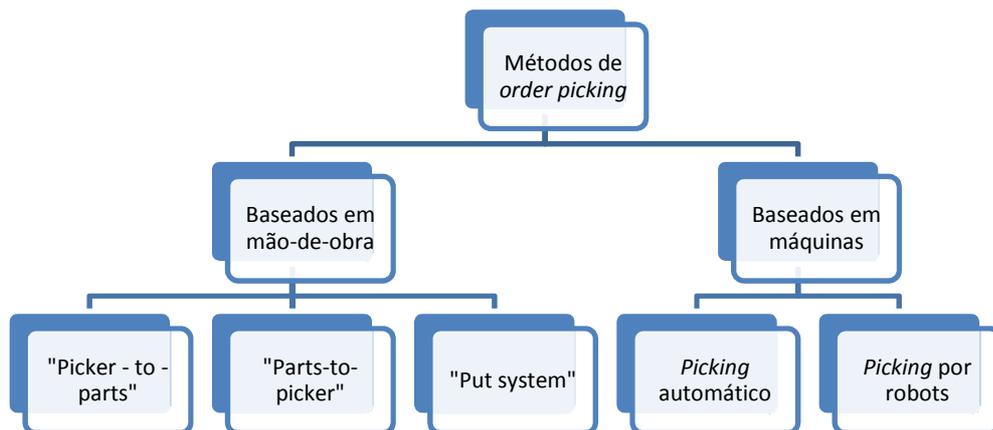


Figura 4 – Quadro síntese da classificação dos métodos de order picking (baseado em De Koster et al., 2007, pp.484, figura 2)

Devido a fatores como a variabilidade na procura, a sazonalidade de alguns SKUs, a multiplicidade de formas e tamanhos dos mesmos, bem como o capital requerido para a instalação de um sistema de *picking* baseado em máquinas, de entre os métodos apresentados na Figura 4, os métodos baseados em mão-de-obra continuam a ser os mais amplamente usados na prática. Destes, o método *picker-to-parts* é o usado em cerca de 80% dos centros de distribuição da Europa Ocidental (De Koster et al., 2007; C. Petersen & Aase, 2004). Não obstante, de seguida far-se-á uma sucinta descrição dos vários métodos baseados em mão-de-obra:

- “Picker-to-parts”: o operador desloca-se nos corredores (por seus meios ou num porta-paletes), recolhe os SKUs e coloca-os num cesto ou palete;
- “Parts-to-picker”: este método requer a existência de um *Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS)* que, através de

um guindaste, faz chegar à posição de *picking* uma ou mais paletes de um dado SKU, onde o operador retira a quantidade pretendida sendo a sobrança armazenada de novo.

- “Put system”: sistema em que numa primeira etapa os SKUs são recolhidos em “picker-to-parts” ou “parts-to-picker” sendo estes posteriormente entregues a um outro operador que os distribui pelos clientes.

2.3.4 Layout

É importante mencionar que a designação *layout* se refere aqui a duas vertentes distintas do problema: primeiro ao macro - *layout* do próprio entreposto em que a atividade de *picking* vai tomar parte; segundo, ao seu *layout* interno. Ora, enquanto o primeiro se prende com a localização dos departamentos (receção, armazenagem, preparação, triagem, expedição, entre outros), o segundo pretende estudar o número de blocos, a existência ou não de corredores de cruzamento, e se sim, quantos e onde, e ainda o comprimento e largura dos corredores entre blocos. Aquando da conceção de raiz de um centro de distribuição, essas considerações a ter no que respeita ao *layout* formam um problema cuja função objetivo se prende com a minimização da distância percorrida (De Koster et al., 2007) e daí a relação estreita com o problema em análise. Da literatura existente nesta área específica, os resultados conseguidos até então encontram-se compilados e disponíveis de forma interativa no *site* Erasmus-LOGISTICA (René de Koster, 1998) bem como nestoutro (Roodbergen, 2007). Referir ainda que uma ampla listagem de referências é disponibilizada nestas plataformas.

2.3.5 Picking por zona

Por *picking* à zona entende-se a separação da área de *picking* em diferentes zonas – circuitos – baseado em critérios de propriedades do produto, como o peso, o volume, ou requisitos de segurança. Cada operador está então afeto a uma zona específica e recolhe a parte da ordem de compra que contém os SKUs da sua zona (De Koster et al., 2007; C. G. Petersen, 2002).

A vantagem primeira deste tipo de abordagem é a redução da distância do percurso, bem como do congestionamento, e o inerente aumento de produtividade pelo facto de os operadores ficarem mais familiarizados com a localização dos SKUs. Todavia, dado a ordem de compra ser dividida em N áreas, uma desvantagem será a necessária consolidação da carga antes da expedição (De Koster et al., 2007).

Existem duas tipologias de *picking* por zona: “*progressive assembly*”, em que quando um operador acaba a parte da ordem de compra que está na sua zona, passa a mesma ao operador da zona seguinte; “*synchronised picking*” em que todos os operadores iniciam em simultâneo uma mesma ordem de compra, previamente dividida por circuito, sendo a mesma consolidada *a posteriori*.

2.3.6 Política de roteamento

Outro tópico que tem uma influência direta na distância percorrida é o método usado para planear os trajetos a serem percorridos pelos operadores e, portanto, a sequência pela qual os itens vão ser recolhidos, tendo em conta a sua localização no centro de distribuição. Pretende-se, uma vez mais, minimizar a distância total percorrida conseguindo o mais curto e eficiente *picking* (Ling feng, 2006). Para este problema encontram-se na literatura dois tipos de solução: soluções ótimas e soluções baseadas em heurísticas.

As soluções ótimas apresentam algumas limitações, como o facto de não estarem disponíveis para todos os *layouts* existentes na prática (De Koster et al., 2007) e o facto de, sendo geradas por um algoritmo, gerarem percursos confusos, não naturais, e que uma vez implementados na prática, levam a que os operadores tendam a desviar-se dos mesmos (C. Petersen & Aase, 2004). Não obstante, estes algoritmos permitiram chegar a algumas soluções consensuais como, por exemplo o algoritmo desenvolvido por *Goetschalckx e Ratliff* que mostrou que é “significativamente mais eficiente efetuar o *picking* em ambos os lados de um corredor numa mesma viagem, do que fazer o *picking* de um lado e, numa outra viagem, do outro” (Ling feng, 2006).

As soluções heurísticas existentes combinam a vantagem de serem soluções de fácil implementação estando próximas do ótimo (C. Petersen & Aase, 2004). De entre elas, quatro surgem com maior relevo na literatura (De Koster et al., 2007; Ling feng, 2006; C. Petersen & Aase, 2004), a saber:

- *S-shape* ou *Traversal*, em que os operadores, tendo entrado num corredor, são obrigados a percorrê-lo todo, havendo, portanto, apenas um sentido de percurso. Esta solução é amplamente usada na prática oferecendo bons resultados em situações de alta densidade de *picking* por corredor (C. Petersen & Aase, 2004);
- *Return*, em que a entrada e saída do corredor se dão pelo mesmo lado, sendo visitados apenas os corredores com pelo menos um SKU a ser recolhido;
- *Mid-point* e *Largest Gap* são heurísticas baseadas no mesmo conceito, o de divisão do armazém em duas áreas de *picking*, uma de acesso frontal, outra de acesso à retaguarda (De Koster et al., 2007).

2.4 Políticas de atribuição de localização

Por políticas de atribuição de localização entende-se o conjunto de regras com base nas quais se atribuem localizações aos SKUs. Referir que esta designação abrange o estudo das localizações quer de *stock* quer de *picking*. Contudo, a literatura discute este tema mais direccionado para o *stock*, enquanto o presente trabalho pretende estudar o impacto destas políticas na performance do *picking*.

Segundo Chan and Chan (2011) “as políticas de atribuição de localização são o fator que mais influencia a performance da atividade de *picking*”, sendo este um dos principais desafios que a gestão de um centro de distribuição tem de encarar (Chan & Chan, 2011).

De Koster et al. (2007) apresentam um levantamento das cinco políticas mais comumente usadas na prática, a saber: (1) armazenamento aleatório, (2) armazenamento na localização livre mais perto, (3) armazenamento dedicado, (4) armazenamento baseado em *turnover* e (5) armazenamento baseado em classes. C. Petersen and Aase (2004) fazem referência às políticas de armazenamento aleatório, dedicado e baseado em classes.

Na política de armazenagem aleatória a cada unidade rececionada do SKU (a palete, usualmente) é arbitrariamente atribuída uma localização de entre todas as elegíveis. Este é um método de fácil implementação daí ser muito comum, exortando a um alto nível de utilização do espaço, em prejuízo do aumento da distância de percurso (De Koster et al., 2007; C. Petersen & Aase, 2004). Outra vantagem deste método é resultar num bom balanceamento do tráfego no armazém (Kofler, Beham, Wagner, Affenzeller, & Achleitner, 2011). Uma variante desta abordagem, que requer o recurso a sistemas de informação de suporte, é o método de armazenamento na localização livre mais perto, em que a primeira localização livre encontrada pelo operador de armazenamento será a localização atribuída ao SKU. Tal leva a altos níveis de utilização do espaço na área circundante à zona de receção e baixos níveis à medida que a distância a essa zona aumenta.

Por sua vez, o armazenamento dedicado coloca-se no outro extremo, ou seja, cada SKU da gama presente em entreposto está alocado a uma localização fixa. Como vantagens deste tipo de método, contam-se:

- A potencial aprendizagem das localizações de *picking* dos itens ao longo do tempo por parte dos operadores, o que leva a melhorias de produtividade;
- A possibilidade de se implementar no centro de distribuição um *layout* que sendo semelhante ao *layout* da loja, lhes permite proceder ao reabastecimento das prateleiras de uma forma mais célere, uma vez que os produtos já se encontram agrupados segundo as diferentes zonas da loja (o denominado *layout store-friendly*);
- O permitir a ordenação dos SKUs pelos seus pesos, por forma a conseguir-se uma boa estiva.

A principal desvantagem desta política é apresentar o mais baixo nível de utilização do espaço (De Koster et al., 2007), fruto da necessidade de manter localizações reservadas para o máximo nível de *stock* esperado de cada SKU.

Para um aprofundamento do tema referir o trabalho intitulado “*Storage assignment policy tradeoffs*”, publicado por Malmborg (1996) em que se apresenta um estudo dos *tradeoffs* de custos de armazenagem e de *picking* no que toca ao armazenamento aleatório e dedicado.

A motivação da regra do armazenamento baseado em *turnover* é a de que os SKUs que apresentem valores mais elevados de taxa de vendas devem estar localizados nos pontos de *picking* mais facilmente acessíveis (De Koster et al., 2007; Kofler et al., 2011). Um dos mais conhecidos índices que suporta esta política é o cube-per-order index (COI) (Malmborg, 1995) introduzido por Heskett. Este índice define-se como sendo o rácio entre o espaço total de

armazenagem exigido pelo SKU e a sua procura por período (Chan & Chan, 2011), ou o número de viagens necessárias para satisfazer a sua procura numa dada unidade de tempo (De Koster et al., 2007). Os itens que apresentem os mais baixos valores deste índice devem então ser localizados o mais próximo possível da área de receção. Deste modo assegura-se que os maiores volumes se deslocam o menos possível na operação de armazenagem (Chan & Chan, 2011). Todavia, fica um pouco descurado o impacto desta política na operação de *picking*, uma vez que não são consideradas as quantidades médias que terão de ser retiradas por circuito de *picking* e, conseqüentemente, a distância que esses volumes terão de agora percorrer. Para além disso, considerações ao nível da estabilidade da estiva são também esquecidas.

Da combinação dos métodos supracitados, surge um outro que toma a designação de baseado em classes, cujo pressuposto é a divisão dos SKUs em classes que terão uma área do centro de distribuição a si dedicada, sendo depois a organização intra-classes sujeita a um outro método. Portanto, a ideia base deste método é a regra de *Pareto* em que se pretende agrupar os produtos em classes de tal forma que aquelas mais *fast-moving* contenham apenas 15% dos produtos, mas sejam responsáveis por 85% do turnover (De Koster et al., 2007). Os produtos *fast-moving* tomam a designação de A, os seguintes B e assim sucessivamente. Normalmente o número de classes será 3, mas a introdução de novas classes pode trazer ganhos adicionais no que respeita ao tempo de percurso (De Koster et al., 2007).

Para esta divisão em classes alguns indicadores são propostos na literatura. Em primeiro lugar, com base no índice COI, previamente introduzido; em segundo, baseado no cálculo do turnover supramencionado; e, por último, com base num outro índice, o Entry-Item-Quantity (EIQ) que de seguida se detalha.

Este índice acrescenta o fator cliente (E) aos dois fatores comumente usados: itens (I) e quantidades (Q).

Conseguem-se assim calcular quatro parâmetros, fruto da combinação dos fatores dois a dois:

- EQ: quantidade encomendada (Q) por cada cliente (E)
- EN: número de SKUs (I) encomendados por cada cliente (E)
- IQ: quantidade encomendada (Q) de cada item (I)
- IK: frequência da presença de cada SKU (I) nas ordens de compra (E)

Cabe depois ao analista escolher os mais pertinentes, proceder à sua ordenação por ordem descendente e, posteriormente, à divisão dos SKUs em classes. Note-se que este índice, ao contrário do COI, é baseado em dados históricos. Assim, uma vantagem do COI sobre o EIQ será o facto de não requerer histórico, permitindo a análise de SKUs recentemente acrescentados à gama (Chan & Chan, 2011).

Outros critérios encontrados na literatura que, ora são referenciados para definir as localizações intra-classes, ora surgem como critério para definir as próprias classes baseiam-se no conceito de agrupar os SKUs de acordo com a tendência que certos produtos apresentam para ser encomendados na mesma ordem de compra, e portanto para constarem de um mesmo percurso de *picking*.

Lianhong and Peng (2008) sugerem um modelo baseado na teoria da deteção de comunidade aplicada a uma rede social de SKUs. Os SKUs são então agrupados em comunidades e são depois organizados dentro da sua comunidade baseado no seu peso. Este método tem como pressuposto o *picking* discreto (cada loja está representada num circuito), o que representa uma limitação.

Outro método que propõe uma abordagem semelhante é o proposto por Liu (1999) em que é efetuada uma análise com detalhe item-quantidade-cliente, por forma a se definirem duas medidas de similaridade que servem de base à formulação dos *clusters*. De referir que este método foi estudado sob o pressuposto de *picking* à zona sincronizado.

É também de mencionar que estes métodos não têm em linha de conta preocupações quer ao nível do congestionamento, quer ao nível da qualidade do *picking*. Isto é, muitos dos produtos que são pedidos em conjunto, pertencem também a uma mesma família de produtos, e por vezes as embalagens são em tudo semelhantes, o que, no caso de se os colocar juntos, levará a erros de *picking*.

Para finalizar a discussão, tem-se a questão de qual a melhor forma de posicionar as classes nos corredores do centro de distribuição, tópico sobre o qual não há uma regra estabelecida na literatura (De Koster et al., 2007). Não obstante, há um consenso na literatura de que as várias classes devem constar ao longo de um corredor (e não corredores dedicados a classes) e que a classe A se deve localizar junto ao ponto de receção de mercadoria (De Koster et al., 2007). De referir ainda a discussão da sinergia entre esta abordagem e a que se discutiu em 2.3.5 presente em C. G. Petersen (2002).

2.5 *Batching*

Quando as ordens de compra requisitam muitos itens, cada ordem pode ser recolhida num circuito individual, o que se denomina de *picking* discreto. Todavia, quando numa ordem de compra constam poucos SKUs e baixas quantidades, então existe um potencial para reduzir tempos de percurso em agrupar essas ordens e efetuar o *picking* agregado das mesmas, o denominado *batch picking* (De Koster et al., 2007). De facto, o comprimento do percurso necessário para satisfazer a recolha dos SKUs em *batch picking* é menor que a soma das distâncias necessárias para satisfazer cada ordem de compra individualmente (Gibson & Sharp, 1992).

Segundo De Koster et al. (2007) os critérios para se proceder à agregação das ordens de compra em *batches* resumem-se a dois: (1) a proximidade das localizações de *picking* dos SKUs que constam das ordens de compra e (2) a janela temporal em que as ordens de compra entram em sistema. Enquanto o primeiro se foca em reduzir o tempo total de percurso, o segundo visa minimizar a soma das penalidades que se incorrem por atrasos na preparação ou os custos que advêm de se ter terminado demasiado cedo, isto é, custos associados a ter a paleta de expedição em trânsito no entreposto enquanto esta aguarda o transporte (Gademann & van de Velde, 2005).

No caso do critério da janela temporal, as ordens de compra que entrem em sistema durante um dado intervalo de tempo (fixo ou variável) previamente

definido são agrupadas em *batch*. Em De Koster et al. (2007) podem-se encontrar referências a algumas publicações que abordam o problema da dimensão ótima do *batch* originado a partir deste critério. Contudo e dado o mesmo não ser tão pertinente quanto o critério da proximidade, merecerá aqui menos atenção.

Focando então no problema da agregação por proximidade, apresenta-se na Figura 5 um esquema que sumariza o tipo de soluções existentes para o mesmo e que serão referidas nesta secção.

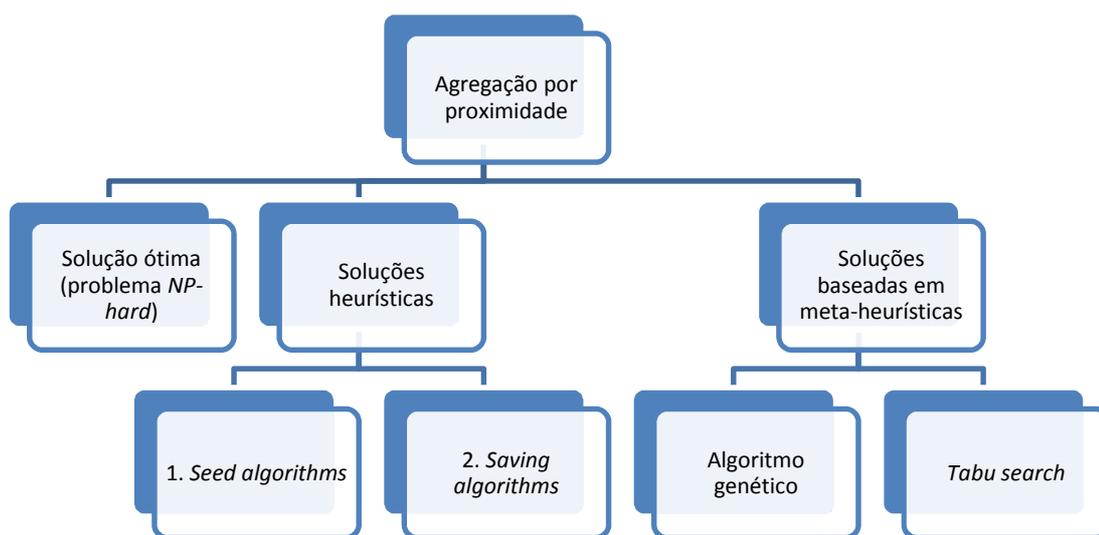


Figura 5 – Quadro resumo do tipo de soluções existentes para o problema de agregação das ordens de compra pelo critério de proximidade

A obtenção de uma solução ótima para o problema da agregação por proximidade foi provada ser *NP-hard* (De Koster et al., 2007), embora resolúvel em tempo polinomial se todos os *batches* contiverem duas ou menos ordens de compra (Gademann & van de Velde, 2005).

Dada a sua complexidade, muitos estudos têm-se então focado na construção de heurísticas capazes de o resolver. Para o caso particular de sistemas de *picking* manual, estas heurísticas dividem-se em dois grupos, (1) os “*seed algorithms*” e (2) os “*savings algorithms*” (De Koster et al., 2007).

Começando pelos *seed algorithms*, estes baseiam-se em duas fases, a saber: seleccionar uma ordem de compra para cada *batch* (ordem de compra semente) e ir adicionando outras ordens de compra até que as restrições impostas ao problema tenham sido satisfeitas (De Koster et al., 2007). Para ambas as fases foram definidas regras que suportam a decisão a tomar.

Assim, para a primeira fase desta heurística têm-se regras como (De Koster et al., 2007; De Koster, Van der Poort, & Wolters, 1999):

- Seleccionar uma ordem de compra aleatoriamente;
- Seleccionar a ordem de compra com o maior número de corredores a ser visitado;
- Seleccionar a ordem de compra com o SKU mais afastado do ponto de início do circuito;

- Selecionar a ordem de compra com o tempo de percurso mais elevado;
- Selecionar a ordem de compra com maior número de SKUs.

Por sua vez, as regras para definir que ordem de compra é adicionada nas iterações seguintes, baseiam-se na ideia de medir o grau de similaridade, entre esta ordem de compra e a ordem de compra semente. Assim sendo, tem-se (De Koster et al., 1999):

- Selecionar a ordem de compra que minimiza o número de corredores adicionais a ser visitado caso esta seja adicionada ao *batch*;
- Selecionar a ordem de compra que uma vez agregada com a ordem de compra semente permita a maior poupança de tempo comparando com o seu tempo de *picking* individual;
- Selecionar a ordem de compra com menor diferença absoluta entre o seu centro de gravidade e o centro de gravidade da ordem de compra semente (para informações sobre o conceito de centro de gravidade das ordens de compra consultar De Koster et al. (1999)).

No caso dos *saving algorithms* a motivação é a poupança que se obtém pelo facto de se combinar vários pequenos percursos num só conjunto de percursos mais longos (De Koster et al., 2007). Assim, começa-se por colocar cada ordem de compra num *batch*. Depois o algoritmo vai combinando pares de *batches*, seleccionando o que proporciona a maior poupança no tempo de percurso, até que as restrições – no caso mais usual tem-se a capacidade em volume de caixas que o veículo de *picking* apresenta – sejam satisfeitas (Kulak, Sahin, & Taner, 2011).

De Koster et al. (1999) levaram a cabo um estudo comparativo destas duas abordagens, e suas interações com outros tópicos aqui mencionados em seções anteriores, tendo chegado à conclusão primeira que qualquer delas leva a resultados significativamente melhores que a regra de agregação “*first-come, first served*” (para mais informações sobre esta regra consultar Gibson and Sharp (1992)). Para além disso concluíram que os *saving algorithms* conseguem melhores resultados se conjugados com a heurística de roteamento *largest gap* enquanto os *seed algorithms* o conseguem se conjugados com a heurística de roteamento *S-shape*. Por outro lado, a primeira combinação apresentada supera a segunda (De Koster et al., 1999).

Mu Chen and Hsiao Pin (2005) sugerem uma abordagem baseada numa regra de associação extraída por *data mining* e em programação inteira, propondo um modelo que parte dos padrões de encomenda das lojas para induzir que itens serão pedidos pelas mesmas, a partir da base de dados das lojas que estão a encomendar num dado momento. Esta abordagem carece de amadurecimento, sendo ainda necessário efetuar mais análises de simulação sob diferentes condições quer de *layout*, quer de políticas de roteamento, bem como de avaliar a sua aplicabilidade prática no caso de grandes entrepostos.

Outro tipo de abordagem é a proposta por Hsu, Chen, and Chen (2005). Esta é uma abordagem meta heurística baseada em algoritmos genéticos (Stender, 1994) que, ao contrário dos métodos previamente descritos não requer a computação de medidas de proximidade e a estimação da distância. Este método minimiza

diretamente a distância percorrida (Hsu et al., 2005). Em síntese, neste algoritmo a solução é codificada por uma *string* composta por números inteiros que identificam o *batch* a que a ordem de compra foi alocada (Hsu et al., 2005). Por exemplo (1,2,1,2) significa que as ordens de compra 1 e 3 formam o *batch* 1 enquanto a 2 e a 4 constituem o *batch* 2.

Neste algoritmo, a ordem de compra semente é selecionada pela regra que sugere a seleção de uma ordem de compra aleatória. Numa segunda etapa pretende-se, então, maximizar a função fitness, definida da seguinte forma:

$$Fitness_i = Distance_L - Distance_i \quad (1)$$

Em que $Distance_L$ é a mais longa distância percorrida de entre as soluções possíveis, $Fitness_i$ e $Distance_i$ representam o valor de fitness e a distância a percorrer para a solução i .

O algoritmo apresenta depois mecanismos de *crossover* em que cromossomas emparelhados, representando soluções verosímeis e selecionados de forma aleatória, trocam de lugar entre si, sendo a nova solução então avaliada. No caso de a restrição de capacidade ter sido atingida é sugerido um mecanismo de correção, partindo do princípio que de entre os *batches* já formados existem *batches* com capacidade extra. De entre estes, é então selecionado o que proporcionar a maior poupança em distância.

Para além destes mecanismos têm-se ainda os mecanismos de mutação, de seleção e de sobrevivência. Para um aprofundamento destes 3 mecanismos sugere-se a consulta de Hsu et al. (2005).

A versatilidade deste tipo de algoritmo e os resultados computacionais apresentados, não obstante obtidos sob determinados pressupostos – como a área de receção estar localizada à esquerda, ou poder-se atravessar um corredor nos dois sentidos -, sugerem que esta pode ser uma interessante abordagem ao problema.

Todavia, este algoritmo trata o problema do *batching* e do roteamento em etapas separadas, estando o roteamento entregue à heurística *S-shape*.

Kulak et al. (2011) propõem então um novo algoritmo para lidar com os dois problemas em simultâneo. A solução inicial é obtida por intermédio de um algoritmo *cluster* que tem em conta a semelhança do percurso das várias ordens de compra e que é depois integrado numa meta heurística – “*Tabu search*” – para gerar uma solução inicial efetiva. O princípio base desta abordagem é a procura de ótimos locais. Todavia, ela é melhorada pelo recurso a estruturas de memória que declaram como proibido ou Tabu a procura desse ótimo em soluções já testadas dentro de um intervalo de tempo pré-definido, impedindo que o algoritmo entre em ciclo e fique preso em regiões de ótimo local.

Importa ainda referir que a operação de *batch* necessita de uma operação de *sorting a posteriori*, sempre que não seja possível efetuar o denominado “*sort-while-picking*”.

2.6 Conclusão

A revisão bibliográfica apresentada permite concluir que a atividade de *picking* representa entre 50% a 75% dos custos totais da operação de um centro de distribuição. Esse facto aliado à complexidade e diversidade dos sistemas de *picking* manuais justifica o vasto número de referências acerca deste tema. Focando nos dois subtópicos que têm maior relevância para o projeto, verifica-se que a literatura propõe 5 políticas de atribuição de localização de armazenamento, sendo as 3 mais referenciadas a política de armazenamento aleatório, o armazenamento baseado em classes e o armazenamento dedicado. Para o armazenamento baseado em classes são apresentados 2 índices principais, o EQI e o COI. Quanto ao *batch picking*, surgem na literatura abordagens diversas para um problema cuja obtenção de uma solução ótima foi provado ser um problema *NP-hard*. Essas abordagens passam por (1) heurísticas, cujos resultados e âmbito de aplicação são limitados e (2) meta-heurísticas, que sendo abordagens recentes carecem ainda de testes em cenários de entrepostos mais complexos.

Não obstante existir um amplo trabalho de investigação publicado acerca do tema de *order picking*, a literatura carece da apresentação de ganhos de produtividade que advêm (1) da mudança nas políticas de atribuição de localização de *picking* aos SKUs no entreposto, (2) do facto de se poder efetuar o *batch* de lojas ou SKUs aquando da atividade de *picking*, ou ainda (3) do impacto da implementação simultânea das duas mudanças. O presente projeto pretende assim contribuir para o enriquecimento da literatura subordinada ao tema de *order picking* ao apresentar a comparação da produtividade da operação de *picking* que se obtém pela implementação dos cenários supracitados.

Por outro lado, dos resultados de melhoria de produtividade que surgem na literatura, a sua maioria são obtidos com base no pressuposto de entrepostos de média dimensão e com um macro *layout* regular, pelo que o estudo da operação de *picking* num entreposto de grande dimensão com um elevado número de SKUs e com um macro *layout* irregular, acrescentará valor e será um validador das considerações que neste capítulo se apresentaram.

Por último, faz-se desde já a ressalva que devido à necessidade das soluções propostas no âmbito do projeto se adaptarem ao contexto e necessidades da empresa, dos algoritmos apresentados na secção anterior, nenhum irá ser implementado. De facto, as particularidades de interação entre os dois sistemas de informação da empresa, isto é entre o sistema que gere as encomendas das lojas e o sistema que gere a operação em entreposto, não permite uma implementação simples e não onerosa de um critério que seja baseado num algoritmo complexo para decidir e indicar que lojas e/ou SKUs efetuar em *batch picking*. Para além disso, tem-se a condicionante do tempo que o algoritmo iria demorar até obter resultados, resultados esses que a empresa pretende que sejam obtidos de forma praticamente instantânea no início de cada turno, abdicando assim de uma maior aproximação à solução ótima do problema em detrimento da celeridade e simplicidade de implementação. Não obstante, as considerações que estão na base da construção dos algoritmos apresentados serão o suporte para a definição do critério a implementar na empresa.

3 Reorganização do *layout* em *slows* e *fast movers*

3.1 Introdução

Neste capítulo será debatido o problema da reorganização do *layout* pela definição de classes de produtos *slow* e *fast movers*. O capítulo encontra-se organizado da seguinte forma: em 3.2 explicar-se-á com mais detalhe o funcionamento do entreposto; em 3.3 far-se-á uma apresentação do problema; em 3.4 apresentar-se-á a metodologia seguida; em 3.5 encerra-se o capítulo com a discussão das diferentes alternativas e apresentação dos ganhos de produtividade que se obteriam pela implementação do *layout* proposto.

3.2 Funcionamento do centro de distribuição

Na secção 1.5 apresentou-se o funcionamento do centro de distribuição. Porém, após as considerações expostas no capítulo de revisão bibliográfica (capítulo 2), essa explicação do funcionamento da operação do entreposto será aqui aprofundada fazendo-se referência aos pontos que se abordaram na secção 2.3 agora aplicados a este centro de distribuição em concreto. Tem-se então que:

- A operação de *picking* neste entreposto é *picker-to-parts*, em que o operador se desloca num porta-combis com capacidade para duas paletes;
- A modalidade de *picking* por zona encontra-se implementada, estando as localizações de *picking* divididas em quatro zonas: Mercearia (MERC), Detergentes e Produtos de Higiene (DPH), Bebidas (BEBI) e *Pets & Care* (PETC). Esta divisão prende-se, sobretudo com restrições ao nível da legislação que proíbe a consolidação de cargas de produtos destinados a animais e/ou produtos potencialmente nocivos à saúde, com produtos alimentares;
- A política de roteamento em vigor é a *S-Shape*. Tem-se assim um único sentido de percurso, o que resulta em corredores exclusivos para entrada e outros exclusivos para saída. Note-se que esta regra apenas se aplica aos operadores de *picking*. Para operações de máquinas (aprovisionamento, reaprovisionamento e baixar paletes completas) tal regra não se verifica. Por último, o *picking* é efetuado de ambos os lados do corredor sendo a sua sequência definida pelo sistema de informação;
- A política de atribuição de localização de *picking* em vigor está condicionada pelo conceito de *layout store-friendly* implementado no entreposto. Assim, quando um novo SKU é acrescentado à gama a sua localização dependerá da categoria a que o mesmo pertence. Por exemplo, no caso de se adicionar à gama um artigo da categoria refrigerantes, pertencente à unidade de negócio de bebidas, o mesmo terá que ficar numa localização de *picking* na zona do entreposto onde estão outros artigos da mesma categoria;

- A atribuição de localização de *stock* é implementada pelo sistema de informação. A política que a rege é a de que a palete rececionada do SKU deve ficar na localização de armazenamento livre o mais próxima possível da localização de *picking* do mesmo. O algoritmo começa por procurar essa localização no mesmo corredor onde se encontra a localização de *picking*, alargando a busca a outros corredores desde que estes estejam parametrizados como afetos à unidade de negócio do SKU. A atribuição desta localização está ainda sujeita a restrições de altura da localização e peso da palete.

Note-se que as considerações acima apresentadas são válidas para os capítulos subsequentes.

3.3 Apresentação do problema

No centro de distribuição em análise a atribuição de uma localização de *picking* aos SKUs encontra-se desde logo condicionada pelo facto de este estar dividido em 4 zonas de *picking*. Para além disso, os SKUs estão depois organizados em cada zona de *picking* pela categoria a que pertencem. Deste modo, dentro da unidade de negócio de bebidas, por exemplo, um SKU da categoria de refrigerantes que esteja a ser acrescentado à gama ficará necessariamente localizado na subzona do *layout* afeta a essa categoria, e não numa qualquer localização de *picking* da zona de *picking* onde estão as bebidas. Na Tabela 5, presente no ANEXO B, encontra-se sumarizada a relação entre as 4 zonas de *picking*, as unidades de negócio que as compõem e as categorias em que se subdividem. Por último, a atribuição final da localização de *picking* ao SKU, já dentro da subzona dedicada à sua categoria, cabe então à gestão do entreposto. Essa alocação tem em conta dois fatores: (1) a altura da palete do artigo que deve corresponder à altura das localizações na subzona em causa, pois existem localizações de *picking* com alturas de 110, 210, 225 e 270 *cm* e (2) o peso de cada caixa do SKU, consideração que visa criar uma sequência dos SKUs no circuito que facilite a construção da estiva de *picking*. Referir ainda a possibilidade de se dividirem as localizações de *picking* em 2 ou 3 andares, isto caso o número de camadas do artigo seja manifestamente reduzido, ou caso o artigo tenha revelado ser de muito baixa rotação. No último caso pode ainda dar-se a exceção de uma mesma localização (coordenadas *x*, *y* e *z* iguais, mas sempre com códigos de localização diferentes) albergar dois SKUs colocados par a par. Em conclusão tem-se no máximo 6 SKUs localizados em coordenadas *x* e *y* iguais.

Esta organização que desce ao nível de detalhe da categoria do SKU, o denominado *layout store – friendly*, garante uma maior aproximação dos artigos presentes numa dada palete de expedição com os artigos que estarão presentes num dado *range* de prateleiras na loja, o que facilita o trabalho de reabastecimento nas lojas. Contudo, ao nível do entreposto, este paradigma de organização origina ineficiências.

De facto, a não consideração da rotação dos SKUs na atribuição de uma localização de *picking* aos mesmos, implica que SKUs de alta rotação estejam

alternados com SKUs que são pedidos poucas vezes e em baixas quantidades. Tendo em linha de conta que (1) cada localização de *picking* tem 90 cm de largura e (2) que em média um operador não desloca o porta-combis sempre que os artigos pedidos pelo sistema de *voice* se encontrem num raio de 3 localizações à volta da localização onde parou (estejam elas de um ou do outro lado do corredor), conclui-se que a distância final de uma dada tarefa de *picking* é hoje superior à que se obteria caso os SKUs com maior rotação (e, portanto os que mais provavelmente constarão das tarefas de *picking*), se localizassem todos juntos.

Este estudo toma particular pertinência no contexto deste entreposto em que se tem uma gama tão alargada de referências e que, sendo um entreposto alimentar, tem forçosamente produtos de rotação díspar. Um exemplo elucidativo é o exercício de comparar a rotação de produtos *gourmet* com a rotação dos produtos comumente denominados de bens essenciais.

Este projeto pretende então demonstrar e quantificar os ganhos em produtividade da atividade de *picking* que adviriam da adoção do critério do nível de rotação dos artigos na sua organização em *layout*, tendo sido seguida a metodologia que se apresenta na secção seguinte.

3.4 Metodologia seguida na resolução

Nesta secção apresentar-se-ão as etapas seguidas tendo em vista o objetivo de quantificar os ganhos em produtividade que adviriam da reorganização do *layout*. A Figura 6 resume então esse processo que se detalhará de seguida.

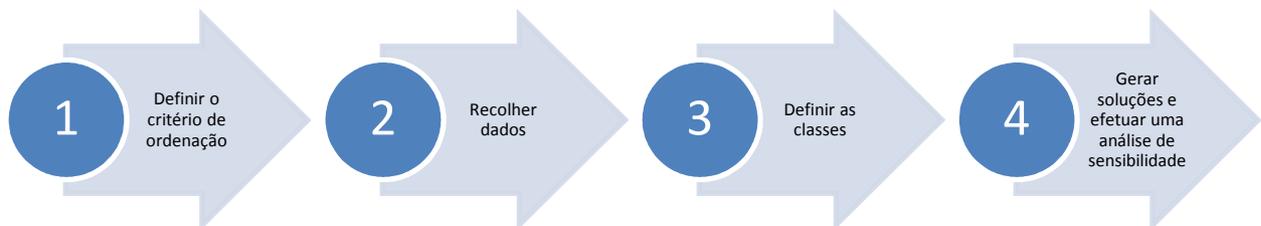


Figura 6 – Esquema ilustrativo das etapas seguidas no estudo da reorganização do *layout* em *slows* e *fast movers*

O primeiro passo na resolução deste problema prendeu-se com a definição de um critério de medida da rotação dos SKUs. Essa definição do critério teve em conta os seguintes fatores:

- Ter em linha de conta que a gama de um entreposto alimentar é relativamente estável;
- Tirar partido da imensa base de dados históricos que a empresa dispõe relativamente ao número de caixas expedidas de cada SKU para cada loja;
- Definir um critério que se alinhe com o objetivo de diminuir o tempo de *picking* pela redução do comprimento dos percursos;
- Adotar um critério que uma vez implementado seja simples de recalcular para efeitos da atualização futura do *layout*.

Assim, dos métodos de organização do *layout* baseada em classes apresentados em 2.4, concluiu-se que o rácio EIQ seria o mais apropriado. De facto uma divisão por *turnover* não se alinha com o objetivo de reduzir o comprimento dos circuitos de *picking* pois o fator preço de venda dilui o efeito número de caixas expedidas que se pretende estudar. Por sua vez, não se adotou o índice COI por ser baseado em previsões de vendas – o que seria um argumento forte caso a gama variasse bastante - e não nos dados históricos que a empresa pode explorar. Outra razão foi o facto de já existir uma equipa na empresa encarregue de posicionar os SKUs de forma a facilitar o *picking*, evitando o retrabalho dos *pickers* na construção da estiva, facto que o índice COI tenta ele mesmo refletir ao incluir o fator peso da caixa do SKU no seu cálculo.

Não obstante, a versão adotada do EIQ é uma versão em que se consideram apenas o fator SKU (I) e quantidade (Q). O fator loja (E) não foi considerado principalmente por duas razões. A primeira prende-se com o facto de os indicadores que se calculam com base neste fator – o número de SKUs encomendados por cada cliente (EN), a frequência de cada SKU nas ordens de compra (IK) e a quantidade encomendada por cada cliente (EQ) - não acrescentarem informação relevante ao fator IQ – quantidade encomendada de cada SKU – não sendo portanto interessantes para a definição de “rotação do SKU” que se pretendia. A segunda razão é o facto de o cálculo com os 3 fatores exigir uma base de dados em que cada linha tem de conter informação relativa ao SKU, quantidade encomendada e loja que encomendou, o que para uma janela temporal significativa torna o volume de dados a trabalhar demasiado extenso, não cumprindo assim o requisito estabelecido de ser um critério de cálculo simples de efetuar e manter.

Uma vez definido o critério, a segunda etapa consistiu na recolha dos dados necessários para a análise. Assim sendo, extraíram-se da base de dados da empresa os dados que de seguida se apresentam:

- Dados relativos à quantidade de caixas expedidas por mês para cada SKU desde Setembro de 2011 a Abril de 2012. Com este intervalo de tempo pretendeu-se diluir os efeitos de épocas pico bem como de sazonalidade de alguns SKUs. Os dados foram extraídos com detalhe à loja que encomendou o SKU e com um campo referente ao número de vezes que essa loja o encomendou nesse mês. Importa ainda referir que o número de caixas expedidas tem uma correspondência com o número de caixas preparadas em *picking*. Por exemplo, um artigo cuja caixa contenha um *pack* de 6 corresponde ao *picking* de uma caixa mas corresponde também à faturação de uma caixa na expedição, estando assim garantida a integridade dos dados;
- Dados dos SKUs onde constam, entre outros, a sua unidade de negócio, a categoria a que pertence, o *Ti-Hi* (número caixas que perfazem uma palete completa) bem como o peso e volume de uma caixa;
- Dados relativos à data da primeira e última receção de uma palete de cada SKU no centro de distribuição a partir de Agosto de 2011, seja a sua proveniência de um fornecedor ou de outro entreposto.

É importante mencionar que os dados demoraram cerca de uma semana a obter, devido não só à elevada quantidade de linhas a extrair mas também por se estar dependente do tempo do colaborador responsável por aceder à base de dados. Uma vez recolhidos os dados, o objetivo foi então definir as classes recorrendo à regra de *Pareto*, já que era expectável que 20% dos artigos originassem 80% da rotação.

Neste ponto do projeto foi necessário esclarecer o nível de detalhe a que a definição dessas classes iria obedecer. As hipóteses que se colocaram e discutiram foram as seguintes:

- A. Abandonar o paradigma da zona de *picking* definida com base na unidade de negócio e categoria do SKU e implementar um novo paradigma de zona, agora definida apenas pelo nível de rotação dos SKUs. Ter-se-iam assim 3 zonas onde constariam artigos das 3 classes de rotação: a zona dos *slow*, dos *medium* e dos *fast movers*;
- B. Manter as 4 zonas de *picking*, conservando também a organização por unidade de negócio, mas abandonando a restrição de circuito à categoria e acrescentar a subdivisão por rotação. Ter-se-ia assim um entreposto organizado em 8 grandes zonas resultante da divisão de cada uma das 4 zonas já existentes em duas outras, uma para os produtos *fast movers* e outra para os *slow movers* da zona em questão. Outra alternativa seria acrescentar a classe *medium movers*, resultando numa subdivisão de cada uma das 4 zonas em 3 outras, baseadas nas 3 classes de rotação.
- C. Manter a organização à categoria – *layout store-friendly* - subdividindo cada categoria nas duas classes de rotação.

Destas alternativas selecionou-se a B, com a opção de subdivisão em duas classes de rotação. De facto, a alternativa C, embora sendo aquela cuja implementação traria menos resistência por parte das lojas, geraria 20 circuitos como resultado da divisão de cada um dos 10 circuitos que se apresentam no ANEXO B, em 2 outros que refletem a rotação dos SKUs. Esta abordagem resultaria numa complicação excessiva do entreposto e numa perda de flexibilidade do mesmo. Por sua vez, a alternativa A é demasiado radical, sendo difícil a sua aceitação por parte das lojas, para além de não respeitar a legislação que impõem que determinados produtos não contactem fisicamente.

Retomando a apresentação do processo de resolução, apresentam-se de seguida as etapas restantes para se atingir o objetivo de definição das classes:

1. Cálculo da rotação média mensal para cada SKU. O recurso a uma média de caixas expedidas por mês, ao invés de uma ordenação direta do número total de caixas expedidas por artigo, prende-se com o facto de a análise média refletir o tempo que o SKU esteve em entreposto, não penalizando SKUs que entraram na gama já durante o período de tempo considerado na análise;
2. Cálculo do total de caixas médio por mês para cada unidade de negócio. A análise ao nível de detalhe da unidade de negócio prende-se com a hipótese de *layout* – a hipótese B - acima apresentada;

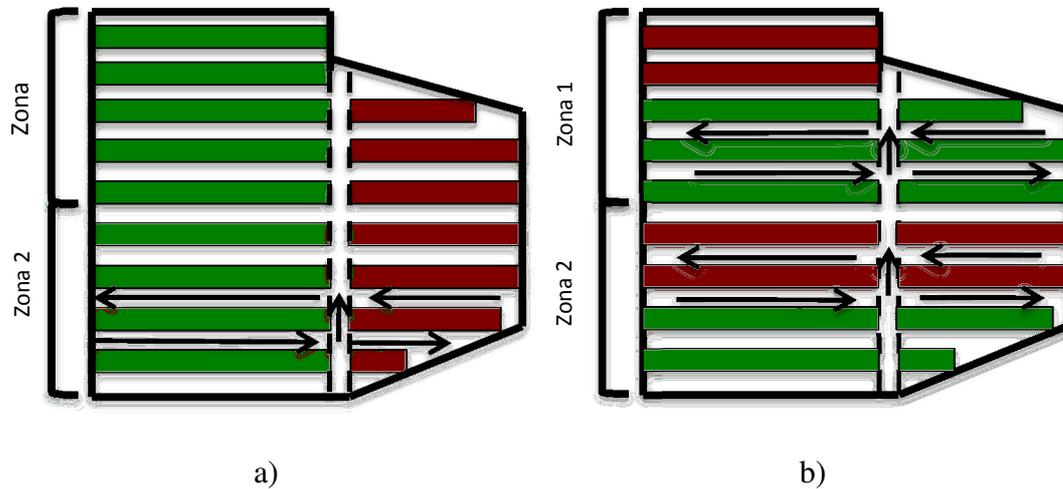
3. Ordenação dos SKUs por dois níveis: 1º uma ordenação pela sua unidade de negócio e 2º uma ordenação descendente pela média de caixas por mês. Desta forma os SKUs de maior rotação dentro da unidade de negócio posicionam-se no topo da lista;
4. Cálculo da percentagem de rotação agregada do SKU i na unidade de negócio (UN) j , pela seguinte fórmula,

$$\% \text{ rotação agregada}_{SKU_i} = \% \text{ rotação agregada}_{SKU_{i-1}} + \frac{\text{Média Caixas}_{SKU_i}}{\text{Média Caixas}_{UN_j}} \quad (2)$$

Como a lista dos SKUs foi previamente ordenada conforme descrito no ponto anterior, o valor desta percentagem evidencia então o contributo marginal do SKU i no total de caixas expedidas da unidade de negócio j a que o mesmo pertence. Desta forma, para um dado valor de rotação agregada de uma unidade de negócio, será possível saber que percentagem de SKUs foi por ela responsável;

5. Definição do patamar, isto é do valor da percentagem agregada, a partir do qual se considera um produto como *slow* ou *fast*. Este valor será alvo de uma análise de sensibilidade, pretendendo-se então um processo iterativo em que se varia o valor do patamar e se estuda o rácio de SKUs que passam a constar em cada uma das classes. Este procedimento visa estabelecer um intervalo de valores para esse patamar, intervalo esse que será testado aquando da definição da solução;
6. Desenvolvimento de um algoritmo, em linguagem VBA, que proporcione a visualização gráfica do problema. Para tal foram necessários dados que relacionassem cada SKU com a sua localização de *picking*, bem como as coordenadas x , y e z da mesma. Da conjugação destes dados com os dados de rotação do artigo e recorrendo a um código de cores construiu-se então a representação 2D do entreposto que se pode consultar na página 70 do ANEXO C. Esse código de cores consiste (1) num código de cores para a rotação - cor vermelho para produtos *slow movers* e verde para produtos *fast movers* (sendo o patamar de distinção entre as classes dinâmico e introduzido pelo utilizador) - e (2) no código de cores que a empresa já implementou para identificar as 4 zonas de *picking* do entreposto. Nesta representação tem-se uma réplica do entreposto em que é apresentada informação, quer em valores, quer gráfica – veiculada pelas cores –, da rotação de cada SKU, à qual se acrescenta a informação da localização geográfica do mesmo pela correspondência entre a célula de EXCEL que representa o SKU e as coordenadas da localização de *picking* do mesmo no entreposto. Uma nota apenas para o facto de, devido a restrições da área de impressão, se apresentarem na figura em anexo somente os SKUs cujo z é igual a 0, ou seja, não se representam os diferentes andares de *picking*;
7. Desenvolvimento de um algoritmo que atribua aos SKUs uma nova localização de *picking* baseada no *ranking* de rotação dentro da unidade de negócio a que o SKU pertence, tendo como *output* uma folha EXCEL em que constam o código do SKU, a sua unidade de negócio, o código da sua nova localização e as coordenadas da mesma. Referir que como *input* a

ferramenta solicita ainda que se insira um valor para o patamar de definição de classes com base no qual se vai reestruturar o *layout* do entreposto. No momento seguinte o programa permite selecionar o método segundo o qual se vai reorganizar o entreposto, isto de entre os dois métodos referidos na literatura (De Koster et al., 2007) e que se sumariam na Figura 7.



Legenda:



Corredores de SKUs *slow movers*



Corredores de SKUs *fast movers*

Figura 7 – Comparação das duas possibilidades de reorganização do *layout*:

a) classes *slow* e *fast* no mesmo corredor, b) corredores dedicados a cada uma das classes

Deste modo, ou a classe *fast mover* se posiciona à frente, na zona junto à área de receção, e a classe dos *slow movers* atrás, depois do corredor central, conforme ilustra o esquema a) da Figura 7, ou então, uns corredores estão dedicados à classe *fast* e outros estão dedicados à classe *slow* conforme ilustra o esquema b) da Figura 7. Neste caso, os SKUs *fast movers* posicionam-se nos corredores mais à direita de entre os corredores afetos à zona de *picking* a que pertencem, enquanto os *slows* se posicionam nos corredores mais à esquerda.

Este algoritmo mantém ainda juntos os artigos posicionados como um grupo, isto é os artigos que se encontram nos 2 ou 3 andares da mesma localização de *picking*. Isto porque as razões pelas quais estes artigos se encontram assim organizados prendem-se ou com a baixa altura de uma palete do artigo ou com a observação empírica de que o artigo tem pouca rotação, pelo que não faria sentido desfazer esses grupos.

Referir ainda que se desenvolveu também uma ferramenta que atualiza a tabela que contém a localização de cada SKU quando o utilizador reposiciona esse SKU movendo a célula que o representa na folha EXCEL que funciona como réplica do entreposto;

8. Desenvolvida a ferramenta apresentada em (7) iniciar-se-á o processo iterativo referenciado em (5);

Do processo iterativo selecionaram-se os valores para o patamar a serem testados. Para cada valor de patamar a testar aplicou-se o código descrito em (7) donde se obteve uma folha de localização dos artigos em entreposto organizados pela sua rotação. Essa folha será depois usada para simular as tarefas de *picking* obtendo-se o tempo total que seria necessário para as completar neste novo paradigma de *layout*. Esse valor é depois comparado com o que se obteria no *layout* atualmente em vigor, calculando-se a partir dessa informação os ganhos na produtividade da atividade de *picking*. Este processo de cálculo será apresentado de seguida.

Por último, referir apenas que os valores dos tempos supramencionados foram calculados com base num algoritmo desenvolvido no âmbito do projeto e que se apresenta no ANEXO A.

3.5 Solução proposta

Nesta secção apresentar-se-ão os vários cenários testados e os resultados de melhorias de produtividade a eles associados, com o objetivo de identificar a solução que mais se adequa ao problema em análise.

Os cenários em análise obtêm-se então (1) pela variação do patamar de definição das classes, com conseqüente alteração na disposição dos SKUs no centro de distribuição e (2) pela variação da regra de reorganização do *layout* em que, ou as classes *slow* e *fast* convivem num mesmo corredor de *picking*, ou os corredores estão afetos exclusivamente a uma das classes, conforme se referiu no ponto 7 da página 33. Referir uma vez mais que os resultados apresentados têm como pressuposto a modalidade de *picking* discreto.

Efetuada então uma primeira iteração ao problema da obtenção de um valor para o patamar de definição das classes fixou-se esse valor em 80%, ou seja, pretendia-se saber qual a percentagem de SKUs que origina 80% do número total de caixas expedidas para cada unidade de negócio. Os resultados desta iteração podem ser consultados no ANEXO C e revelam que, em média, 20% dos SKUs originam os 80% da rotação, isto para as 4 unidades de negócio mais representativas (ou seja, as 4 que albergam o maior número de SKUs). Este resultado evidencia que de facto existe uma grande disparidade entre os SKUs no que toca à sua rotação.

Contudo, as classes que se obteriam com o valor de patamar fixado em 80% originariam circuitos que se considerou serem demasiado desequilibrados, uma vez que em média apenas 20% dos SKUs de cada unidade de negócio estariam na classe *fast*. Assim sendo, foi decidido que a definição do patamar teria que ser tal que, no mínimo, 30% dos SKUs ficariam na classe de *fast movers*. Desta forma definiram-se 3 patamares a serem testados: 90%, 95% e 97%.

Para cada um dos valores de patamar a testar, a Tabela 1 apresenta então a percentagem de SKUs que ficaria afeto a cada uma das duas classes. Note-se que, conforme se referiu em 3.3, a análise é feita ao nível da unidade de negócio dos SKUs.

Tabela 1 – Percentagem de SKUs afetos às classes *slow* e *fast movers* variando o patamar limite de rotação agregada por unidade de negócio (UN)

UN	Número de SKUs	Patamar = 90 %		Patamar = 95 %		Patamar = 97 %	
		<i>Fast</i>	<i>Slows</i>	<i>Fast</i>	<i>Slows</i>	<i>Fast</i>	<i>Slows</i>
DPH	2.255	34%	66%	47%	53%	55%	45%
Mercearia	1.860	38%	62%	50%	50%	58%	42%
Bebidas	1.444	24%	76%	34%	66%	42%	58%
PETC	504	32%	68%	46%	54%	54%	46%
Padaria	64	44%	56%	58%	42%	67%	33%
Leite	23	39%	61%	48%	52%	52%	48%
Cafetaria	13	69%	31%	85%	15%	85%	15%
Frutas e legumes	9	56%	44%	67%	33%	78%	22%
Gastos Gerais	1	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Consumíveis	14	43%	57%	50%	50%	57%	43%

Da análise da tabela é importante referir que no caso do patamar igual a 90% a unidade de negócio de bebidas apresenta apenas 24% de SKUs na classe *fast*. Esta exceção à regra acima mencionada é explicada pelo facto de nesta unidade de negócio constarem artigos de muito alta rotação como são a água e os refrigerantes de marca própria, enquanto no outro extremo constam artigos que na realidade já não têm vendas nos últimos 6 meses, como alguns vinhos, mas que por motivos administrativos ainda não foram retirados da gama. Esses SKUs, tendo um contributo marginal nulo para a rotação agregada da unidade de negócio, levam a uma distorção da classe *slow*.

Os 3 valores para o patamar apresentados na tabela originam então 6 cenários de *layout* diferentes. Uma vez definido o *layout* a testar, simularam-se então as tarefas de *picking* obtendo-se o tempo que seria necessário para as completar nesse novo *layout*, isto com base no algoritmo apresentado no ANEXO A. Contudo, antes de se aplicar o referido algoritmo é necessário criar duas novas folhas de tarefas – baseadas na folha que contém o histórico de tarefas original – em que numa constam apenas os artigos considerados *slow* e noutra apenas os *fast*. Isto porque, de facto, se a solução que se está a simular for futuramente implementada, então o sistema de informação da empresa partirá as tarefas de

picking de uma dada loja não só com base na zona de *picking* onde estão os SKUs encomendados mas também na subzona de rotação em que estes se encontram (*slow* ou *fast movers*). Importa aqui referir que o processo de obtenção de resultados demora cerca de 20 minutos para cada dia a simular.

Aplicando o processo e pressupostos de cálculo atrás descritos, obtiveram-se os tempos totais de *picking* diários para as 6 soluções de *layout*. Esses valores, uma vez comparados com os tempos totais de *picking* obtidos para as tarefas simuladas no paradigma de *layout* atual, permitiram concluir que a melhor opção será a definição das classes com o patamar fixado em 90% estando as mesmas organizadas conforme o esquema b) da Figura 7. Os ganhos que se obteriam com esse cenário apresentam-se na Figura 8, enquanto os resultados da simulação dos restantes 5 cenários em análise podem ser consultados no ANEXO C (Figura 20 a Figura 24). Note-se que os tempos totais de *picking* que se comparam são a soma dos tempos individuais de todas as tarefas necessárias para cumprir o plano de preparação do dia, e que, portanto, o seu valor é sempre superior a 24 horas pois não reflete o facto de se iniciarem tantas tarefas em simultâneo quantas os operadores de um dado turno.

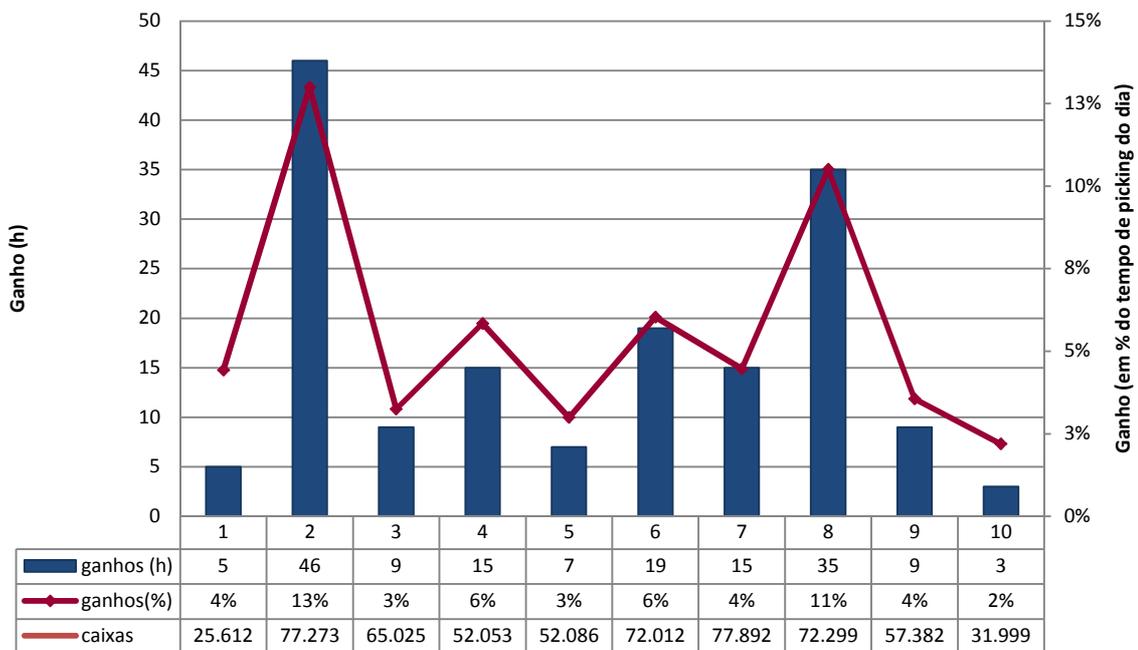


Figura 8 – Valores de melhoria na produtividade da atividade de *picking* pela reorganização do *layout* com patamar a 90 % e corredores dedicados a cada uma das classes

Na figura acima apresentam-se os resultados da simulação de 10 dias (entre 3 e 14 de maio) cujos pressupostos previamente se descreveram. As barras indicam então o ganho absoluto, ou seja a diferença em horas do tempo total de preparação que se obtém com o novo *layout* comparado com o *layout* atual. Por sua vez, a linha que cruza o gráfico de barras indica o ganho relativo (em percentagem) que a nova situação de *layout* proporcionaria. Na tabela presente abaixo do gráfico indicam-se os valores para ambas as variáveis atrás descritas, bem como o número total de caixas preparadas no dia em causa, estabelecendo-se assim uma base de comparação da atividade de *picking* entre os dias.

Começando por referir a repartição dos SKUs encomendados pelas duas classes, tem-se que em média apenas 15% do número total de SKUs encomendados por dia está na subzona dos SKUs considerados *slows*, facto que corrobora a análise efetuada.

A análise do gráfico permite concluir que a poupança máxima seria de 46 horas o que representaria uma diminuição de 13% do tempo de preparação do dia 2, um dos dias em que o número de caixas a preparar foi mais elevado.

A média da poupança conseguida seria então de **16 horas por dia**, o que representa uma **diminuição média de 6%** no tempo de preparação diário. Para este valor de ganho médio, e assumindo que um turno de trabalho tem 7 horas e 30 minutos, a implementação deste *layout* traria uma poupança de 2 *pickers*. Tendo em conta que cada operador custa à empresa, em média, 1.000€ mensais¹, o ganho anual médio pela implementação desta medida seria de 24.000€, conforme se apresenta na Tabela 2.

Tabela 2 – Redução do número de *pickers* por dia e ganho anual que adviria da implementação da reorganização do *layout* em *fast* e *slow movers* (com patamar = 90%)

Diminuição média do tempo de preparação (h)	Redução do número de <i>pickers</i>	Ganho anual líquido (€)
16	2	24.000€

Focando a atenção na forma como a diminuição do tempo se obtém verifica-se que, tal como era expetável, ela se deve a uma substancial redução da distância percorrida, bem como a uma diminuição significativa do número de paragens/arranques. De facto a implementação deste novo *layout* permitiria uma redução diária média de 2.660 paragens/arranques e de 33.764 metros percorridos. Como cada paragem/arranque acarreta um acréscimo de 6 segundos ao tempo total da tarefa (pressupostos de cálculo do algoritmo que se apresenta no ANEXO A), concluiu-se que, em média, 33% da diminuição do tempo total se fica a dever à diminuição do número de vezes em que é preciso parar. Note-se que como foi referido em 3.3, o *picker* não move o porta-combis enquanto as localizações de *picking* que o sistema de *voice* lhe indica para visitar se encontram num raio de 3 localizações ao redor da localização onde parou. O facto de os SKUs de maior rotação (e que mais provavelmente constam das tarefas de *picking*) estarem agora concentrados numa zona específica, explica essa diminuição. No ANEXO C apresentam-se os resultados desta análise, constando na Figura 27 os valores da diminuição da distância percorrida em cada dia simulado, enquanto na Figura 26 se detalham os valores da diminuição do tempo de paragem/arranque e o seu impacto na diminuição do tempo total de *picking* diário.

É importante também referir que a divisão dos SKUs em *slows* e *fast movers* potencia uma outra medida, que teria de ser discutida com a gestão das lojas, e que passa pela diminuição da frequência semanal de encomenda dos SKUs agora considerados como *slow movers*. De facto, a concentração desses SKUs num ou

¹ O valor de 1.000€ para o salário base corresponde a um valor de referência e não ao valor real.

dois dias de encomenda por semana, ao invés do cenário atual em que se pode encomendar estes artigos todos os dias, levaria a que as encomendas por SKU originassem o *picking* de mais caixas, gerando um *picking* mais produtivo em que se diminuiria o número de vezes por semana em que esta subzona do entreposto teria de ser percorrida.

Por outro lado, como já foi referido, os resultados mostram que para um entreposto de macro *layout* irregular, com corredor central, a opção de localizar as classes *fast* e *slow* em corredores dedicados traz ganhos mais significativos do que a opção de posicionar os SKUs *fast movers* à frente e os SKUs *slow movers* atrás. No entanto, há que fazer a ressalva que devido ao macro *layout* do entreposto, em 6 dos 34 corredores não é possível implementar a referida regra de organização do *layout*, uma vez que os mesmos não são atravessados por um corredor central, o que faz com que os resultados da análise à opção de localização das classes ilustrada no esquema a) da Figura 7 fiquem condicionados por esse facto.

Importa ainda fazer referência ao facto da reorganização do *layout* aqui proposta poder dar origem a um nível de congestionamento dos corredores que prejudique a performance da operação. Ao nível da operação de reaprovisionamento, que será a componente mais crítica ao nível do congestionamento, um estudo preliminar em que se compara a média diária de reaprovisionamentos por corredor no *layout* atual e no *layout* proposto nesta secção demonstra que, de facto, os corredores onde se localizam os SKUs de maior rotação de cada uma das unidades de negócio, e em particular das unidades de negócio de bebidas e DPH apresentam níveis médios de operações de reaprovisionamento elevados que seria necessário estudar com mais detalhe. No ANEXO C, a Figura 25 apresenta então os resultados desta análise preliminar.

Em conclusão, a análise efetuada partiu do cálculo da rotação de cada SKU da gama em entreposto, cálculo esse que foi efetuado com recurso ao rácio EIQ, mas em que se consideram apenas os fatores I (SKU) e Q (quantidade encomendada). Para cada unidade de negócio, os SKUs foram depois ordenados descendentemente pela sua rotação média mensal, calculando-se de seguida o seu contributo para a rotação global da unidade de negócio a que pertencem. Este último cálculo permite então saber que percentagem de SKUs é responsável por um dado valor de rotação agregada, definindo-se assim as classes *slow* e *fast movers*. Pela variação desse valor do patamar de rotação agregada, e pela variação da forma como se organizam as classes no entreposto, definiram-se 6 cenários de *layout* a simular. Pela simulação de uma amostra de 10 dias de tarefas de *picking* concluiu-se que a solução que origina ganhos mais significativos ocorre quando o valor do patamar é 90% e as classes se organizam em corredores a elas dedicados. Em média esses ganhos permitiriam reduzir o tempo total de *picking* em 6%, possibilitando a dispensa de 2 operadores, o que representa uma poupança média anual de 24.000€.

4 *Batch picking*

4.1 Introdução

Neste capítulo apresentar-se-á a problemática de introduzir no centro de distribuição a modalidade de *picking* agregado. O capítulo inicia-se com uma apresentação e discussão do problema. Em 4.3 far-se-á uma exposição detalhada dos passos seguidos na sua resolução e que permitiram chegar ao objetivo de quantificar os ganhos de produtividade que serão apresentados em 4.4.

Importa referir que ao contrário do problema apresentado no capítulo 3, que se prende com o estudo da reorganização do *layout* e consequente subdivisão das 4 zonas em circuitos de produtos *slow* e *fast movers*, a introdução da possibilidade de *batch picking* é uma decisão que passa apenas pela gestão do entreposto, abrindo daí perspectivas a uma mais célere implementação.

Por último, fazer referência que todas as considerações, análises e resultados apresentados neste capítulo devem ser contextualizadas no pressuposto do *layout store-friendly*, o *layout* atualmente presente no entreposto. A análise à sinergia que resultaria da implementação da solução apresentada neste capítulo e da solução apresentada em 3 será referida no capítulo seguinte.

4.2 Apresentação do problema

Na situação atual, o centro de distribuição abastece um conjunto de 172 lojas que apresentam áreas e volumes de venda díspares com artigos provenientes de uma gama que conta com 5.750 referências que apresentam padrões de rotação também eles díspares. Contudo, a preparação das encomendas é sempre efetuada segundo o paradigma do *picking* discreto. Pelo método de *picking* discreto cada loja é preparada numa tarefa / circuito a si dedicada, não havendo possibilidade de combinar lojas que encomendaram ao entreposto poucas caixas, ou de agregar o *picking* de SKUs cuja procura foi também baixa. Assim sendo, a não tradução das disparidades supramencionadas numa diferente abordagem de preparação dessas encomendas conduz a um *picking* ineficiente que, por sua vez, constitui a oportunidade de melhoria que se pretende estudar.

O problema do *batch picking* deve então ser analisado por dois prismas: (1) pelo ponto de vista das lojas, isto é, uma análise ao número de referências e quantidades encomendadas de cada SKU por cada loja, e (2) pelo prisma dos SKUs, ou seja, uma análise ao total de caixas encomendadas de cada SKU em cada dia de preparação.

Começando pela perspetiva das lojas, na situação atualmente em vigor cada tarefa de *picking* corresponde a uma loja e, portanto, um dado circuito de *picking* é percorrido tantas vezes quantas as lojas que constam do plano de preparação de um dado dia. Todavia, as lojas com maior volume de vendas geram tarefas de *picking* em que se visitam muitas localizações do circuito, enquanto as lojas com menor procura originam tarefas em que se visitam poucas localizações de *picking* e se retiram poucas caixas de cada uma delas. Tal facto constitui uma

oportunidade de melhoria se se tiver em linha de conta que o operador teve que passar pelas mesmas localizações tantas vezes quantas essas lojas. Se, pelo contrário, em cada localização – e, portanto, em cada paragem - o operador preparasse a quantidade agregada encomendada por essas lojas, o tempo de preparação total das mesmas seria reduzido, pela diminuição da distância percorrida e do número de paragens e arranques. Por outras palavras, a implementação da possibilidade de se efetuar *batch* à loja abre perspectivas de ganhos ao nível do tempo de preparação.

Focando a atenção nos SKUs que constam num plano de preparação de um dado dia constata-se que alguns SKUs são encomendados em quantidades de apenas uma ou duas caixas por cada loja, isto mesmo para lojas com elevadas quantidades encomendadas. Este facto levanta a questão pertinente de se equacionar o *picking* destes artigos em *batch*. Desta forma reduzir-se-ia o tempo total de *picking* pelo facto de se visitar apenas uma vez a localização de *picking* destes artigos com pouca procura.

Esta abordagem centrada no SKU relaciona-se de facto com a apresentada no capítulo 3. Porém, a opção de *batch* ao SKU tem como pressuposto não uma identificação da rotação dos SKUs por dados históricos (conforme apresentado em 3), mas sim uma identificação dinâmica dos produtos *slows* e *fast movers* com base no plano de tarefas de cada dia.

Pela implementação do conceito de *batch picking* - ao SKU ou à loja -, surgirá a possibilidade da quantidade agregada de cada SKU preparado em *batch* ser suficiente para baixar uma ou mais paletes completas do SKU, ficando a quantidade remanescente ao encargo da operação de *picking*. Assim sendo, é necessário que a solução proposta indique uma média ao dia do acréscimo do número de paletes completas que teriam de ser baixadas de *stock*, de forma à solução final contemplar a necessidade de se aumentar a força de trabalho responsável pelas tarefas de máquinas.

Comum a ambas as perspectivas é também o facto de a implementação da modalidade de *batch picking* implicar uma operação de *sorting* após o *picking*, uma vez que deixaria de se ter uma paleta afeta a uma só loja, e se passaria a ter uma paleta onde consta apenas um SKU pedido por várias lojas (no caso de se baixar uma paleta completa) ou uma paleta onde constam vários SKUs pedidos por várias lojas. Essa operação de *sorting* acarretará um acréscimo ao tempo de preparação e custos adicionais que terão de ser inferiores ao ganho que se obtém pelo *picking* em *batch*. Todavia, é importante referir que não é objetivo do presente projeto a conceptualização da operação de *sorting*, pelo que não serão apresentados valores para os custos da mesma.

Por último, e devido a condicionantes na articulação entre os dois sistemas de informação da empresa e pela celeridade que a mesma pretende na decisão de que lojas e/ou SKUs serão preparados em *batch picking*, essa decisão não se efetuará com recurso a qualquer dos algoritmos apresentados na secção 2.5, tal como já se referiu na secção de conclusões da revisão bibliográfica (secção 2.6).

4.3 Metodologia seguida na resolução

O processo seguido para o estudo da opção de *batch picking* no pressuposto de *layout store - friendly* encontra-se sumariado no esquema presente na Figura 9 e será depois apresentado por pontos.

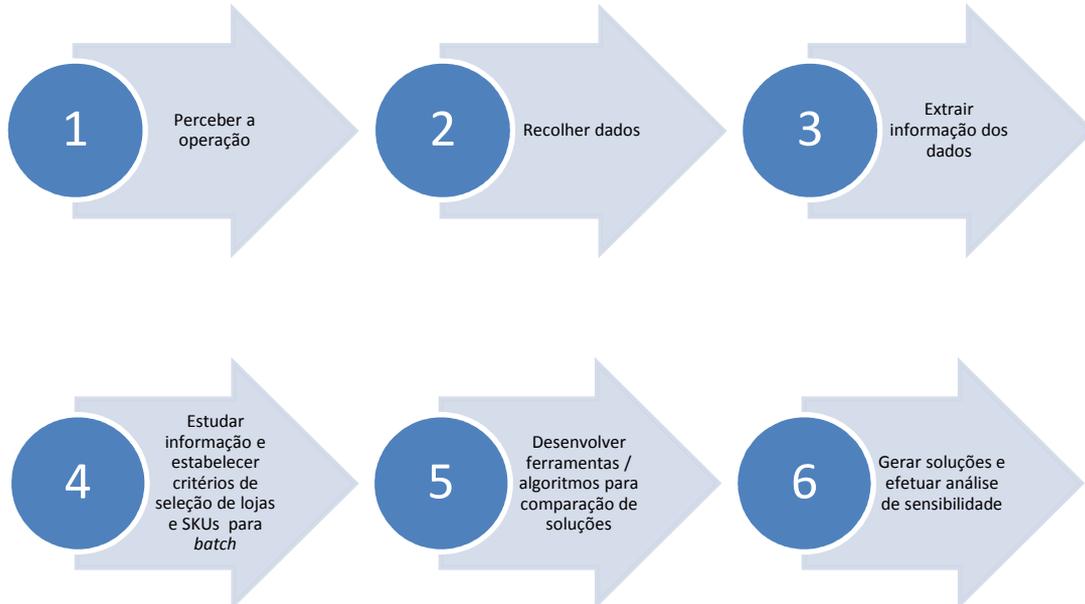


Figura 9 – Esquema ilustrativo das etapas seguidas no estudo da implementação da modalidade de *batch picking*

1. A primeira fase da resolução do problema consistiu num acompanhamento da operação com o objetivo de perceber o modo como as tarefas eram preparadas e as particularidades operacionais do quotidiano do entreposto, tais como o número de turnos, o número de operadores por turno, a sua afetação às zonas de *picking*, as dificuldades que os operadores encontram e o grau de congestionamento dos corredores, bem como, por outro lado, ganhar sensibilidade para grandezas como a média de caixas preparadas por dia, a média do número de operações de reaprovisionamento, a média do número de operações de armazenagem e a média do número de operações de baixar paletes diretamente de *stock* para cais de expedição. Esta etapa foi fundamental para adquirir o *background* necessário para alicerçar o estudo que se apresenta;
2. De seguida recolheram-se então os dados que possibilitaram a análise. Esta fase de recolha de dados seguiu 3 passos, a saber:
 - a. Definir os campos de dados que seriam interessantes para o estudo, e que se considerou serem:
 - i. O histórico de tarefas de *picking* disponível no sistema de informação que gere a operação do entreposto com os campos: data da tarefa, código da tarefa, código da loja, código do SKU e código da sua localização de *picking*, número de caixas a preparar, bem como o código da zona de *picking*;

- ii. Dados de encomendas das lojas com detalhe ao dia para o mês de março e em que constassem os seguintes campos: data da encomenda, código da loja, código do SKU encomendado, quantidade encomendada e quantidade entregue à loja;
 - b. Verificar se existiam ou não esses dados e se eram consistentes com os dados que relacionam cada SKU com a sua localização de *picking* e que haviam sido recolhidos no âmbito da resolução do problema apresentado em 3;
 - c. Extrair os dados. Importa aqui referir que os dados de histórico de tarefas só se encontram disponíveis para uma janela temporal de 15 dias. Referir ainda que o total de dados de 15 dias de tarefas perfaz cerca de 400.000 linhas, enquanto os dados de encomendas de um mês formam um conjunto de mais de 1,5 milhões de entradas. Esta quantidade de linhas de dados torna o seu tratamento um processo moroso;
3. Após recolhidos os dados precedeu-se ao seu tratamento com o objetivo de visualizar e quantificar o problema. Assim sendo, tomaram-se 3 iniciativas:
 - a. Analisar as quantidades totais encomendadas em março, excluindo as encomendas cujo número de caixas originaria uma operação de baixar palete completa e não uma linha de tarefa de *picking*. Com esta análise definiu-se o dia pico, dia baixo e dia médio do mês de março em termos do número de caixas em *picking*;
 - b. Desenvolver um algoritmo cujo output é uma folha de EXCEL que mostra uma fotografia daquilo que foi a atividade do entreposto no dia em estudo. Para tal, esta ferramenta requisita ao utilizador que insira como *inputs* os dados de tarefa de um dado dia e os dados que relacionam as localizações de *picking* com os SKUs que nelas se localizam. Com base nestes *inputs* é então criada uma réplica do entreposto em que cada célula representa uma localização de *picking* (e portanto um SKU) e cada uma das linhas abaixo dessa célula representa uma loja a ser preparada nesse dia. Se a loja colocou encomendas desse SKU então a quantidade de caixas é impressa na célula respetiva. De acordo com o valor dessa quantidade é atribuída uma cor à célula: vermelho se for uma caixa, laranja se for entre duas e quatro e verde no caso de 5 ou mais caixas.

Desta forma obtém-se uma imagem que transmite de uma forma gráfica e distribuída geograficamente pelas localizações reais dos SKUs no entreposto a informação do rácio EIQ que foi apresentado em 2.4. De facto, a conjugação dos dados numéricos com a informação veiculada pelo código de cores, permite tomar conhecimento de,

 - Qual o número de referências que a loja encomendou (parâmetro EN do rácio EIQ) – o que se consegue pela análise da linha que diz respeito à loja. Com esta análise

gráfica acrescenta-se ainda a este parâmetro a informação da distribuição dos SKUs pelos circuitos de *picking*;

- Qual a quantidade agregada a ser preparada para cada SKU (parâmetro IQ) – que se obtém pela análise das células abaixo de cada célula que representa uma localização de *picking*;
- Qual a frequência da presença de cada SKU nas ordens de compra (IK) – que se infere pela contagem de células preenchidas abaixo de cada célula que representa um SKU ou simplesmente pela rápida interpretação da mancha gráfica que as cores permitem.

Para além disso, esta ferramenta permite ainda ter informação do número de caixas que cada loja encomendou de cada SKU, ou seja a matriz de encomendas original distribuída no *layout* do entreposto.

De facto, ao acrescentar à informação veiculada pelo rácio EIQ a localização geográfica do SKU no entreposto e a dimensão das tarefas / circuitos afetos a cada loja, esta ferramenta permitiu visualizar as ineficiências que a impossibilidade de se efetuar o *picking* em *batch* acarreta para a operação do entreposto. Um exemplo do output deste algoritmo é apresentado na Figura 10.

Quanto à ferramenta, referir ainda que devido ao elevado número de lojas a preparar num dia de atividade, o output não é uma única folha EXCEL mas uma folha para cada grupo de lojas representado pela sua insígnia;

ID_loja	Localizações de picking						EN /corr.	EQ
	MC61AE	MC61AC	MC61AA	MC59AE	MC59AC	MC59AA		
1						6	1	6
4		18		2		6	3	26
6		9		3		6	3	18
8						1	1	1
10			9			7	2	16
14		6	6				2	12
16							0	0
203		4					1	4
940					4		1	4
IQ	0	37	15	5	4	26		
IK	0	4	2	2	1	5		

Figura 10 – Output da ferramenta de visualização da atividade de um dia de preparação no entreposto (exemplo para 9 lojas da insígnia Continente e 6 localizações de *picking*)

- Construir uma matriz de caixas encomendadas em que cada SKU surge nas linhas enquanto as lojas surgem em coluna. Com base nessa matriz calcularam-se os rácios de SKUs encomendados a (1) uma caixa, (2) duas a quatro caixas, (3) cinco ou mais caixas, sobre

o total dos SKUs encomendados. Esta informação, que revela as lojas que originaram um *picking* improdutivo, foi depois completada com os rácios da quantidade encomendada a (1) uma caixa, (2) duas a quatro caixas, (3) cinco ou mais caixas, sobre o total de caixas encomendado pela loja. A combinação das duas informações revela, (1) para que lojas e, portanto, em que tarefas o operador teve que se deslocar a uma localização de *picking* para retirar apenas uma caixa, e (2) qual a representatividade desse *picking* ineficiente na quantidade total a preparar para essa loja.

Importa ainda referir que cada um destes rácios foi calculado com detalhe à zona de *picking*. Isto porque o comportamento de uma dada loja não é necessariamente o mesmo para todas as unidades de negócio, o que se reflete em diferenças no *picking* por zona do entreposto. O processo de construção da matriz a partir da base de dados de tarefas bem como do consequente cálculo dos rácios para cada uma das zonas de *picking* foi depois automatizado com recurso a um código VBA.

A informação que se obteve foi sumariada numa representação gráfica para cada insígnia, e não para o total das lojas devido ao seu elevado número. A Figura 11 apresenta assim o gráfico que se obtém para a insígnia “Continente Bom Dia” no dia pico do mês de março. Note-se que esta representação é uma representação do comportamento da loja como um todo, não contendo assim o detalhe da zona de *picking*.

No figura abaixo a leitura das barras e do eixo da esquerda permite inferir a percentagem de SKUs que foram encomendados a N caixas, correspondendo a barra azul a $N=1$ a barra vermelha a $2 < N \leq 5$ e a barra verde a $N > 5$. Por sua vez a leitura das linhas com recurso ao mesmo código de cores, permite inferir a representatividade da encomenda a N caixas no total de caixas encomendado (os valores devem-se ler no eixo da direita). A leitura do gráfico pode ainda ser complementada com a leitura da tabela que acrescenta a informação do número de caixas máximo encomendado pela loja, bem como o total de caixas na encomenda da loja.

Analisando o gráfico constata-se que todas as lojas consideradas apresentam rácios de encomenda a uma caixa elevados, com exceção da última loja que à data se encontrava em processo de abertura e portanto de enchimento. Todavia, o cruzamento dessa informação com a informação da representatividade desse volume de caixas no volume total a expedir para a loja, revela que a loja 2, 5 e 9 são os casos mais críticos, pois o volume de *picking* a uma caixa representa quase a totalidade de caixas que foi expedida para a loja, o que torna o *picking* destas lojas interessante para ser agregado;

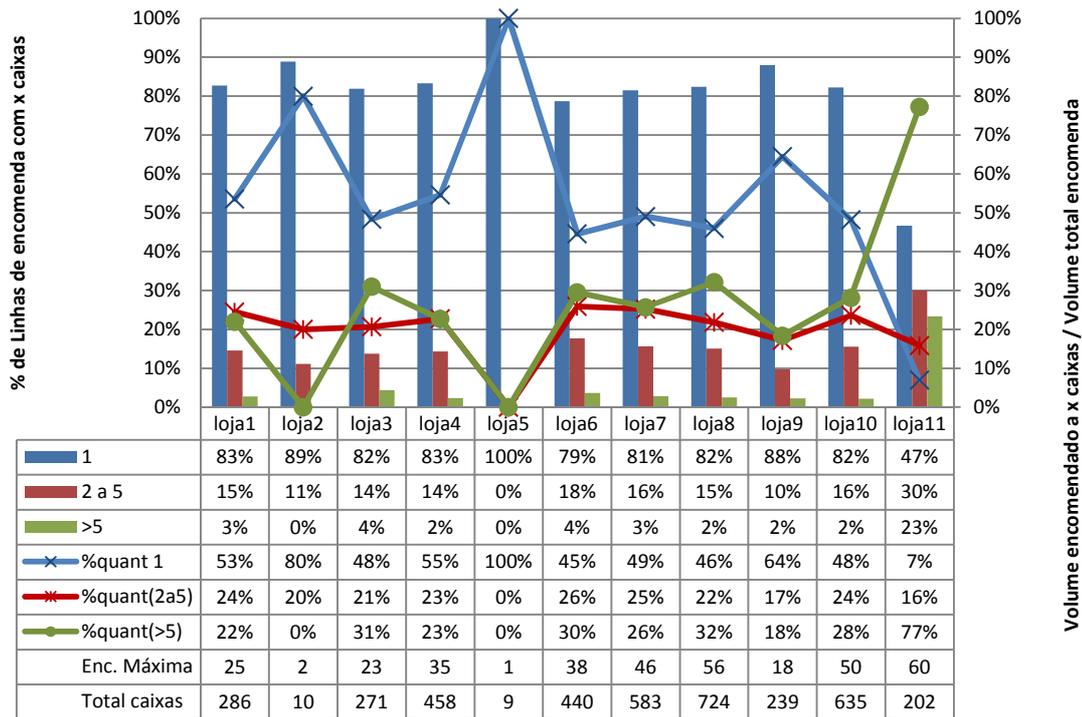


Figura 11 – Relação entre rácio de encomenda a 1, 2 a 4 ou mais de 5 caixas e sua representatividade no total encomendado por cada loja

4. Da análise da informação que se obteve, definiram-se os critérios para identificar (a) as lojas candidatas a *batch* bem como (b) os SKUs candidatos a um *picking* agregado.
 - a. Para as lojas, o critério passa pelo cálculo de um outro rácio que se obtém da multiplicação do rácio dos SKUs encomendados a N caixas ($N=1, 2 < N \leq 5$, ou $N > 5$) pelo rácio da representatividade de encomenda a N caixas no total de caixas encomendado pela loja. O rácio assim obtido quando $N = 1$ é depois ordenado descendentemente. Note-se que este processo de ordenação será repetido 4 vezes, uma para cada uma das 4 zonas de *picking*. As lojas assim ordenadas serão depois alvo de um processo iterativo em que vão sendo sequencialmente adicionadas ao grupo de lojas a efetuar em *batch* na zona de *picking* em estudo;
 - b. Quanto aos SKUs o critério será selecionar para *batch* todos os SKUs cuja a encomenda de cada loja seja igual ou inferior a 5 caixas e cuja procura total do dia seja diferente de uma caixa. Isto porque, se para um SKU a quantidade total pedida é uma caixa, então o operador terá sempre que parar na sua localização de *picking* para retirar uma caixa apenas, não havendo qualquer benefício em retirar esse SKU do circuito da loja e passá-lo para um circuito de *batch picking*;
5. Nesta etapa do processo desenvolveram-se então as ferramentas que permitirão criar novas tarefas de *picking* havendo duas hipóteses: separar lojas que serão preparadas em *batch* de lojas que serão preparadas em *picking* discreto, ou separar artigos que serão preparados em *batch* de artigos que serão preparados em *picking* discreto.

O processo de criação dos novos códigos de tarefas de *picking* será de seguida apresentado, primeiro para o caso do *batch* à loja e depois para o caso de *batch* ao artigo.

- a. No caso das lojas, a criação de novas tarefas inicia-se com uma identificação das linhas da tarefa original que contêm a combinação loja / zona de *picking* que, pelos critérios anteriormente descritos, será então efetuada em *batch*. Uma vez identificadas as lojas, as linhas de tarefa a elas respeitantes são adicionadas a uma nova folha de tarefas. Nessa nova folha há depois que (1) eliminar os SKUs que surgem repetidos, (2) ordenar os dados pelas localizações de *picking* dos SKUs sem repetições, (3) calcular a quantidade agregada de cada SKU, (4) calcular o volume originado por cada linha da tarefa, fazendo a multiplicação do volume da caixa do SKU pelo número de caixas a preparar, (5) calcular o volume agregado e (6) gerar um novo código de tarefa sempre que o volume agregado ultrapasse o limite de volume de duas paletes de *picking* (capacidade máxima do porta-combis). O valor para o volume máximo de uma paleta foi calculado no pressuposto de uma paleta com 1,20m por 0,80m de base e 1,60m de altura, o que perfaz um volume máximo de 1,536 m³ por paleta;
- b. No caso dos SKUs há que criar duas folhas de tarefas, uma para os SKUs que serão efetuados em *batch* e outra para os SKUs que se mantêm em *picking* discreto. O processo de criação do código da tarefa é o mesmo que foi explicado na opção a) acima apresentada e será aplicado a ambas as folhas de tarefas.

Com base nos pressupostos e nos processos iterativos supramencionados simularam-se então os vários cenários com base no algoritmo que se apresenta no ANEXO A e cujos resultados e conclusões a retirar se apresentam na secção seguinte.

4.4 Solução proposta

Nesta secção de apresentação de resultados começar-se-á por referir as conclusões da análise de *batch picking* em que se agregam lojas seguindo-se a apresentação das conclusões da análise de *batch picking* ao SKU. Referir novamente que a implementação de qualquer uma das abordagens requererá sempre uma operação de *sorting a posteriori* que acarretará custos, custos esses que não serão contabilizados pois a conceptualização dessa operação não é alvo do presente projeto.

Comum a ambas as análises é a necessidade de em cada uma das iterações se criarem 3 folhas de tarefas: uma onde constam as tarefas dos artigos cujo *picking* seria efetuado em *batch*, outra onde constam as tarefas dos artigos que se manteriam em *picking* discreto e uma outra onde se guarda o registo das paletes completas que seria necessário baixar.

4.4.1 *Batch* à loja

Obedecendo ao processo e critérios descritos em 4.3, simulou-se então a operação do entreposto com a possibilidade de efetuar *batch* de lojas. Assim sendo, foram simulados os cenários em que o número de lojas selecionadas para serem preparadas em *batch picking* varia entre 11 e 20 lojas. As tarefas usadas para a simulação foram uma vez mais a amostra de 10 dias (entre 3 e 14 de Maio). É importante referir que o tempo de simulação para o conjunto das iterações é de 2 horas por dia, uma vez que envolve a criação prévia da matriz de encomendas SKU – lojas para cada dia.

Comparando então o tempo necessário para efetuar as tarefas agora em *batch* com o tempo que seria necessário para as completar no cenário de *picking* discreto obtêm-se os ganhos de produtividade que cada uma das iterações originaria. Os resultados dessa análise podem ser consultados no ANEXO D. A Figura 29 sumariza a análise do processo iterativo em que se varia o número de lojas (com N a variar entre 11 e 20) apresentando-se a redução de tempo obtida em cada zona de *picking* pela preparação em *batch* das N lojas em causa. Porém, dado o elevado tempo necessário para compilar os dados por forma a se obter o gráfico veiculado na referida figura e a não relevância de apresentar o resultado de cada uma das iterações, optou-se por apresentar apenas a iteração em que se agregam 20 lojas, conforme se apresenta na Figura 30.

De facto, embora a agregação de lojas obedecendo aos pressupostos assumidos no ponto 4 da secção 4.3 origine ganhos de produtividade de 18 horas em média, considera-se que esses ganhos não seriam suficientes para justificar a operação de *sorting* que seria necessário efetuar *a posteriori*. Esses ganhos insuficientes são justificados pelo facto de:

- O número de paletes completas originadas pela agregação das lojas ser baixo;
- Os SKUs que são pedidos a 5 ou mais caixas, embora sendo pouco representativos no total da encomenda de cada uma das lojas individualmente, são suficientemente representativos para fazer com que a capacidade do porta-combis seja atingida rapidamente. Este detalhe manifesta-se particularmente quando a quantidade agregada de um SKU para as lojas consideradas nessa iteração fica a poucas caixas de completar uma paleta do mesmo, originando assim um *picking* que quase por si só trunca uma das duas paletes de *picking* disponíveis para cada tarefa. Outro caso particular ocorre quando SKUs cuja quantidade agregada é representativa estão em localizações próximas no entreposto, fazendo também com que a capacidade máxima seja atingida muito cedo no percurso. Ambos os cenários obrigam o *picker* a deslocar-se à zona de expedição para deixar as paletes voltando depois em vazio para o local onde terminou a tarefa anterior.

De facto, a política de arredondar para uma paleta completa todas as encomendas iguais ou superiores a 70% de uma paleta do SKU, traduz a preocupação da gestão da operação com a situação acima descrita. Todavia, ao agregar as encomendas de várias lojas torna-se inviável efetuar tal arredondamento, pelo que a solução

obtida não pode ser melhorada com base no mesmo. Note-se que se realizaram novas iterações em que o número limite de lojas a entrar em *batch* passou a ser de 3 a 10 - na perspectiva de as quantidades agregadas diminuírem levando a percursos mais homogéneos - e de 20 a 30 - na perspectiva de aumentar a poupança de tempo ao nível do *picking* pelo facto de se baixarem mais paletes completas -, mas os resultados de ambas as análises mostraram ganhos que se mantiveram insuficientes.

Em conclusão, esta solução origina poucas paletes completas e gera tarefas heterogéneas, quer em termos da distância percorrida, quer em número de caixas preparadas, não havendo ganhos de tempo significativos.

4.4.2 *Batch* ao SKU

O estudo dos ganhos de produtividade que adviriam da implementação do *batch picking* ao SKU obedeceu a um processo iterativo em que se varia o número mínimo de caixas que a encomenda de cada loja para cada SKU tem que apresentar para que o seu *picking* continue a ser efetuado na modalidade de *picking* discreto. Assim sendo, criaram-se novas tarefas de *picking* em que os SKUs que foram pedidos em quantidades iguais ou inferiores a N caixas (com N = 2, 3, 4 e 5) são selecionados para *batch picking*. Desta forma reduz-se o número de vezes que cada localização de *picking* é visitada e, caso a quantidade agregada perfaça uma ou mais paletes completas, elas serão então baixadas de *stock*. Importa referir que o processo de simular as 4 iterações para cada dia requiere, em média, uma hora e 45 minutos.

Os ganhos de produtividade que adviriam da implementação desta abordagem foram obtidos pela comparação do tempo total de *picking* que se obtém em cada uma das referidas iterações, com o tempo total que seria necessário para completar o plano do dia caso as encomendas fossem preparadas na situação atual do entreposto. Os resultados obtidos sumariam-se na Figura 12. Note-se que as tarefas usadas na simulação foram as mesmas que se usaram nas simulações apresentadas nas secções anteriores.

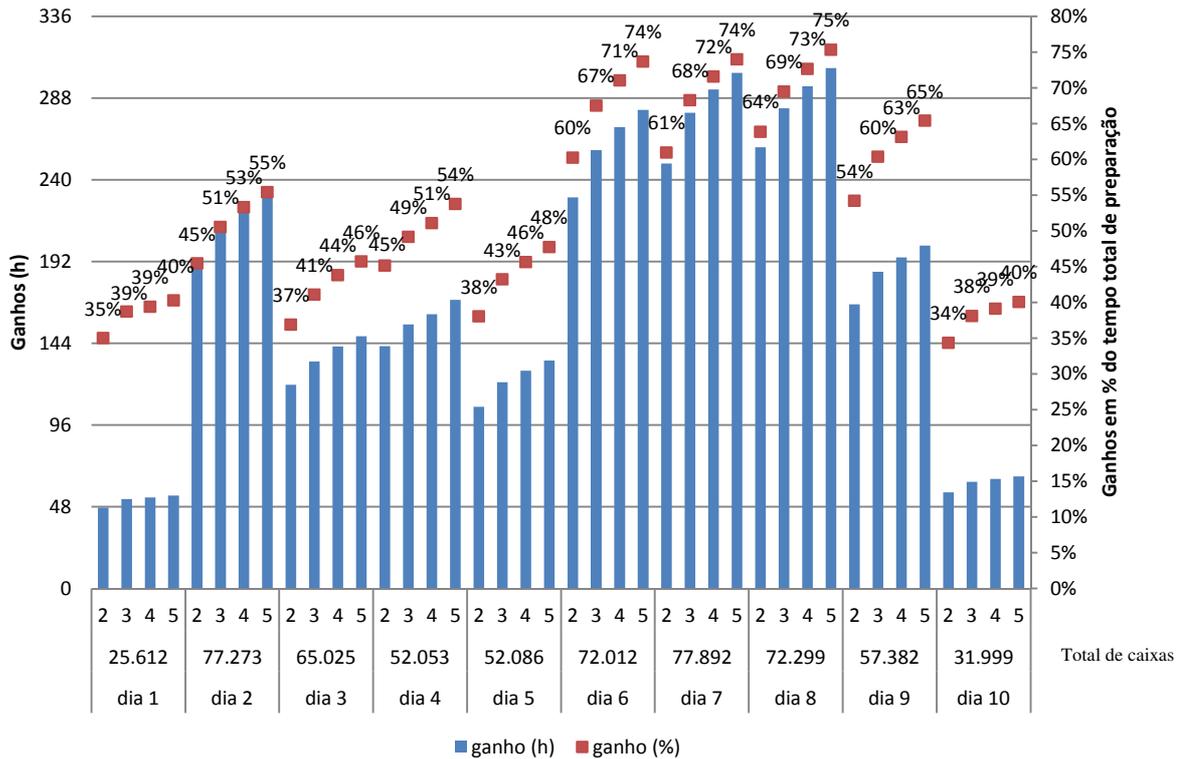


Figura 12 – Melhoria de produtividade na operação de picking pela implementação da modalidade de batch picking ao SKU.

Na Figura 12 as barras representam o ganho absoluto, em horas, que se conseguiria em cada uma das iterações (isto é, tendo como limite 2, 3, 4 ou 5 caixas), enquanto os pontos indicam o impacto relativo – em percentagem – que essa redução significa. Inclui-se também no gráfico a informação relativa ao número total de caixas a preparar no dia em causa, que estabelece uma base de comparação entre os dias e permite concluir que os ganhos mais significativos ocorrem nos dias de mais encomendas. A análise da figura permite ainda depreender que, como era expectável, os ganhos são tanto maiores quanto maior o valor do limite de caixas considerado na definição de SKUs que serão preparados em agregado. De referir, no entanto, que o maior ganho marginal ocorre, na maioria dos dias simulados, quando esse limite passa de duas para três caixas. O ganho máximo obtido é de 220 horas, o que representaria uma redução de 66% do tempo total de picking do dia em causa.

Por sua vez, a informação veiculada na Figura 31 presente no ANEXO D permite analisar a outra vertente a considerar na quantificação dos ganhos que se obteriam pela implementação desta abordagem, a vertente do tempo e custos extra em que se incorreria pela implementação do batch picking ao SKU. Assim sendo, o gráfico revela (1) o número total de caixas que resultariam do picking agregado e que, portanto, teriam de ser alvo de uma operação de sorting cujos custos associados e o próprio dimensionamento da operação dependem desse número de caixas, bem como (2) o número total de paletes completas que cada iteração originaria, o que permitirá estudar se o número de operadores de máquinas seria suficiente uma vez implementada a modalidade de batch picking ao SKU.

As tabelas abaixo apresentam uma análise monetária à hipótese desenvolvida nesta secção, análise essa que teve como pressupostos (1) a duração de um turno é

de 7,5 horas, (2) o custo médio de cada operador é de 1.000 € mensais, (3) a produtividade dos operadores de máquinas é de 15 paletes por hora. Referir que os valores de custos com pessoal foram obtidos junto da empresa e o valor da produtividade foi calculado a partir do relatório de performance da operação de 2010.

A análise conjunta destes pressupostos com os valores médios de ganhos diários no tempo total de preparação e do número de paletes completas originadas permitiu então calcular os valores que se apresentam nas tabelas abaixo.

Tabela 3 – Redução do número de *pickers* por dia e ganho bruto anual que adviria da implementação de *batch picking* ao SKU

Número de caixas limite	Ganho médio (h)	Redução do número de <i>pickers</i>	Ganho bruto anual (€)
2	84	11	132.000 €
3	100	13	156.000 €
4	110	14	168.000 €
5	118	15	180.000 €

A Tabela 3 relaciona o ganho médio diário em termos do total de horas de preparação, com a poupança monetária que a implementação da hipótese de *batch picking* ao SKU permitiria, apresentando-se os valores de ganho médio correspondentes a cada uma das 4 possibilidades estudadas para o número limite de caixas.

Na Tabela 4 completa-se então a análise de ganhos com a introdução dos custos com mais operadores de máquinas em que se incorreria caso o entreposto passasse a efetuar *batch picking* ao SKU.

Tabela 4 – Número e custo dos operadores de máquinas extra que seriam necessários para a implementação de *batch picking* ao SKU

Número de caixas limite	Média diária de paletes completas originadas	Tempo extra em tarefas de máquinas (h/dia)	Operadores de máquinas extra necessários por dia	Custo dos operadores (€/ano)	Ganho anual líquido de custos com operadores de máquinas
2	134	9	2	24.000 €	108.000 €
3	192	13	2	24.000 €	132.000 €
4	233	16	2	24.000 €	144.000 €
5	267	18	3	36.000 €	144.000 €

A análise da Tabela 4 mostra que, caso seja necessário contratar mais operadores para efetuar o trabalho de baixar as paletes completas que a implementação do *batch picking* origina, então o ganho marginal que se obtém pelo aumento do limite de caixas de 4 para 5, é inferior ao custo de baixar as paletes completas originadas no cenário do limite de caixas igual a 5, sendo assim a melhor alternativa o limite fixado em 4 caixas.

Contudo, há que referir que a questão da necessidade ou não de aumentar a força de trabalho responsável pelas tarefas de máquinas carece de um estudo mais aprofundado. Isto porque, de facto, estas tarefas de baixar paletes completas não são realmente originadas pela implementação do *batch picking*, elas já existem na

operação tal e qual como ela se organiza hoje, mas são originadas por necessidades de reaprovisionamento da localização de *picking* do SKU. Porém, as tarefas de reaprovisionamento surgem de carências que estão diluídas ao longo do dia de preparação e não concentradas num curto espaço de tempo. Por esta razão seria necessário estudar este problema, efetuando uma análise ao nível do turno e não ao nível do dia de preparação como um todo, para se perceber se os operadores que o entreposto possui são ou não suficientes para responder à necessidade de baixar essas paletes, necessidade que agora está concentrada no tempo.

A apresentação de uma solução concreta, ou seja, a decisão de qual o limite de caixas que origina a melhor solução, não pode ser apresentada. Isto porque, para se optar por um dos quatro limites de caixas simulados, é necessário efetuar o *trade-off* de ganhos de produtividade versus custos em que se incorre. Como esses custos adviriam da operação de *sorting* e da potencial necessidade de se aumentar o número de operadores de máquinas, os mesmos não podem ser apresentados, pois não se possuem esses dados, nem faz parte do âmbito do projeto o seu estudo. No entanto, o presente projeto faculta os dados que permitirão o estudo de ambas as problemáticas.

Em conclusão, os estudos efetuados permitiram concluir que a opção de *batch picking* à loja não conduz a resultados de melhoria significativos. No entanto, a opção *batch picking* ao SKU permitiria ganhos na ordem dos 170.000€ anuais, que justificam a conceitualização e o estudo dos custos da necessária operação de *sorting* a efetuar aos artigos preparados em *batch*.

5 *Batch picking* com *layout* reorganizado em *slows* e *fast movers*

5.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a hipótese de sinergia entre as soluções propostas nos dois capítulos anteriores, isto é, implementar a modalidade de *batch picking* num entreposto cujo *layout* esteja organizado em *slows* e *fast movers*.

5.2 Metodologia

A metodologia seguida na resolução deste problema foi em tudo semelhante à apresentada em 4.3. Não obstante, o estudo desta opção obedecerá às duas fases que se esquematizam na Figura 13.

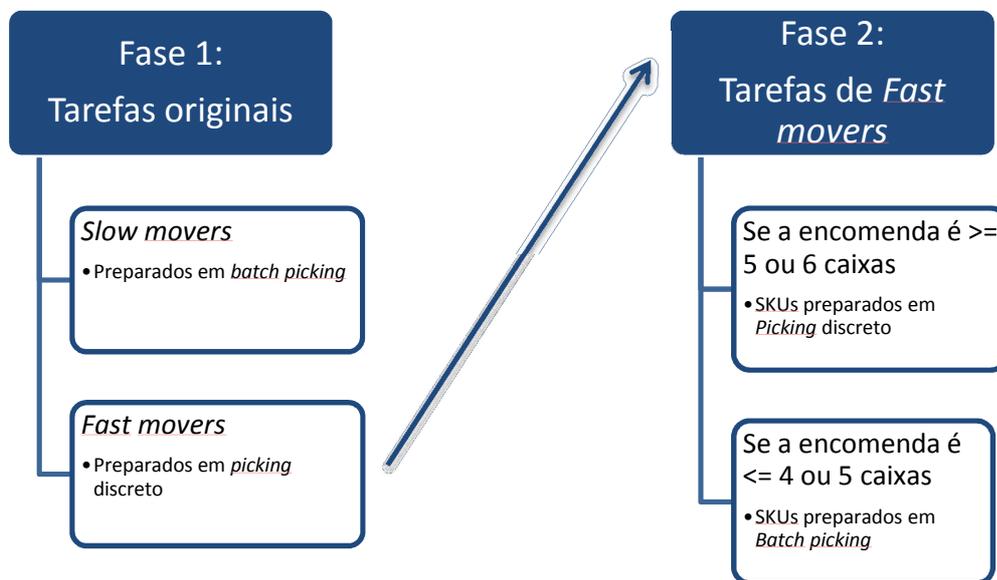


Figura 13 – Esquema ilustrativo das duas fases da análise de *batch picking* num *layout* reorganizado em *slow* e *fast movers*

De seguida detalham-se então os pressupostos de análise de cada uma das fases.

Fase 1: De facto, como o cenário em análise consiste em efetuar o *batch picking* num entreposto já reorganizado por classes de rotação, então a primeira fase consistirá em agregar as encomendas dos SKUs *slow movers*, uma vez que pelo seu nível de rotação se infere que o *picking* destes SKUs será sempre improdutivo, e logo será um *picking* candidato a *batch*. Note-se que esses SKUs serão identificados pela sua rotação agregada, ou seja de forma análoga à apresentada no capítulo 3. Assim, caso a rotação do SKU esteja acima do patamar de definição das classes considerado, então esse SKU será identificado como *slow mover* e será preparado em *batch picking*. Começar-se-á assim por simular o cenário em que o entreposto está organizado com as classes definidas pelo patamar de valor igual a 90% e organizadas em corredores dedicados, ou seja a solução apresentada em 3.5. Contudo, como a opção de sinergia que neste capítulo se apresenta pode trazer

ganhos superiores caso a classe *slow mover* seja mais abrangente, ou seja, caso contenha mais SKUs, então testar-se-á também o cenário em que a definição das classes se efetua com o patamar igual a 80% da rotação agregada ao invés dos 90% apresentados na secção 3.5 como a solução a implementar. Assim sendo, os SKUs serão divididos por duas folhas de tarefas por dia, uma para SKUs *slow movers* e outra para os SKUs *fast movers*. Note-se que, uma vez implementada esta hipótese, o sistema de informação fará exatamente esta separação das encomendas, embora o vá fazer com base na localização do SKU que estará parametrizada como sendo uma localização *slow mover* ou *fast mover*. Por último, os SKUs considerados *slow* serão depois alvo de um processo de agregação, processo esse que foi descrito no ponto 5 da secção 4.3;

Fase 2: Devido ao facto de, em média, 95 % das encomendas de cada dia solicitarem o *picking* de quantidades inferiores a 5 caixas, a segunda fase desta abordagem será então um refinamento dos resultados obtidos na primeira fase, consistindo em aplicar uma análise semelhante à apresentada em 4.4.2 aos SKUs identificados como *fast movers* na fase 1.

5.3 Solução proposta

Implementando a modalidade de *picking* em *batch* dos SKUs localizados nas subzonas *slow movers* de um *layout* organizado por rotação dos SKUs dentro da unidade de negócio a que pertencem, os ganhos que se obtêm variam de acordo com o critério pelo qual se efetua a separação das classes. Assim, a implementação do *batch picking* aos SKUs *slow movers* com o *layout* organizado com o valor do patamar em 90% (conforme sugerido em 3.5) permitiria, em média, uma redução de 50 horas no tempo de preparação diário, o que representa 18% de diminuição no tempo total. Essa diminuição do tempo permitiria reduzir a força de trabalho em 6 operadores, possibilitando uma poupança monetária de 72.000€ anuais. Com esta solução haveria um acréscimo médio de 22 operações de baixar paletes completas por dia.

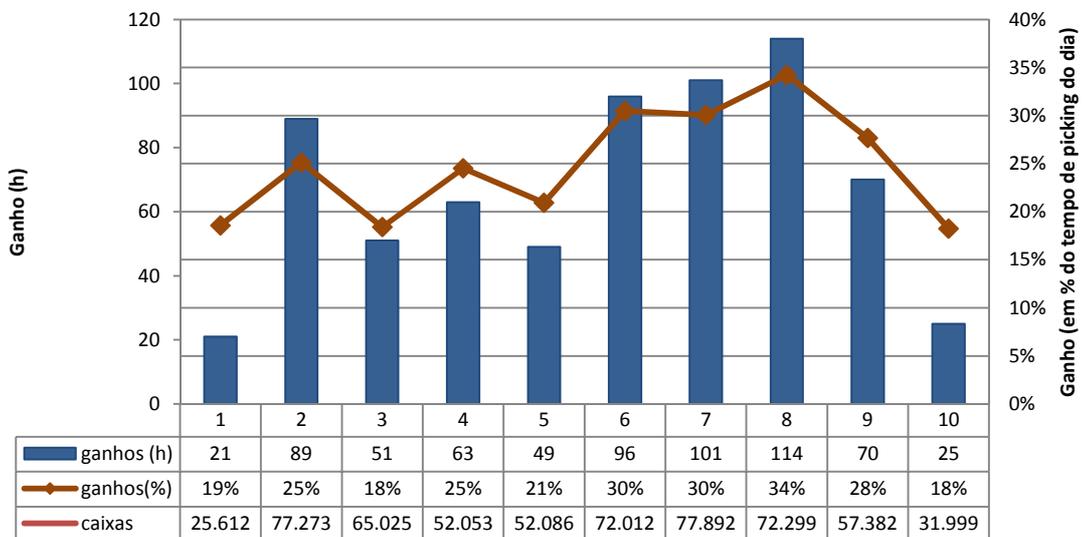


Figura 14 – Melhoria de produtividade na operação de *picking* pela implementação da modalidade de *batch picking* aos SKUs localizados nas subzonas de *slow movers* (com a distinção das classes a obedecer a um patamar de rotação agregada de 80%)

Contudo, e conforme foi referido na secção anterior, conseguem-se ganhos mais significativos se esta mesma abordagem for aplicada a um *layout* em que a definição das classes obedece a um valor de 80% para o patamar de rotação agregada ao invés dos 90% anteriormente considerados. Em média, com este novo cenário conseguir-se-ia uma redução de 68 horas no tempo total de preparação, o que se traduz numa diminuição média de 25% do tempo total de preparação por dia. De facto, os ganhos conseguidos com esta solução são significativamente superiores aos obtidos com o patamar a 90% permitindo uma poupança anual de cerca de 108.000€. Assim, no caso de se implementar a possibilidade de *batch picking* num *layout* já reorganizado por rotação dos SKUs, esse *layout* deve ser o espelho de uma definição de classes de rotação em que o patamar é 80%. Na Figura 14 apresentam-se os resultados obtidos pela simulação deste cenário.

Aplicando então a segunda fase da análise ao melhor cenário obtido pela primeira fase obtêm-se os resultados que se apresentam na Figura 15. Importa recordar que esta análise parte das folhas de tarefas que contêm os SKUs *fast movers* e que foram obtidas pela simulação acima apresentada. Essas tarefas serão então alvo de uma análise semelhante à apresentada em 4.4.2 pretendendo-se aqui separar os SKUs *fast movers* que originariam um *picking* improdutivo, ou seja os SKUs que foram encomendados com quantidades iguais ou inferiores a 4 ou 5 caixas, dos SKUs que foram encomendados a 6 ou mais caixas. Note-se que, dadas as conclusões dos resultados obtidos em 4.4.2, aqui serão considerados apenas os cenários em que o limite de caixas é igual a 4 ou 5 caixas. Assim, os SKUs cuja encomenda seja igual ou inferior ao limite estabelecido para a iteração em causa (as referidas 4 ou 5 caixas) serão efetuados em *batch*, enquanto os restantes se mantêm em *picking* discreto. Como a análise da possibilidade de *batch* ao SKU não recai aqui sobre o universo das encomendas mas apenas sobre as tarefas de SKUs considerados *fast movers*, o total de caixas apresentado no eixo horizontal do gráfico abaixo não é igual ao apresentado na Figura 12.

Desta forma refina-se a solução apresentada na Figura 14 pela agregação das encomendas dos SKUs que, embora considerados *fast movers*, originariam o *picking* de poucas caixas por cada visita à localização de *picking*.

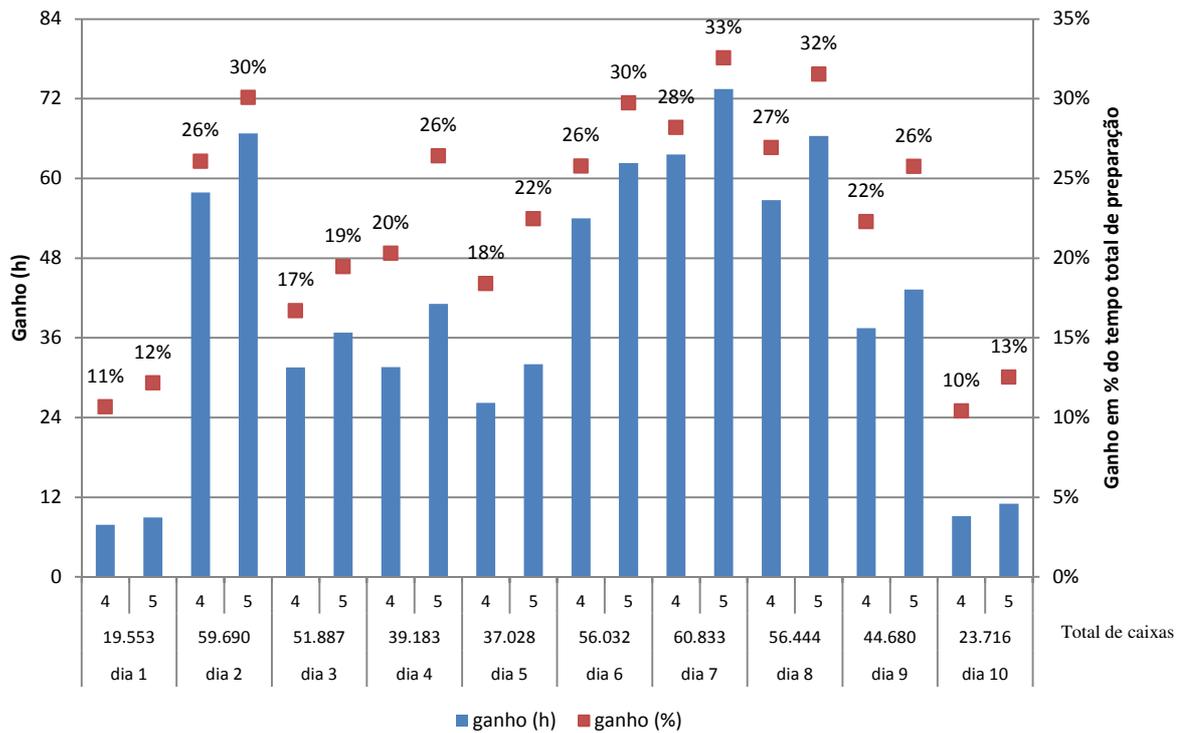


Figura 15 – Melhoria na produtividade da operação de *picking* que se obtém aplicando o *batch picking* ao SKU ao grupo de tarefas de SKUs *fast movers*

A análise da Figura 15 permite concluir que o refinamento da solução obtida pela primeira fase da presente análise traz ganhos de produtividade significativos. Em média ganhar-se-ia 22% com a passagem para *batch picking* dos SKUs *fast movers* mas que foram encomendados até 4 ou 5 caixas por cada loja.

Todavia, uma análise aos ganhos totais que se obteriam após implementação das duas fases (e cujo cálculo pode ser consultado na Tabela 7 presente no ANEXO E) revela que esses ganhos são equivalentes aos que se obteriam pela passagem para *batch picking* de todas as combinações “SKU-loja” cuja encomenda foi até 5 caixas, ganhos esses que foram apresentados em 4.4.2 (consultar a Tabela 8 presente no ANEXO E). O facto de os ganhos serem, em média, semelhantes corrobora a justificação apresentada para os resultados insuficientes gerados pela abordagem de *batch* à loja (ver 4.4.1). Isto porque, como alguns SKUs *slow movers* são esporadicamente encomendados em quantidades superiores a 5 caixas, a inclusão dessas combinações “SKU-loja” - que não gerariam um *picking* ineficiente - num circuito de *batch picking*, leva a que a capacidade do porta-combis seja atingida demasiado cedo. Desse modo incorre-se num aumento da distância percorrida em vazio. Uma forma de ultrapassar o problema seria a convivência das duas modalidades de *picking* nas subzonas de *slow movers* – *picking* discreto para as encomendas de quantidades superiores a 5 caixas e *batch picking* para as encomendas abaixo desse valor -, alternativa que não pôde ser abordada no presente projeto. Outra forma de potenciar a abordagem exposta nesta secção passaria pela diminuição da frequência de encomenda dos artigos *slows* para um ou dois dias por semana, conforme se fez referência anteriormente (3.5). Note-se que neste cenário em que a modalidade de *batch picking* é possível, o ganho potencial pela implementação dessa restrição ao nível da frequência de encomenda seria ainda mais significativo.

Em conclusão, a implementação do *batch picking* num *layout* previamente organizado em *slows* e *fast movers* por unidade de negócio, levaria a ganhos de produtividade médios na ordem das 100 horas. Estes ganhos traduzem-se numa redução prevista da força de trabalho em 13 operadores, o que representa uma poupança de 156.000€. Por seu lado, tal como se referiu em 4.4.2, a definição de qual o limite de caixas a considerar para a passagem de SKUs para o circuito de *batch picking* terá de ter em linha de conta os custos da operação de *sorting*, bem como o estudo da necessidade ou não de reforçar os operadores de máquinas, temas que não são alvo deste trabalho. Não obstante, e de forma a possibilitar esses estudos, apresentam-se na Figura 32 do ANEXO E o valor do total de caixas que teriam que passar pela operação de *sorting*, bem como o incremento no número de paletes completas a baixar de *stock* que a implementação desta medida acarretaria.

6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões que o presente projeto permitiu alcançar, complementando-se essa análise com a indicação de novos estudos que seria pertinente realizar na sequência do mesmo.

Embora exista um amplo trabalho de investigação publicado acerca do tema de *order picking*, a maioria dos resultados que esses estudos apresentam são obtidos no pressuposto de entrepostos de média dimensão e com um macro *layout* regular. Assim, o estudo da operação de *picking* num entreposto de grande dimensão, com uma elevada gama de artigos a preparar, e com um macro *layout* irregular acrescentará valor à literatura e é também um validador das considerações apresentadas nos trabalhos referidos.

Por outro lado, a literatura carece de uma apresentação dos ganhos de produtividade que se obtêm (1) da mudança nas políticas de atribuição de localização de *picking* aos SKUs no entreposto, (2) do facto de se poder efetuar o *batch* de lojas ou SKUs aquando da atividade de *picking*, ou ainda (3) do impacto da implementação simultânea das duas mudanças. Este projeto contribui assim para o enriquecimento da literatura subordinada ao tema de *order picking* ao apresentar a comparação da produtividade da operação de *picking* que se obtêm pela implementação de cada um dos cenários supracitados, com a preparação de mercadorias em *picking* discreto (ou seja, em que cada circuito de *picking* está afeto a uma e uma só loja) num *layout store-friendly* (ou seja, um *layout* que tenta aproximar as localizações de *picking* no entreposto com a disposição dos artigos nas prateleiras das lojas). De seguida apresentam-se então os resultados e conclusões alcançados com o projeto.

A opção de reorganização que permite melhorias de produtividade mais significativas obtém-se quando se consideram *fast movers* todos os SKUs que contribuem para 90%, inclusive, do total de caixas expedidas da unidade de negócio, sendo os restantes considerados *slow movers*, e quando as classes se organizam por corredores de *picking* a elas dedicados (e não com os SKUs *fast movers* posicionados nas localizações mais à frente de cada corredor e os *slow movers* atrás). Com a **reorganização dos SKUs** no entreposto pela definição das classes de rotação *fast mover* e *slow mover* dentro de cada unidade de negócio, os resultados obtidos evidenciam uma redução média de 6% no tempo total de preparação diário, fruto de uma poupança média de 16 horas que representa uma redução estimada de 24.000€ nos custos com pessoal.

Como a implementação deste *layout* implicaria uma concentração em poucos corredores dos SKUs que serão encomendados com maior probabilidade, é esperado que o nível de congestionamento desses corredores aumente. Não obstante ter sido efetuado um estudo preliminar para o nível de congestionamento originado pelas operações de reaprovisionamento, esse estudo deveria ser aprofundado com detalhe ao turno, devendo também ser alargado ao congestionamento gerado quer pela operação de *picking*, quer pela operação de baixar paletes completas.

Por sua vez, a **introdução da modalidade de *batch picking*** traria uma diminuição no tempo total de preparação diário na ordem das 110 horas, o que significa uma redução monetária direta de aproximadamente 168.000€. Note-se que estes ganhos se obtêm com a modalidade de agregação de SKUs, ou seja, através de uma identificação dinâmica e diária de SKUs cuja encomenda foi igual ou inferior a 4 caixas. A opção de *batch* de lojas revelou originar ganhos insuficientes para justificar a necessária operação de *sorting a posteriori*. No seguimento deste projeto e como forma de conseguir inferir qual o melhor valor limite para o número de caixas a considerar aquando da seleção do SKU para *batch*, seria interessante dimensionar e custear a operação de *sorting*. Seria também pertinente estudar se os operadores de máquinas hoje contratados são em número suficiente para responder ao pico de operações de baixar paletes completas que a implementação do *batch picking* ao SKU irá trazer. Por último, um estudo de sensibilidade ao parâmetro do tempo de *picking* por caixa bem como ao tempo perdido em cada paragem / arranque (ambos usados na simulação de tarefas) acrescentaria valor à análise conferindo-lhe uma maior robustez.

Por último, a análise à **sinergia das duas análises** revela um ganho médio de 100 horas representando 156.000€ de poupança em custos com pessoal. Este valor obtém-se no pressuposto de efetuar o *picking* agregado de todos os SKUs *slow movers* e ainda de agregar o *picking* dos SKUs que embora sejam *fast movers* foram encomendados em quantidades inferiores a 5 caixas no dia em causa.

Importa também referir que devido ao tempo requerido para simular todos os cenários em estudo, não foi possível alargar a amostra de dias a simular, o que enriqueceria as conclusões retiradas do estudo.

Na sequência deste projeto seria também interessante mensurar o impacto na produtividade da operação de *picking* que adviria de se impor às lojas que as encomendas de SKUs classificados como *slow movers* fossem concentradas num ou 2 dias ao invés de estarem dispersas por toda a semana de preparação como hoje sucede.

Em conclusão, fruto da diversidade de cenários testados e da apresentação da mensuração das melhorias de produtividade que advêm da possibilidade de se prepararem encomendas em *batch picking* e de se reorganizarem os SKUs no centro de distribuição de acordo com a sua rotação, este projeto contribui decisivamente para o conhecimento nestas áreas específicas, bem como para o enriquecimento da literatura acerca de *order picking*, sendo claro o impacto que trará para a empresa.

Referências

- APED, A. P. d. E. d. D. (2011). Ranking APED 2010 (Vol. 60, pp. 15).
- Ashayeri, J., & Gelders, L. F. (1985). Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research*, 21(3), 285-294. doi: 10.1016/0377-2217(85)90149-3
- Chan, F. T. S., & Chan, H. K. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert systems with applications*, 38(3), 2686-2700.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501. doi: 10.1016/j.ejor.2006.07.009
- De Koster, R., Van der Poort, E. S., & Wolters, M. (1999). Efficient order batching methods in warehouses. *International journal of production research*, 37(7), 1479-1504. doi: 10.1080/002075499191094
- Gademann, N., & van de Velde, S. (2005). Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE transactions*, 37(1), 63-75.
- Gibson, D. R., & Sharp, G. P. (1992). Order batching procedures. *European Journal of Operational Research*, 58(1), 57-67. doi: 10.1016/0377-2217(92)90235-2
- Guedes, A. P. (2010). Logística e Gestão Logística. In M. Robalo (Ed.), *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (Vol. 1, pp. 21-63). Lisboa: Edições Sílabo.
- Hsu, C.-M., Chen, K.-Y., & Chen, M.-C. (2005). Batching orders in warehouses by minimizing travel distance with genetic algorithms. *Computers in industry*, 56(2), 169-178.
- Kofler, M., Beham, A., Wagner, S., Affenzeller, M., & Achleitner, W. (2011, 25-27 Aug. 2011). *Re-warehousing vs. healing: Strategies for warehouse storage location assignment*. Paper presented at the Logistics and Industrial Informatics (LINDI), 2011 3rd IEEE International Symposium on.
- Kulak, O., Sahin, Y., & Taner, M. E. (2011). Joint order batching and picker routing in single and multiple-cross-aisle warehouses using cluster-based tabu search algorithms. 1-29. doi: 10.1007/s10696-011-9101-8
- Lianhong, D., & Peng, S. (2008, 12-15 Oct. 2008). *Efficient order picking based on community detection*. Paper presented at the Service Operations and Logistics, and Informatics, 2008. IEEE/SOLI 2008. IEEE International Conference on.
- Ling feng, H. (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *The international journal of advanced manufacturing technology*, 28(5), 626-637.
- Liu, C.-M. (1999). Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers & operations research*, 26(10), 989-1002.
- Malmberg, C. J. (1995). Optimization of cube-per-order index warehouse layouts with zoning constraints. *International journal of production research*, 33(2), 465-482.
- Malmberg, C. J. (1996). Storage assignment policy tradeoffs. *International journal of production research*, 34(2), 363-378.

- Mu Chen, C., & Hsiao Pin, W. (2005). An association-based clustering approach to order batching considering customer demand patterns. *Omega : The International Journal of Management Science*, 33(4), 333-343.
- Petersen, C., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International journal of production economics*, 92(1), 11-19.
- Petersen, C. G. (2002). Considerations in order picking zone configuration. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(7), 793-805. doi: 10.1108/01443570210433553
- Ramos, T. (2010). Gestão da Armazenagem e dos Stocks. In M. Robalo (Ed.), *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (Vol. 6, pp. 227-322). Lisboa: Edições Sílabo.
- René de Koster, K. J. R., Menno Mekern and Dieuwke Oudijk. (1998, 27/05/1999). Erasmus-Logistica warehouse design Retrieved 21/03/2012, 2012, from <http://www.fbk.eur.nl/OZ/LOGISTICA/start.html>
- Roodbergen, K. J. (2007, 11/2007). Interactive warehouse Retrieved 04/04/2012, 2012, from <http://www.roodbergen.com/warehouse/>
- SONAE. (2012). Vendas preliminares de retalho 2011 (pp. 8).
- Stender, J. (1994, 15 Mar 1994). *Introduction to genetic algorithms*. Paper presented at the Applications of Genetic Algorithms, IEE Colloquium on.
- Voss, M. D., Calantone, R. J., & Keller, S. B. (2005). Internal service quality: Determinants of distribution center performance. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(3), 161-176. doi: 10.1108/09600030510594558

ANEXO A

Simulação de tarefas de *picking*

Introdução

Far-se-á aqui uma apresentação do algoritmo de simulação de tarefas de *picking* que se desenvolveu no âmbito do projeto e que foi uma ferramenta fulcral para se conseguir atingir o objetivo de testar diferentes cenários para se quantificar os ganhos de produtividade na operação de *picking*.

Desenvolveu-se uma ferramenta que simula os circuitos da forma mais próxima possível da realidade em entreposto. Todavia, faz-se a ressalva que comparando sempre os tempos de *picking* obtidos por este algoritmo, e nunca comparando os obtidos pelo algoritmo e os que estão disponíveis no histórico (sejam eles tempos reais ou tempos *standard* calculados pelo sistema de informação que gere a operação em entreposto) se estará a comparar com base nos mesmos pressupostos de análise, não se enviesando assim os resultados.

De seguida começam-se por apresentar esses pressupostos, passando-se depois para uma breve explicação do cálculo dos tempos e conclui-se o capítulo referindo os outputs que a ferramenta disponibiliza.

Algoritmo de simulação de percursos

Da análise da operação de *picking* no centro de distribuição e dos relatórios de cálculo de tempos de *picking standard* efetuados pelo sistema de informação estabeleceram-se os pressupostos que se apresentam de seguida:

- A atribuição de tarefas dá-se no gabinete administrativo, que é o ponto médio na dimensão x do entreposto e cuja coordenada é 108 m, sendo a sua coordenada y desprezada para efeitos de simulação;
- A entrada nos corredores efetua-se sempre por um corredor de entrada, esteja ele afeto ou não à zona de *picking* em que a tarefa se enquadra;
- A saída nos corredores efetua-se sempre por um corredor de saída, esteja ele afeto ou não à zona de *picking* em que a tarefa se enquadra;
- O sentido do deslocamento é da direita para a esquerda;
- As ruturas – casos em que na localização de *picking* não havia a quantidade pedida pelo sistema – são detetadas pela repetição de um código SKU numa dada tarefa. A análise desta particularidade passa pela colocação das linhas de tarefa que tenham SKUs repetidos no final da mesma, tal como acontece na realidade em que o sistema de *voice* indica ao *picker* para no fim da tarefa se deslocar às localizações onde houve rutura e que entretanto já foram reabastecidas pela operação de reaprovisionamento;
- Terminada a tarefa, todos os *pickers* se deslocam para o gabinete de receção, desprezando-se o cais de expedição a que a loja da tarefa está alocada;

- A unidade de cálculo do tempo da tarefa é o minuto;
- O tempo de *picking* para uma caixa é de 10 segundos;
- Cada paragem/arranque acresce 3 segundos ao tempo total da tarefa;
- O operador só move o porta-combis se a localização do próximo artigo a preparar não estiver no raio de 3 localizações em relação à localização onde parou o porta-combis (contando localizações de ambos os lados do corredor);
- O cálculo do tempo de deslocamento obedece a 2 velocidades: (1) a velocidade de deslocamento com carga $v = 55,6 \left(\frac{m}{min}\right)$; (2) a velocidade com carga ao virar num corredor $v = 27,0 \left(\frac{m}{min}\right)$;

O cálculo das distâncias percorridas e consequente tempo de deslocamento obedece ainda às seguintes verificações:

1. Verificar se o corredor da primeira localização de *picking* da tarefa é de entrada ou não. Se sim, inicia-se o cálculo da distância calculando a distância entre a coordenada x do corredor e a coordenada x de atribuição de tarefa somando-se depois a distância entre o y da primeira localização e o y de entrada do corredor. Se não, o *picker* terá de percorrer todo o corredor imediatamente à direita daquele onde a primeira localização de *picking* se encontra, sendo a distância calculada de forma análoga à anteriormente descrita;
2. Verificar se a próxima localização se encontra no mesmo código de corredor. Por exemplo se se está a preparar uma tarefa no corredor de código “LE”, há que verificar se a próxima localização está ainda no corredor “LE” ou se passou para o “LF”.
3. Após a verificação descrita em (2), se o corredor mudou, há que verificar se a próxima localização se encontra antes do corredor central ou nos corredores das *racks* colocadas após o mesmo. Esta decisão é ilustrada pela Figura 16.

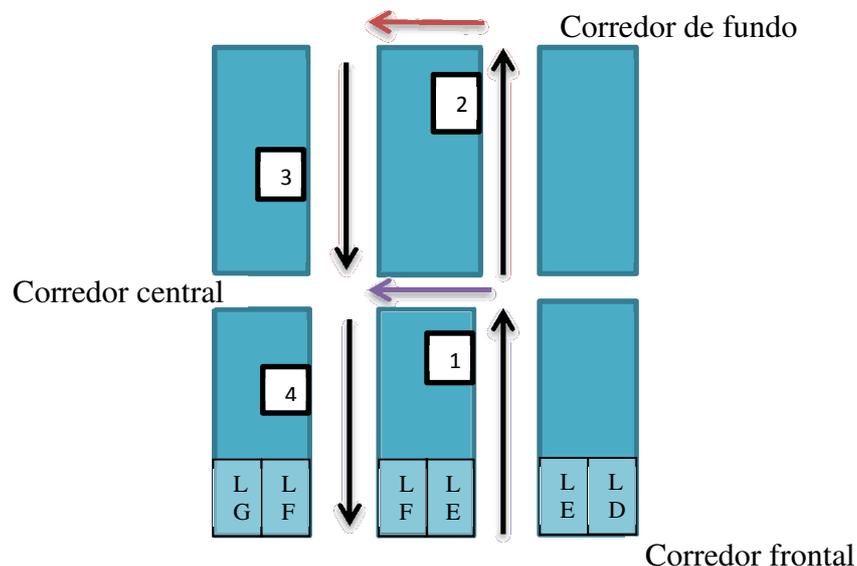


Figura 16 – Esquema explicativo do cálculo da mudança de corredor

- Se a localização atual for a representada pelo número 1 então, se a próxima localização for a 4, a mudança de corredor far-se-á pelo corredor central, se for a 3 ter-se-á que percorrer todo o corredor LE e mudar para o LF no corredor de fundo;
 - Se a localização atual for a representada pelo número 2 então ter-se-á sempre que efetuar a mudança de corredor pelo corredor de fundo, independentemente de a próxima ser a 3 ou a 4.
4. Após a verificação descrita em (3) há que calcular a distância em x e imputar-lhe a velocidade de mudança de corredor;
 5. No fim da tarefa se o corredor onde o *picker* se encontra não é de saída terá que se acrescentar a distância de sair pelo corredor de saída que se encontra à sua esquerda.

Esta ferramenta desenvolvida em VBA permitiu então a simulação de tarefas de *picking*, solicitando ao utilizador que selecione a folha de EXCEL com a(s) tarefa(s) cujo tempo pretende calcular, bem como a folha que contém as localizações dos SKUs que se pretendem simular, garantindo-se assim a flexibilidade do programa. Como *output* a ferramenta imprime uma folha como a apresentada na Figura 17 em que se resume o cálculo apresentando-se o código da tarefa simulada, o tempo de *picking*, o tempo de paragem/arranque e o tempo total da tarefa, bem como a zona em que a mesma decorreu. Para além disso neste *output* constam ainda o nome da folha localizações usada na simulação, bem como a data e hora de início e fim da simulação. Este detalhe é relevante pois permite saber o tempo requerido para se obter os resultados que se apresentam neste documento. De referir ainda a possibilidade de se solicitar à ferramenta a impressão dos detalhes do cálculo de cada tarefa como complemento ao cálculo sumário acima descrito, *output* esse que se apresenta na Figura 18.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Assg_id	Distancia	Tempo	OrdType		Circuito	Folha Localiz usada		Data simulação	Hora simulação		tempoParagemACUM	tempoPicking	
1	27977923	197,1	00:46:34	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:21 PM		00:01:48	00:40:50	
2	27977924	193,1	00:36:46	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:21 PM		00:00:30	00:32:30	
3	27977925	188,3	00:37:34	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:21 PM		00:00:24	00:32:19	
4	27977926	102,9	00:47:30	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:21 PM		00:00:30	00:44:29	
5	27977927	276,95	00:36:29	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:21 PM		00:01:42	00:29:00	
6	27977928	540,5	01:00:46	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:21 PM		00:04:12	00:44:39	
7														
8														
9														
10	27977792	195,15	00:47:00	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:01:36	00:41:29	
11	27977793	193,1	00:38:27	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:00:30	00:34:10	
12	27977794	188,3	00:34:44	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:00:24	00:29:30	
13	27977795	188,3	00:58:23	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:00:24	00:53:09	
14	27977796	286,05	00:49:43	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:01:36	00:42:09	
15	27977797	233,1	00:49:44	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:02:12	00:42:59	
16	27977798	376,9	00:36:29	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:37 PM		00:03:06	00:26:00	
17														
18														
19	27977789	197,1	00:47:52	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:54 PM		00:01:36	00:42:19	
20	27977790	189,5	00:43:19	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:54 PM		00:00:36	00:39:00	
21	27977791	185,45	00:33:21	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:55 PM		00:00:24	00:28:10	
22	27977792	186,5	00:55:39	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:55 PM		00:00:12	00:50:39	
23	27977793	152,1	00:48:07	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:55 PM		00:00:53	00:43:39	
24	27977794	174,1	00:43:38	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:55 PM		00:01:54	00:38:29	
25	27977795	546,2	01:03:37	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:27:55 PM		00:04:18	00:47:19	
26														
27														
28	27977789	197,1	00:48:56	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:12 PM		00:01:30	00:43:29	
29	27977790	188,45	00:44:08	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:12 PM		00:00:36	00:39:50	
30	27977791	188,3	00:33:28	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:13 PM		00:00:18	00:28:19	
31	27977792	188,3	00:42:14	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:13 PM		00:00:24	00:37:00	
32	27977793	102,9	00:50:40	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:13 PM		00:00:30	00:47:39	
33	27977794	285,15	00:42:37	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:13 PM		00:01:42	00:34:59	
34	27977795	368,1	00:54:34	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:13 PM		00:02:18	00:45:19	
35	27977796	376,9	00:34:23	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:13 PM		00:02:42	00:24:20	
36														
37														
38	27977789	196,05	00:48:18	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:31 PM		00:01:24	00:43:00	
39	27977790	190,25	00:46:00	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:31 PM		00:00:36	00:41:39	
40	27977791	188,3	00:29:08	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:31 PM		00:00:18	00:24:00	
41	27977792	187,4	00:50:43	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:32 PM		00:00:24	00:45:30	
42	27977793	152,1	00:53:05	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:32 PM		00:00:42	00:48:49	
43	27977794	176,05	00:37:14	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:32 PM		00:01:48	00:32:10	
44	27977795	363,2	01:04:17	BEBI		actual	PBS_104		27-05-2012	10:28:32 PM		00:02:48	00:52:59	

Figura 17 – Exemplo do output da ferramenta de simulação de tarefas

Geração e seleção de percursos de mercadorias em entrepostos de grande dimensão

	A	B	C	D	E	F	G	H
	corredor	código da localização	y_coord	x_coord	y_entrada / saída corredor	distância	distância acumulada	tempo de deslocamento acumulado
1								
2	ponto atribuição tarefa			108				
3	LR			96,4	89,35	11,6		
4		LR09AA	89,35				11,6	00:00:25
5		LR11AC	85,6			3,75	15,35	00:00:29
6		LR13AE	81,85			3,75	19,1	00:00:33
7		LR15AE	79					00:00:33
8		LR16AA	80,8					00:00:33
9		LR17AC	77,05			4,8	23,9	00:00:39
10		LR18AE	76,15					00:00:39
11		LR20AC	74,2					00:00:39
12		LR20AE	73,3			3,75	27,65	00:00:43
13		LR21AC	71,35					00:00:43
49		LR61AE	13,35			3,75	87,6	00:01:47
50		LR62AE	13,35					00:01:47
51		LR68AA	6,6			6,75	94,35	00:01:55
52		LR68AE	4,8					00:01:55
53	LR				1	6,75	94,35	00:01:55
54	LS			105	1	8,6	102,95	00:02:14
55		LS03AE	6,6			5,6	108,55	00:02:20
56		LS04AC	5,7					00:02:20
57		LS05AA	7,65					00:02:20
58		LS05AC	8,55					00:02:20
59		LS05AE	9,45					00:02:20
60		LS06AA	7,65					00:02:20
61		LS06AE	9,45					00:02:20
62		LS07AE	12,3			5,7	114,25	00:02:26
63		LS08AE	12,3					00:02:26
77		LS21AA	30,45					00:02:44
78		LS21AC	31,35					00:02:44
79		LS21AE	32,25					00:02:44
80	LS				89,35	3,75	131,35	00:02:44
81	LR			96	89,35	9,2	140,55	00:03:05
82		LR49AE	30,45			58,9	199,45	00:04:08
83	LR					8,8	208,25	00:04:28
84	LR	saída				29,45	237,7	00:05:00
85	LS	saída				88,35	326,05	00:06:35
86								

Figura 18 – Exemplo do output com detalhe do cálculo de simulação de uma tarefa

ANEXO B

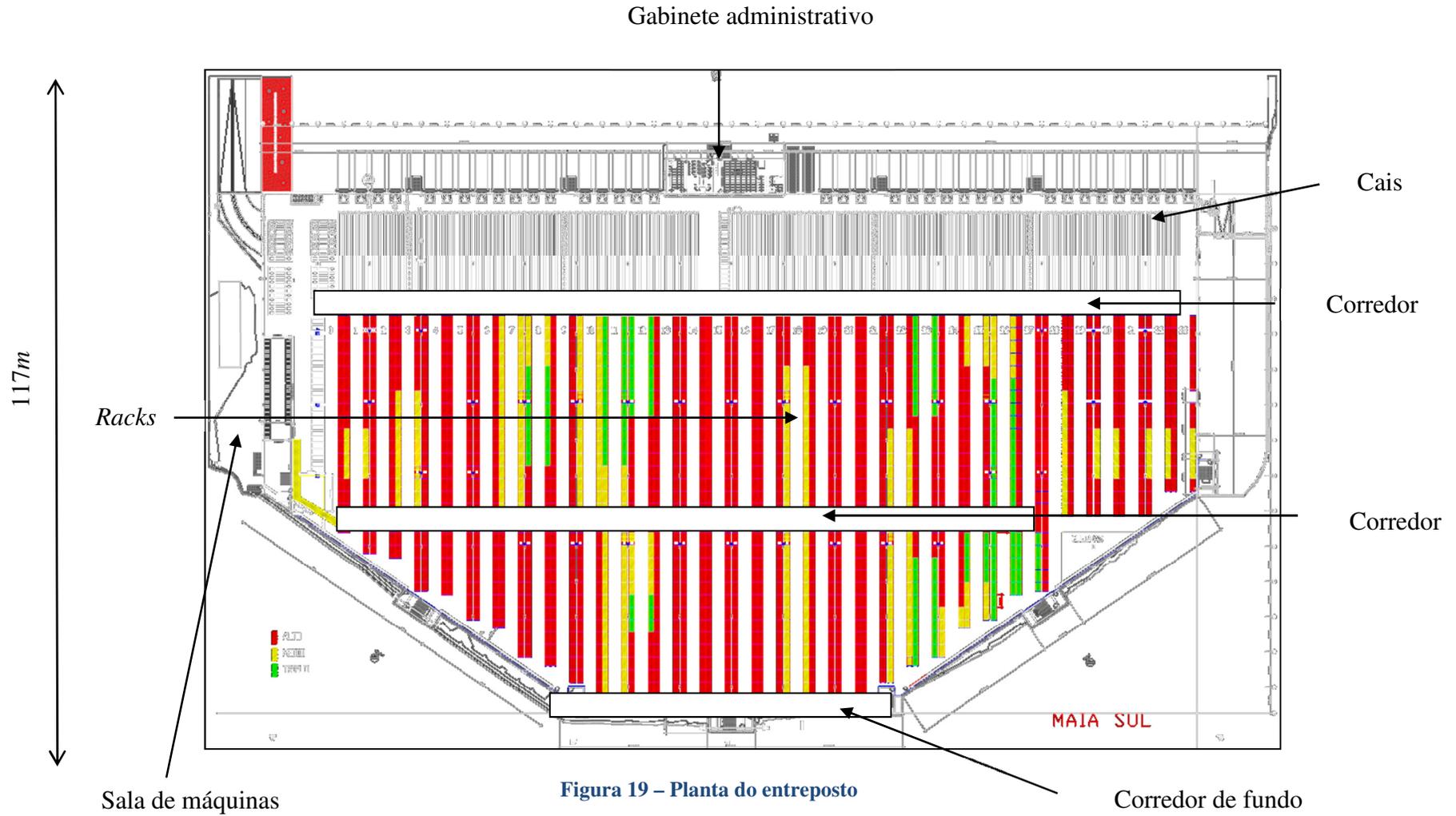


Figura 19 – Planta do entreposto

Dados de organização do entreposto

Tabela 5 – Relação entre as 4 zonas de *picking*, unidades de negócio e categorias que as compõem

Designação da Zona	Unidades de negócio dos SKUs	Circuito	Categoria dos SKUs
DPH	DPH	1	Produtos para a roupa Produtos para a louça Produtos para limpeza da casa
		2	Higiene e proteção de bebé Higiene corporal Higiene Oral
		3	Produtos para homem Produtos para cabelo Básicos de saúde
		4	Produtos de papel
MERC	Mercearia, Lacticínios, Frutos Secos	1	Gorduras líquidas Temperos Conservas Refeições Ingredientes básicos Sobremesas
		2	Cereais Doçaria Bolachas Alimentação infantil Bebidas Quentes Mel e doces
		3	Aperitivos Dietéticos Pão e afins Frutos secos
		4	Leite

Geração e seleção de percursos de mercadorias em entrepostos de grande dimensão

BEBI	Bebidas	1	Sumos Refrigerantes Cervejas Águas Vinhos de qualidade Vinhos correntes Vinhos generosos e espumantes Bebidas espirituosas
PETC	Pets & Plants	1	<i>Pet care</i>

ANEXO C

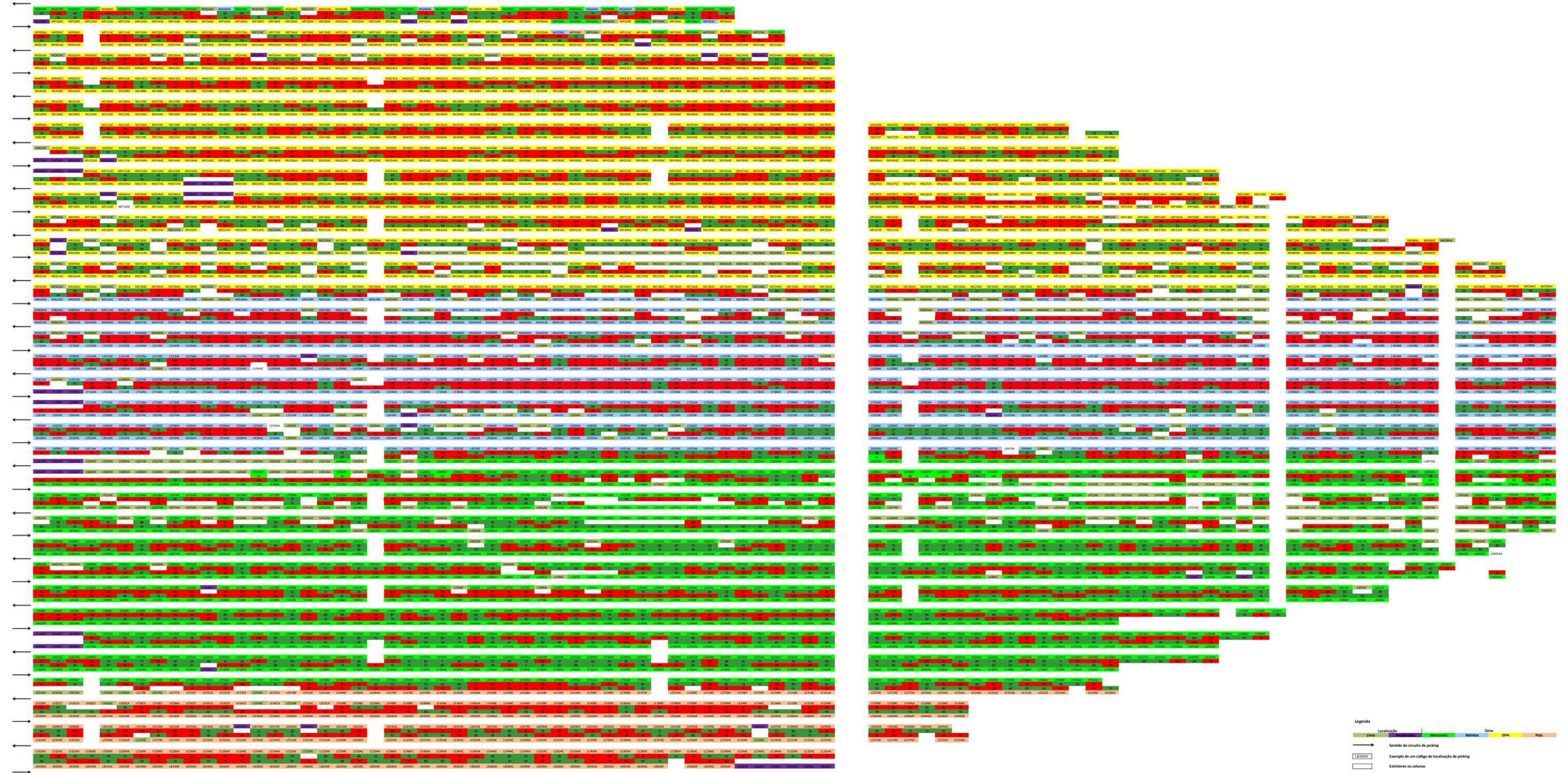
Informação relativa ao capítulo 3.

- Dados de rotação dos artigos

Tabela 6 – Percentagem de SKUs afetos às classes *slow* e *fast movers* com o patamar limite de rotação agregada por unidade de negócio igual a 80%

UN	Número de SKUs	Patamar = 80%	
		<i>Fast</i>	<i>Slows</i>
DPH	2020	20%	80%
Mercearia	1766	25%	75%
Bebidas	1373	15%	85%
PETC	434	22%	78%
Padaria	61	26%	74%
Leite	21	24%	76%
Cafetaria	13	54%	46%
Frutos Secos	9	44%	56%
Consumíveis	2	25%	75%

Distribuição dos SKUs no centro de distribuição (com informação da sua rotação agregada)



Legenda

- Localização
- Linha
- Coluna
- Zona
- OPN
- Pis

Sentido do circuito de picking

Exemplo de um código de localização de picking

Extintores ou colunas

- Informação relativa ao estudo das opções de *layout*

- a) Com classes organizadas entre corredores (opção de patamar = 90%, 95% ou 97%)

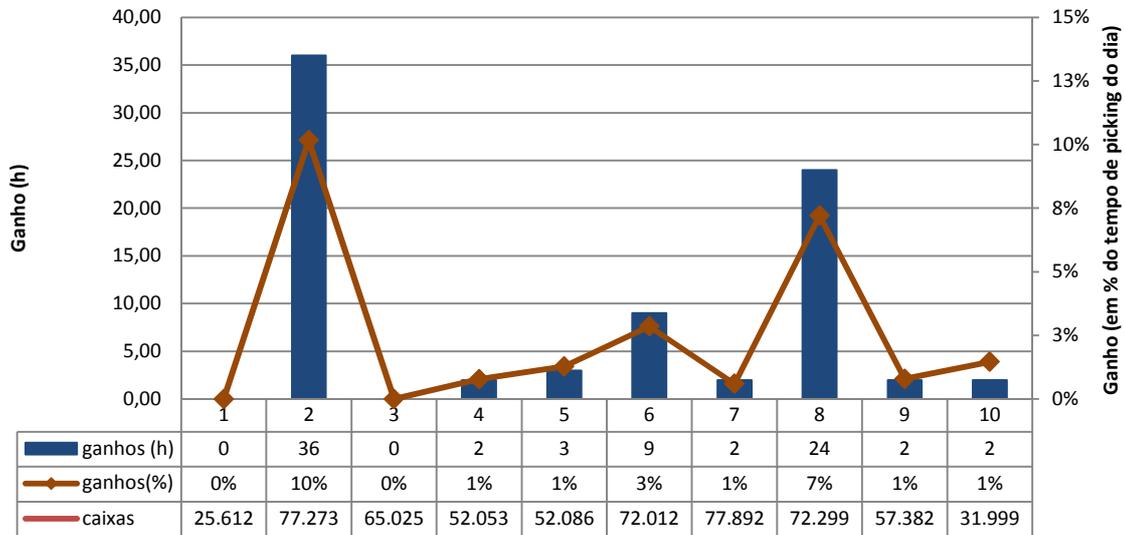


Figura 20 – Valores de melhoria na produtividade de *picking* pela reorganização do *layout* com patamar a 90% e classes a conviverem no mesmo corredor

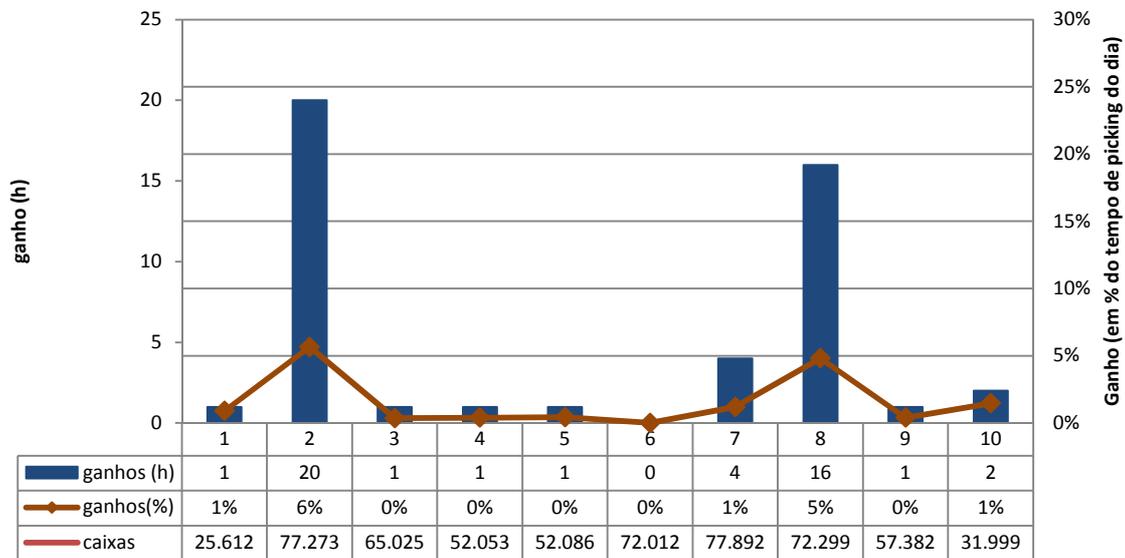


Figura 21 – Valores de melhoria na produtividade de *picking* pela reorganização do *layout* com patamar a 95% e classes a conviverem no mesmo corredor

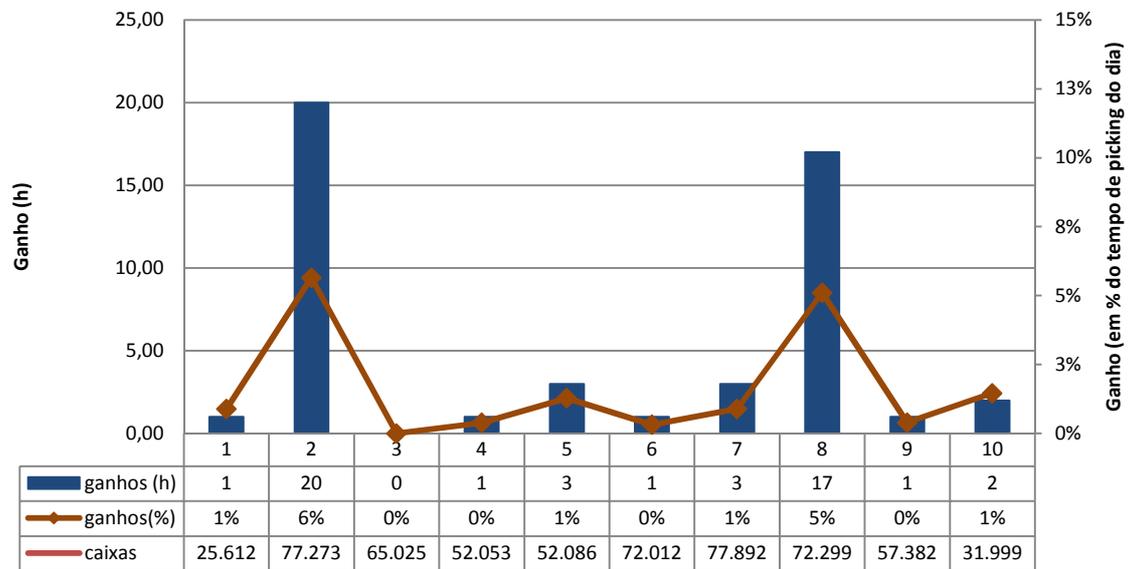


Figura 22 – Valores de melhoria na produtividade de *picking* pela reorganização do *layout* com patamar a 97% e classes a conviverem no mesmo corredor

b) Com classes organizadas entre corredores (opção de patamar = 95% ou 97%)

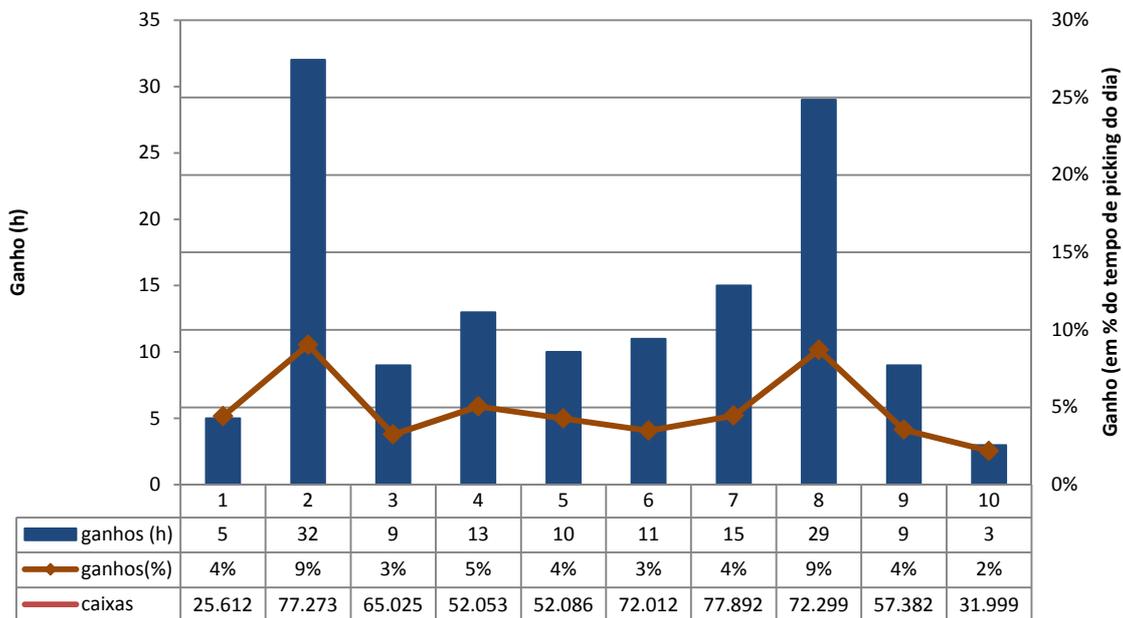


Figura 23 – Valores de melhoria na produtividade de *picking* pela reorganização do *layout* com patamar a 95% e corredores dedicados a cada uma das classes

Geração e seleção de percursos de mercadorias em entrepostos de grande dimensão

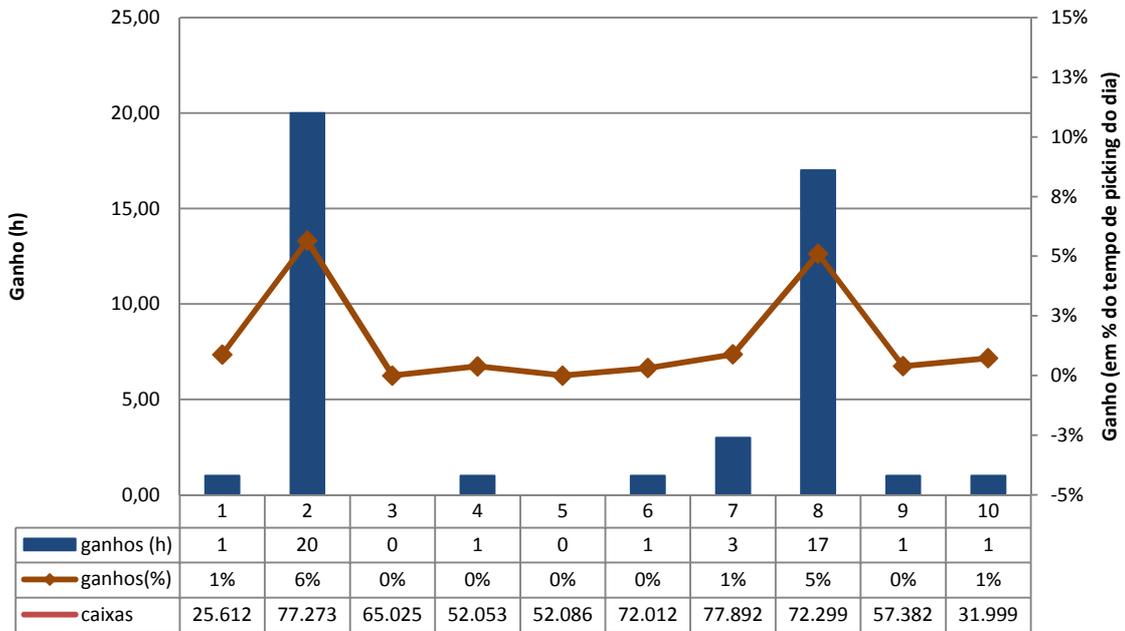


Figura 24 – Valores de melhoria na produtividade de *picking* pela reorganização do *layout* com patamar a 97% e corredores dedicados a cada uma das classes

- Informação relativa ao estudo preliminar do nível de reaprovisionamentos por corredor

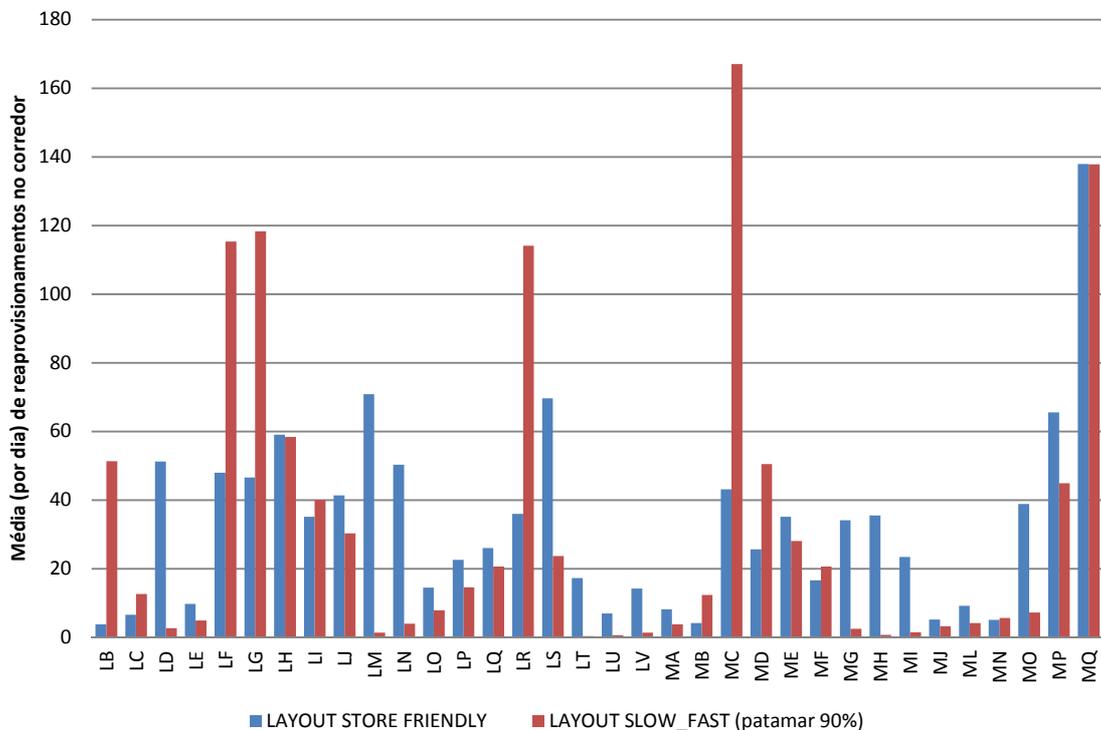


Figura 25 – Comparação da média de reaprovisionamentos por dia em cada corredor quando se varia a organização do *layout*

- Informação relativa ao estudo das componentes que contribuem para a diminuição do tempo total de *picking*.

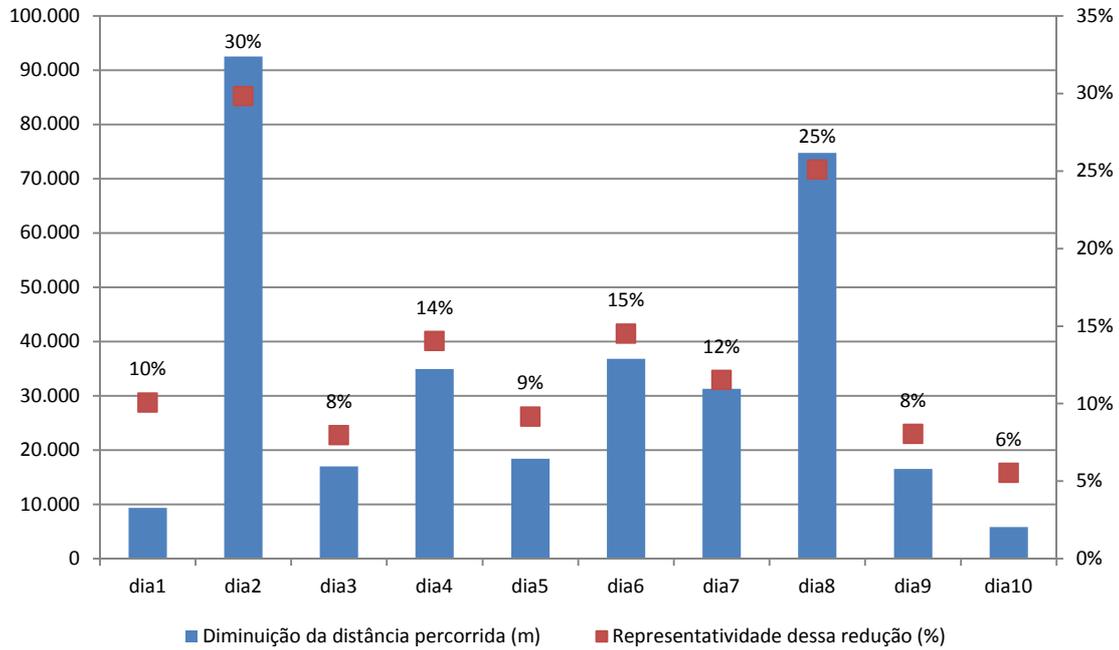


Figura 26 – Diminuição da distância percorrida em cada dia de preparação conseguida pela implementação do novo *layout*

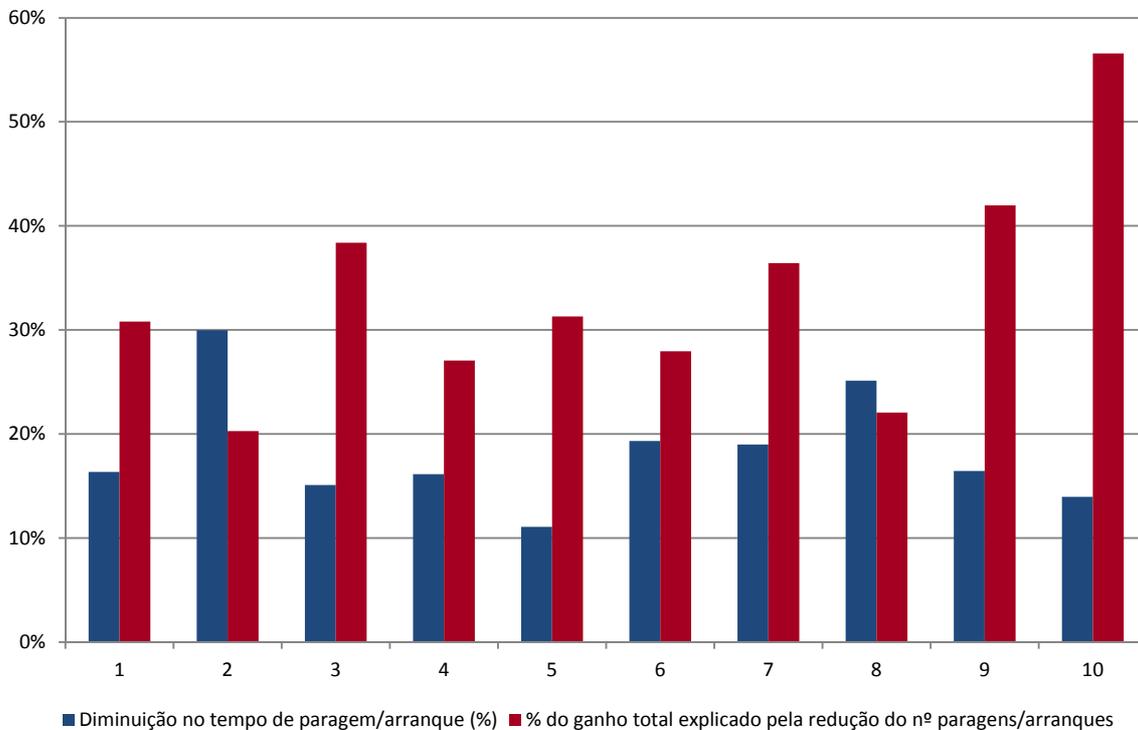


Figura 27 – Diminuição do tempo de paragem/arranque em cada dia de preparação conseguida com a implementação do novo *layout* e seu contributo para a diminuição do tempo total

ANEXO D

Informação relativa ao capítulo 4.

- Matriz de encomendas

	Zona	SKU	Loja 1	Loja 18	Loja 19	Loja 29	Loja 30	Loja 77	Loja 78	Loja 80	Loja 81	Loja 82	Total encomenda	Legenda, insígnias
1	MERC	3617341	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Conteúdo
2	MERC	4344911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	Conteúdo bom dia
3	MERC	4675531	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	Conteúdo modelo
4	BEBI	4736515	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	Pet & plants
5	BEBI	4788000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Outras insígnias
6	DPH	4867599	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	31	Entrepósito Açores
7	DPH	4874614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
15	PETC	2003840	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
3100	35	4308546	0	0	0	0	10	0	1	3	0	0	217	
3101	35	2934895	0	42	0	0	7	1	11	5	0	0	420	
Total caixas Enc.			2.175	603	286	202	906	934	34	33	17	920		
Total Nº Enc.			1038	360	185	30	491	580	20	23	11	72		
Máximo de caixas Enc.			217	60	25	60	70	15	11	5	4	51		
% da encomenda a:														
Uma caixa			33%	49%	53%	7%	40%	46%	47%	58%	53%	0%		
<=5 caixas			35%	28%	24%	16%	34%	34%	21%	42%	47%	7%		
>5 caixas			33%	23%	22%	77%	26%	19%	32%	0%	0%	92%		
Rácio de encomenda:														
Uma caixa			0,22	0,40	0,44	0,03	0,29	0,35	0,38	0,48	0,43	0,00		
<=5 caixas			0,10	0,05	0,04	0,05	0,08	0,07	0,03	0,07	0,09	0,02		
>5 caixas			0,01	0,00	0,01	0,18	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,64		

Figura 28 – Exemplo de matriz de encomendas diária (SKU e lojas)

- Melhorias de produtividade por *batch* à loja

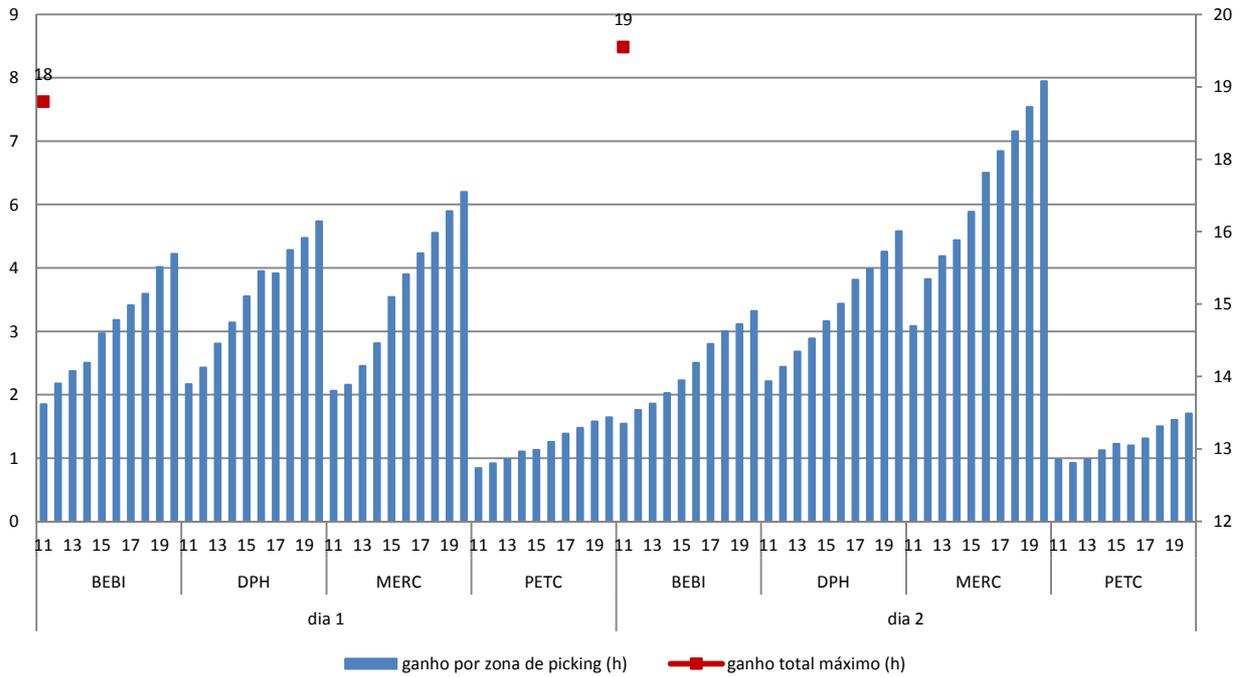


Figura 29 – Melhoria de produtividade pela implementação do *batch picking* à loja (todas as iterações com número de lojas a variar entre 11 e 20 para 2 dias simulados)

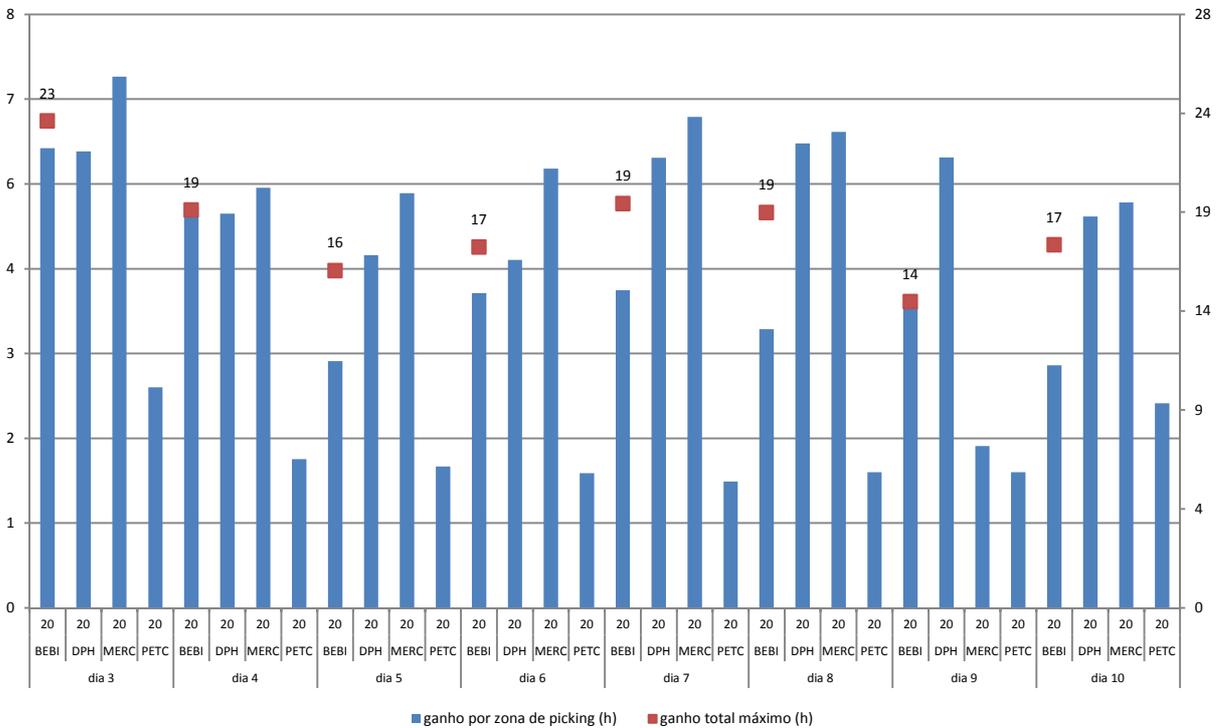


Figura 30 – Melhoria de produtividade pela implementação do *batch picking* à loja (apenas iteração em que se simula a seleção de 20 lojas para *batch*)

- Número de caixas a colocar no *sorting* e paletes completas originadas pelo *batch picking* ao SKU para cada uma das 4 iterações

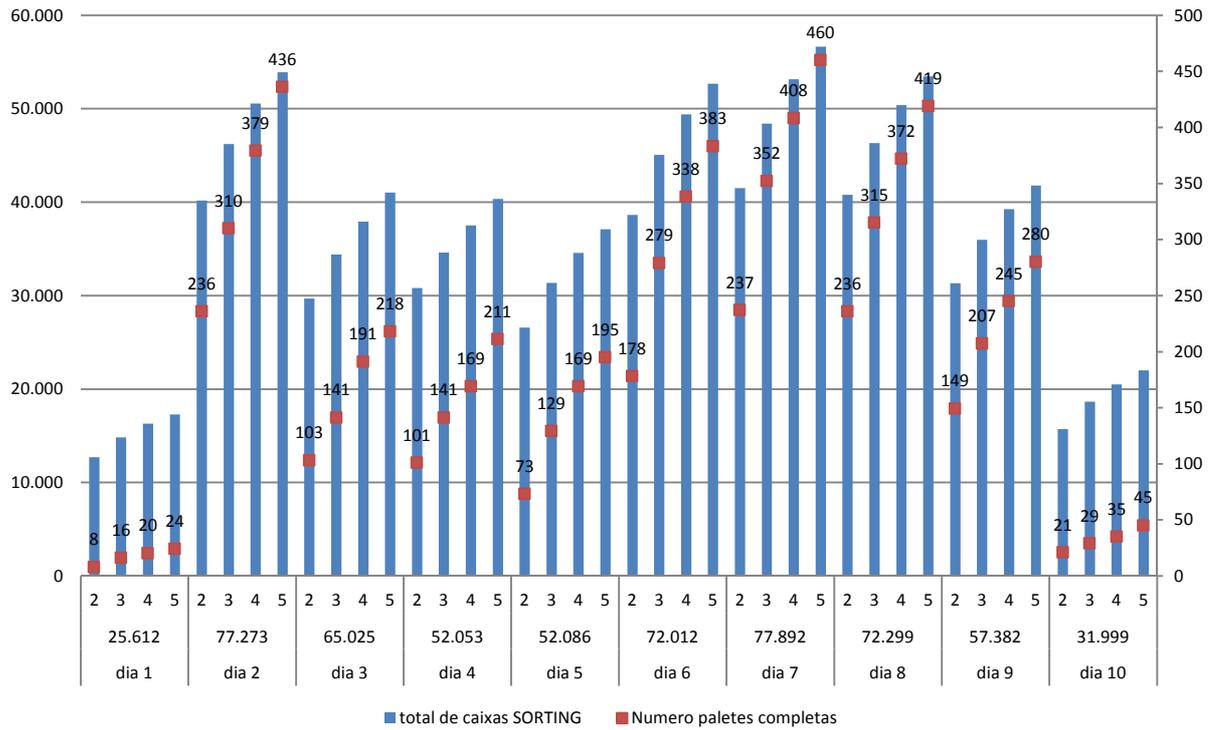


Figura 31 – Total de caixas a colocar na operação de *sorting* e número de operações de baixar paletes completas originado em cada iteração do *batch picking* ao SKU.

ANEXO E

Dados relativos ao capítulo 5.

- Número de caixas a colocar no *sorting* e paletes completas originadas pelo *batch picking* ao SKU em *layout* reorganizado por rotação

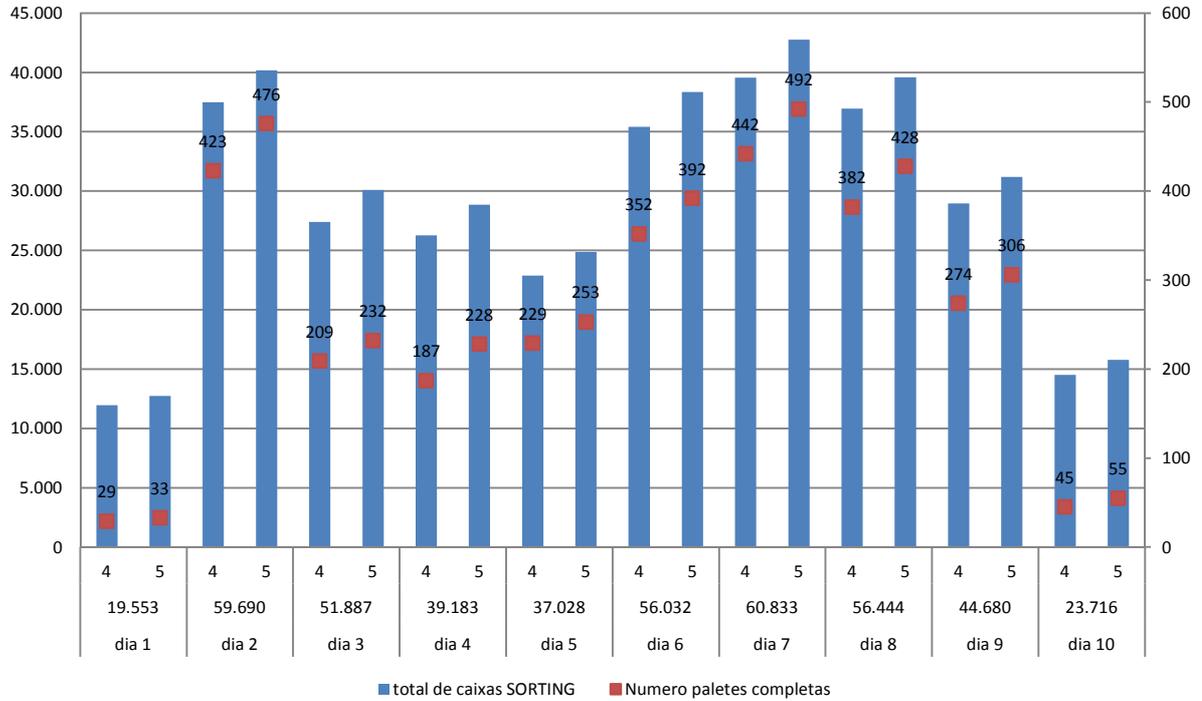


Figura 32 – Total de caixas a colocar na operação de *sorting* e número de operações de baixar paletes completas originado após cada iteração da segunda fase do *batch picking* em *layout* reorganizado em *slow e fast movers*

- Cálculo de melhorias de produtividade e tabela com comparação entre soluções apresentadas em 4.4.2 e 5.3.

Tabela 7 – Cálculo dos ganhos de produtividade após as duas fases da análise da opção de *batch picking* em layout reorganizado por *slow* e *fast movers*

Tempo total de <i>picking</i> no paradigma atual	Tempo das tarefas de <i>picking</i> dos SKUs <i>slow movers</i>	Nº de caixas limite (N)	Tempo das tarefas de <i>picking</i> dos <i>fast movers</i> (com opção de batch até N caixas)	Tempo Total após as duas fases	Ganho (h)	Ganho (%)
113:33:05	18:44:31	4	65:38:06	84:22:37	29	26%
		5	64:31:54	83:16:25	30	27%
354:57:33	43:51:22	4	164:06:54	207:58:16	146	41%
		5	155:13:40	199:05:02	155	44%
277:35:19	37:43:46	4	157:24:40	195:08:26	82	30%
		5	152:12:21	189:56:07	87	32%
257:21:42	38:45:48	4	124:03:45	162:49:33	94	37%
		5	114:33:33	153:19:21	104	40%
234:31:15	42:30:48	4	116:15:39	158:46:27	75	32%
		5	110:28:00	152:58:48	81	35%
315:18:10	9:45:55	4	155:33:19	165:19:14	149	48%
		5	147:13:50	156:59:45	158	50%
336:55:18	9:50:59	4	161:54:37	171:45:36	165	49%
		5	152:04:01	161:55:00	175	52%
333:05:13	9:19:22	4	153:48:29	163:07:51	169	51%
		5	144:06:36	153:25:58	179	54%
253:38:35	15:53:07	4	130:36:34	146:29:41	107	42%
		5	124:46:40	140:39:47	112	45%
137:08:23	24:38:04	4	78:40:18	103:18:22	33	25%
		5	76:48:53	101:26:57	35	26%

Tabela 8 – Comparação da solução obtida no *layout* reorganizado por classes com a solução de *batch picking* no *layout* atual

Nº de caixas limite (N)	Opção de <i>batch picking</i> com reorganização do <i>layout</i>		Opção de <i>batch picking</i> no <i>layout</i> atual	
	Ganho (h)	Ganho (%)	Ganho (h)	Ganho (%)
4	29	26%	21	18%
5	30	27%	22	20%
4	146	41%	124	35%
5	155	44%	134	38%
4	82	30%	66	24%
5	87	32%	73	26%
4	94	37%	80	31%
5	104	40%	90	35%
4	75	32%	59	25%
5	81	35%	66	28%
4	149	48%	189	60%
5	158	50%	201	64%
4	165	49%	204	61%
5	175	52%	215	64%
4	169	51%	207	62%
5	179	54%	220	66%
4	107	42%	124	49%
5	112	45%	132	52%
4	33	25%	24	17%
5	35	26%	25	18%