

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Departamento de Engenharia Electromecânica

**ANÁLISE E OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
ARMAZENAMENTO E DE RECOLHA DE ARTIGOS EM
AMBIENTE REAL**

Francisco José Afonso Fernandes

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Covilhã, 2010

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Departamento de Engenharia Electromecânica

**ANÁLISE E OPTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
ARMAZENAMENTO E DE RECOLHA DE ARTIGOS EM
AMBIENTE REAL**

Francisco José Afonso Fernandes

Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Sr. Professor Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

Co-orientador: Sr. Professor Doutor António Eduardo Vitória do Espírito Santo

Aos meus Pais, António e Dália, ao meu
irmão e à sua esposa, António e Sara, e
ao Manuel, meu afilhado.

Agradecimentos

A todas as pessoas e entidades, que contribuíram de forma diversa, para a realização desta dissertação. A todas elas expresso o meu reconhecimento e gratidão. Não quero, contudo, deixar de particularizar alguns agradecimentos.

Ao meu orientador científico, Professor Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos, pela confiança em mim depositada, pelo acompanhamento, orientação e interesse que colocou na supervisão do trabalho elaborado.

Ao co-orientador científico, Professor Doutor António Eduardo Vitória do Espírito Santo, pelo apoio manifestado no decorrer do trabalho.

À empresa Polisport, nomeadamente à Mestre Susana Marisa Dias da Silva Teixeira, pela abertura proporcionada e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas que foram surgindo.

A toda a minha família por todo o apoio demonstrado ao longo desta fase, em particular, aos meus pais, António e Dália, ao meu irmão e à sua esposa, António e Sara.

A todos os professores que contribuíram de alguma forma para a minha formação académica ao longo destes anos.

A todos os meus amigos, sem exceção, que sempre me acompanharam, de uma forma particular, à Susana e ao Ricardo, à Joana, à Susana Farropas, ao Rodrigo, à Patrícia Rodrigues, à Patrícia Baptista, ao Nuno, ao João Martins e à Viviana pela paciência manifestada ao longo dos últimos anos.

Resumo

Neste trabalho apresenta-se o estudo do processo de armazenamento e recolha de artigos de uma empresa líder no seu sector de mercado. Esta empresa está inserida no mercado de acessórios plásticos para veículos de duas rodas, motas e bicicletas.

Na primeira parte do trabalho é efectuado um enquadramento do tema e a descrição da empresa que serviu de base ao estudo efectuado. Neste enquadramento é realizada uma pesquisa bibliográfica sobre cadeia de abastecimento, e é descrito cada um dos estudos efectuados ao longo do trabalho, análise ABC, ciclo de vida dos produtos e o Problema de Planeamento de Rotas de Veículos.

É realizada a análise das localizações preferenciais para os artigos armazenados. Para o efeito e após uma pesquisa bibliográfica optou-se pela análise ABC, a partir da qual se define uma metodologia a seguir pela empresa.

Posteriormente desenvolve-se um estudo sobre o ciclo de vida dos produtos armazenados. São analisados os movimentos dos artigos mais vendidos de modo a tentar definir o ciclo de vida dos produtos armazenados.

Numa última fase deste trabalho, realiza-se um estudo sobre o processo de recolha dos artigos que constituem uma encomenda. Neste estudo apresenta-se a pesquisa bibliográfica sobre o Problema de Planeamento de Rotas de Veículos. É também apresentada uma formulação para o problema estudado. São também enumerados vários tipos de métodos para a resolução deste tipo de problemas.

É proposto um algoritmo para a resolução do problema da recolha dos artigos de uma encomenda através de uma metaheurística.

Abstract

This paper presents a study of the storage and the collection of items processes of a company which is the top leader of its market sector. This company produces plastic accessories for two-wheeled vehicles, motorcycles and bicycles.

In the first part of the work one can find a frame of the issue and a description of the company on which this study is based. In this setting a literature search on the supply chain was done, and each of the studies carried out throughout the work is presented. ABC analysis, life cycle of products and the Vehicle Routing Problem are also described.

An analysis of the preferable locations for the stored items is done. For that purpose and after a literature search ABC analysis has been used, from which a methodology to be followed by the company was defined.

Afterwards a study on the life cycle of stored products is presented. The movements of the most popular items have been analysed in order to try to define the life cycle of stored products.

In a final stage of this work a study on the process of collecting the items that constitute an order is done. This study presents a literature review of the Vehicle Routing Problem. It is also a formulation for the problem that has been studied. They are also listed several types of methods for solving such problems.

It is proposed an algorithm for solving the problem of collecting items of an order by a metaheuristic.

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Objectivo do trabalho	1
1.2. Estrutura do trabalho	2
1.3. Enquadramento do trabalho	3
1.4. Apresentação da Empresa	6
2. Análise actual do armazém com localizações preferenciais.....	9
2.1. Introdução	9
2.2. Metodologia	12
2.3. Apresentação dos Resultados.....	13
2.3.1. Distribuição dos artigos no armazém PAM.....	15
2.4. Definição do processo de análise a adoptar	17
2.5. Conclusões	21
3. Análise do ciclo de vida dos produtos.....	23
3.1. Introdução	23
3.2. Caso de estudo.....	25
3.2.1. Discrição das diferentes análises efectuadas	25
3.3. Conclusões	30
4. Análise do processo de recolha dos artigos de uma encomenda.....	31
4.1. O Problema de Planeamento de Rotas de Veículos (VRP – “ <i>Vehicle Routing Problem</i> ”)	32
4.2. Constituição de um VRP clássico	33
4.2.1. Função objectivo.....	33
4.2.2. Restrições.....	33
4.2.3. Variáveis de decisão	34
4.2.4. Hipóteses e características do problema	34

4.3.	Formulação matemática de um VRP.....	35
4.3.1.	Formulação do VRP para o caso de estudo	38
4.4.	Métodos de Resolução de Problemas de Planeamento de Rotas de Veículos .	40
4.4.1.	Métodos exactos	40
4.4.2.	Heurísticas de aproximação	43
4.5.	Análise da heurística utilizada no caso de estudo	47
4.6.	Formulação para o problema em estudo	49
4.7.	Heurística para a optimização do problema em estudo.....	53
4.7.1.	Metodologia de resolução	57
4.7.2.	Heurística para gerar a solução inicial.....	60
4.7.3.	Heurística para determinar as soluções vizinhas	60
4.7.4.	Determinação da distância Z.....	62
4.8.	Conclusão	62
	Bibliografia	67

Índice de figuras

Figura 1.1 Representação esquemática de uma cadeia de abastecimento	4
Figura 2.1 Representação gráfica do método de análise ABC	11
Figura 2.2: Percentagem de artigos em função do número de movimentos.	13
Figura 2.3: Percentagem de movimentos em função do número geral de movimentos.	14
Figura 2.4: Análise ABC dos movimentos dos produtos activos com o número de movimentos.....	14
Figura 2.7: Representação do armazém PAM	16
Figura 2.8: Processo para realizar a análise ABC.....	18
Figura 2.9: Folha de dados do ficheiro cedido pela empresa.....	19
Figura 3.1: Fases do ciclo de vida do produto	24
Figura 3.2: Artigos de 2009 criados em 2005.....	27
Figura 3.3: Artigos mais movimentados de 2009	27
Figura 3.4: Artigos em fim de vida em 2009, criados em 2001, 2002 e 2003.....	28
Figura 3.5: Ciclo de vida dos produtos analisados	29
Figura 4.1: Exemplo de uma aplicação de um VRP (Guerreiro 2009).....	36
Figura 4.2: Representação do trajecto efectuado pelo operador ao recolher os artigos do armazém PAM	48
Figura 4.3: Representação esquemática de algumas secções do armazém.....	49
Figura 4.4: Matriz representativa do problema em estudo para o piso zero.....	51
Figura 4.5: Matriz representativa do problema em estudo para os pisos superiores	53
Figura 4.7: Curva do processo de recristalização	57
Figura 4.8: Transferência da ordem de recolha de artigos de uma encomenda.....	61

Índice de tabelas

Tabela 4.1: Principais restrições de um VRP	34
---	----

1. Introdução

1.1. Objectivo do trabalho

Este trabalho tem como objectivo principal, efectuar o estudo do processo de armazenamento e recolha de artigos numa empresa, em ambiente real. O objectivo da empresa é a redução do tempo de recolha dos diferentes artigos que constituem uma encomenda.

Como o objectivo é reduzir o tempo de recolha dos artigos, será estudado o processo que define as rotas de recolha dos artigos de cada encomenda, qual o método actualmente utilizado pela empresa e se existe um método que permita otimizar este processo.

O modo como os diferentes artigos se encontram distribuídos no armazém também influencia o tempo de recolha dos artigos. Será elaborado um modelo que permita uma distribuição mais eficaz dos diferentes artigos, consoante o número de movimentos dos artigos.

Com os dados fornecidos pela empresa, irá ser realizado um estudo sobre o número de movimentos dos artigos, com o objectivo de definir um modelo do ciclo de vida dos artigos armazenados pela empresa. Este modelo poderá ajudar a compreender em que fase do ciclo de vida os produtos se encontram, o que poderá influenciar a sua distribuição futura no armazém.

1.2. Estrutura do trabalho

O trabalho apresentado nesta dissertação está dividido em quatro capítulos, além deste de introdução.

O estudo do processo de armazenamento e recolha de artigos numa empresa, é o grande objectivo deste trabalho, procedeu-se a uma contextualização neste capítulo das várias análises e estudos a desenvolver nos capítulos seguintes.

É também efectuada, neste capítulo introdutório, uma descrição da empresa utilizada para efectuar as diferentes análises sobre os produtos em armazém.

O capítulo 2 centra-se sobre a análise do processo de armazenamento de artigos num armazém da empresa em estudo. Neste capítulo é efectuada uma descrição do método de análise ABC e quais as principais características deste método. Através da análise ABC irá ser formulado um método a seguir pela empresa de modo a otimizar o armazenamento dos seus artigos.

No capítulo 3, é descrito o estudo efectuado com o objectivo de definir o ciclo de vida dos produtos armazenados na empresa. É efectuado o enquadramento do ciclo de vida dos produtos, a sua descrição e qual a sua utilidade no caso em estudo.

No capítulo 4, é efectuada uma pesquisa sobre do Problema de Planeamento de Rotas de Veículos (VRP), a aplicação deste método no armazém em estudo bem como algumas soluções para a resolução do problema. É realizado um estudo de modo a melhorar a recolha dos artigos que constituem uma encomenda.

Por fim no capítulo 5, são referidas as considerações finais de todo o trabalho que será desenvolvido.

1.3. Enquadramento do trabalho

A partir dos anos 80, o modo como as empresas se relacionam com o meio envolvente tem sido alvo de alterações profundas. As mudanças dos padrões de consumo desta época, provocaram estas alterações. Existem inúmeros factores para a alteração dos comportamentos dos consumidores. Actualmente os consumidores são mais exigentes em relação à diferenciação dos produtos, à sua fiabilidade, à sua qualidade e ao seu preço. Esta exigência por parte dos consumidores, resulta da livre concorrência, da variedade de oferta, do desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação e da facilidade com que acedem a estas.

Na actual conjuntura económica e industrial as empresas são obrigadas a responder de forma cada vez mais rápida e eficaz às necessidades dos seus clientes.

As principais vantagens competitivas estão focalizadas ao longo de todas as fases da cadeia de abastecimento, com o objectivo de introduzir melhorias de forma contínua nos vários elos da cadeia, permitindo a redução de custos, a melhoria da qualidade dos produtos, o nível de serviço e a satisfação dos clientes da empresa.

Com o objectivo de responder a estes desafios e ganhar vantagem competitiva, uma vez que, o principal objectivo de uma empresa é aumentar ao máximo o valor agregado dos seus produtos, minimizando os custos globais na cadeia de abastecimento, as empresas sentiram necessidade de evoluir a nível tecnológico, com equipamentos cada vez mais sofisticados, e processos de produção otimizados.

As empresas que nos anos 80 e 90 tinham uma produção em massa de produtos indiferenciados, actualmente são confrontadas com a realidade da diferenciação dos produtos. As organizações têm que possuir uma grande flexibilidade e agilidade de produção. Estas necessidades resultam da diminuição do tamanho dos lotes e do tamanho das encomendas, da redução dos prazos de entrega e do aumento da variedade de artigos produzidos.

Consequentemente e como resposta a toda esta evolução, surgem novos conceitos de organização. Alguns dos paradigmas da gestão da produção apareceram ou reapareceram como resposta às novas necessidades organizativas. Podem-se referir como exemplos, a gestão da cadeia de abastecimento (“*Supply Chain Management*”), o

adiamento da diferenciação de produtos (“*Postponement*”), a produção ágil (“*Agile Manufacturing*”), entre outros (Skipworth e Harrison 2006) (Hossam, et al. 2006) (Yang, et al. 2007) (Hasan, et al. 2007).

Nos dias de hoje a empresa deve de ser considerada como um elo de ligação de uma cadeia, a cadeia de abastecimento. A gestão adequada da cadeia de abastecimento de uma empresa é um dos principais factores que contribuem para o seu sucesso. As empresas actuais são muito mais complexas do que uma simples série de conexões lineares, envolvem relações complexas desde os fornecedores até aos clientes finais. Uma empresa de sucesso deverá possuir uma cadeia de abastecimento robusta e resistente de modo a não comprometer a sua eficácia (J. V. Pereira 2009) (Wisner e Keah 2000).

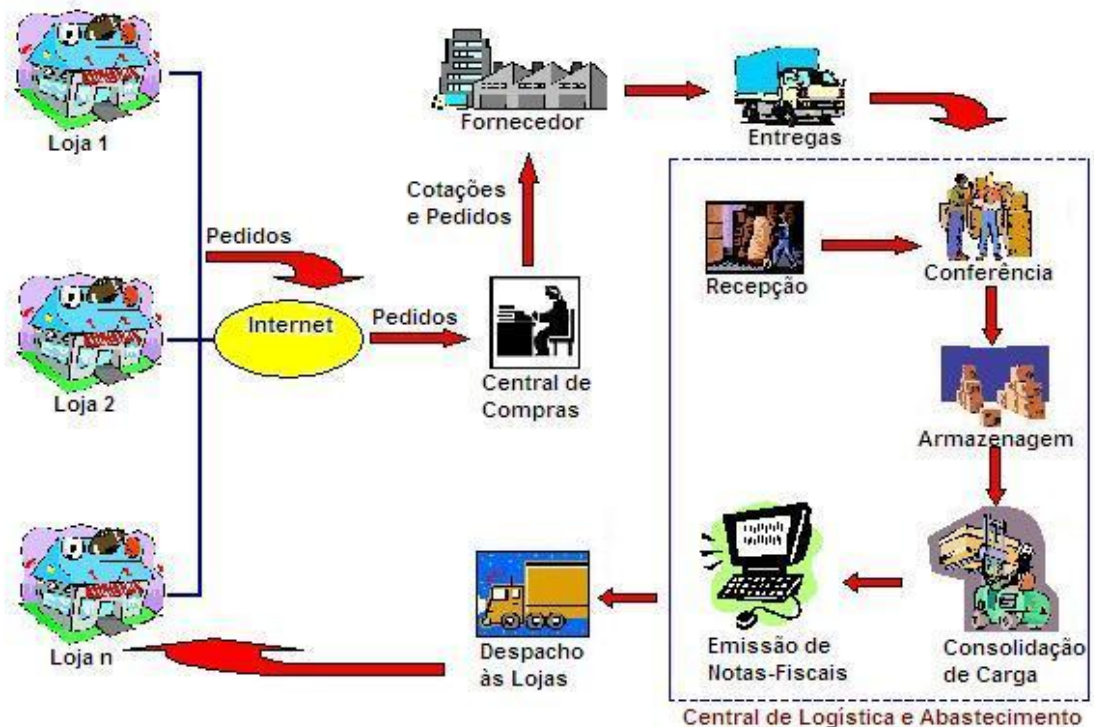


Figura 1.1 Representação esquemática de uma cadeia de abastecimento¹

A introdução de novas tecnologias de informação no seio de toda esta evolução, permitiu o desenvolvimento dos negócios em direcções até há pouco tempo impensáveis. Neste contexto, a tecnologia de informação desempenha um papel

¹ Fonte: <http://www.sacnet.com.br/supplychain.aspx&usg>

importante na estratégia da empresa. Existem cada vez mais empresas com actividades espalhadas por todo o mundo. Este tipo de evolução a nível de mercados, dificulta a gestão da cadeia de abastecimento na sua generalidade, pois é necessário manter integradas as práticas de negócio (J. V. Pereira 2009) (Buyukozkan, Baykasoglu e Dereli 2007).

O facto de a cadeia de abastecimento ser cada vez mais complexa, faz com que os produtos ou serviços tenham um ciclo de vida cada vez menor, e promove o aparecimento de produtos cada vez mais diferenciados. Contudo o ciclo de vida dos produtos é importante e pode ser aplicado em sistemas industriais complexos (Bozarth, et al. 2008).

O ciclo de vida de um produto, é constituído por quatro fases, ou seja, cada produto durante a sua vida passa por quatro etapas, que são, introdução, crescimento, maturidade e declínio. Utilizando o ciclo de vida dos produtos, existe uma previsão da localização dos diversos produtos ao longo do seu ciclo, podendo ser estimada a evolução e conseqüente declínio a nível de mercado dos respectivos produtos. (Wong e Ellis 2007) (Ostlin, Sundin e Bjorkman 2009).

Com o rápido crescimento da globalização, as actividades económicas entres diversos países cada vez mais complexas, surge a necessidade da gestão de inventários. A análise ABC, é um método de classificação de inventário simples, directo e de fácil aplicação. Mesmo com a evolução observada nos últimos anos, muitas empresas utilizam este método para a gestão de *stocks*.

Este método baseia-se no Princípio de Pareto. O nome deste princípio deve-se ao economista italiano Vilfredo Pareto, que observou que a supremacia da riqueza do seu país, estava concentrada nas mãos de uma pequena percentagem relativa da população. No controlo de *stocks*, o Princípio de Pareto, é importante porque reconhece que todos os artigos individuais, que compõem o inventário total, não têm a mesma importância relativa (Liiv 2006) (Chen, Li e Liu 2008).

Com a globalização, os mercados ficam cada vez mais competitivos e exigentes, o que faz aumentar a procura constante de melhorias no desempenho operacional por parte das empresas, com o objectivo de melhorar o atendimento às necessidades dos seus clientes, minimizando os custos dos processos produtivos (Estevam 2003).

Com o objectivo de minimizar custos, distâncias, tempo, ou seja com o objectivo de otimizar processos de distribuição e recolha, surge o Problema de Planeamento de Rotas de Veículos.

O Problema de Planeamento de Rotas de Veículos, também conhecido por “*Vehicle Routing Problem*” (VRP), é um problema importante da investigação operacional, criado em 1959 por Dantzig e Ramser. É um dos problemas mais utilizados e estudados pela comunidade científica, na optimização de rotas.

Este problema tem como objectivo minimizar custos, distâncias, tempo, ou seja, otimizar rotas de veículos, o que permite uma optimização de processos de produção, distribuição, recolha, que optimizam toda a cadeia de abastecimento (Eksioglu, Vural e Reisman 2009) (Tang, Zhang e Pan 2009).

O VRP clássico, consiste em vários pontos de entrega, clientes, que têm que ser percorridos, por um ou mais veículos. Ao aplicar o VRP, este vai otimizar o processo, ou seja, definir qual a melhor rota utilizada pelo veículo de modo a percorrer todos os pontos (Toth e Vigo 2002).

Existem várias variantes do problema de rotação de veículos, que são obtidas pela adição de restrições ou modificações introduzidas no VRP clássico. De referir como exemplos, problema com vários centros de distribuição (“*multi-depot vehicle routing problem*” - MDVRP); problemas com janelas temporais (“*vehicle routing problem with time windows*” - VRPTW) (Tang, Zhang e Pan 2009).

1.4. Apresentação da Empresa

A empresa utilizada como apoio prático, para efectuar este trabalho, foi uma empresa cuja actividade, está inserida no mercado de acessórios plásticos para veículos de duas rodas, motos e bicicletas.

Neste tipo de mercado, marcado por uma forte concorrência internacional e que exige uma forte resposta a prazos de entrega muito curtos, a empresa é considerada de

sucesso e inovadora. É uma empresa com projecção em mercados internacionais. Este destaque internacional, advém da sua qualidade, “*Know-how*”, experiência e flexibilidade.

Com o objectivo de colocar os melhores produtos no mercado, a empresa aposta fortemente em I&D o que permite o desenvolvimento de produtos num ambiente organizado e funcional. Com esta estratégia, surgem novas ideias, novos produtos, novos materiais, novas ferramentas e novos processos produtivos, permitindo o aumento do volume de negócios da empresa.

A empresa ocupa uma posição de destaque nos vários segmentos de mercado internacional em que está inserida, com um elevado sentido de oportunidade, criatividade, motivação para criar produtos que satisfaçam as necessidades dos seus clientes e com as melhores condições de entrega.

Trata-se por isso de uma empresa moderna, inovadora e dinâmica, com orgulho de trabalhar em parceria com as principais empresas dos dois sectores de produção, motos e bicicletas. Em mais de vinte anos de existência, a empresa tem adquirido o *Know-how* necessário para criar e desenvolver novos produtos de acordo com as necessidades do mercado de motos e bicicletas, pois trabalha em parceria com várias companhias de fabricantes de veículos de duas rodas.

A empresa tem como principais linhas de orientação, a missão, a visão, a política de qualidade, a estratégia e o “*balanced score card*”.

Missão

A missão da empresa é criar produtos inovadores para veículos de duas rodas, motos e bicicletas, garantindo o maior desempenho com segurança, distinção e lazer.

Visão

Como visão, a empresa procura ser líder de mercado pela reputação da marca, alcançando prestígio pela Inovação, Qualidade dos Plásticos e pela diferenciação dos seus vários produtos.

Política de Qualidade

O sucesso da empresa passa por dois aspectos fundamentais no que diz respeito à política da qualidade:

A **Inovação** é promovida através da imagem de marca e do lançamento de forma continuada de novos produtos.

O **Serviço**, onde se procura promover uma relação com todos os seus parceiros. Assim a empresa, aposta no desenvolvimento das competências dos seus colaboradores e das suas capacidades tecnológicas, promovendo uma cultura interna que privilegia o envolvimento de todos, a auto exigência, as decisões sustentadas e a abertura à mudança.

Estratégia

A estratégia da empresa estipula duas propostas de valor, relação e inovação.

A proposta de valor assente na relação subentende que, distribuidores fidelizados, continuarão a comprar e poderão comprar mais, alargando a gama de produtos da empresa.

A proposta de valor assente na inovação admite que a venda de produtos inovadores contribuirá para o aumento da produtividade das vendas e liderança do produto. Por outro lado, a imagem de marca associada à inovação irá contribuir para elevar a reputação da marca, o que pressupõe atrair novos clientes de forma a aumentar as vendas.

2. Análise actual do armazém com localizações preferenciais

2.1. Introdução

O principal objectivo da análise efectuada no armazém, é a identificação dos artigos mais movimentados. Com o trabalho desenvolvido pretende-se proceder à reorganização do armazém, de modo a reduzir os tempos de recolha dos diferentes produtos, aumentando assim os níveis de desempenho. Pretende-se que esta optimização do processo de recolha seja conseguida através de uma melhor localização dos artigos com um maior número movimentações.

O objectivo da gestão de *stocks* é o controlo eficaz e efectivo de um modo económico, deste modo é imperativo controlar os artigos de modo diferenciado, não se pode, nem se deve tratar todos os artigos da mesma forma, ou seja, prestar um controlo maior aos artigos que representam um maior valor para o sistema. O método *ABC*, diagrama de *Pareto*, é um método muito utilizado para a classificação de artigos (Barata 1997) (Almeida 1995).

A análise *ABC* possibilita colocar elementos de uma população em evidência, em função de determinado critério, aos quais se deve dedicar maior atenção por serem mais relevantes (Reis e Paulino 1994).

Uma característica importante do método *ABC*, é permitir determinar propriedades para a constituição do *stock*, esta classificação tem como base as características dos artigos, (custo, procura, número de movimentos, entre outros). Com base nas características de cada artigo, neste caso o número de movimentos, os artigos são constituídos em classes, normalmente três, A, B e C. O controlo de cada classe de artigos é efectuado segundo o grau de importância da classe, ou seja, quanto maior for a importância de uma classe, maior deverá ser o seu controlo (Barata 1997).

Para que a gestão de *stocks* seja efectuada de uma forma eficaz é necessária a existência de um inventário permanente e um ficheiro de *stock*, que para serem úteis será necessário:

- i) As encomendas que entram e saiam do armazém sejam rigorosamente conferidas;
- ii) Os registos das entradas e saídas têm que ter correspondência com a realidade;
- iii) Os apanhados desses registos, para introdução dos dados no ficheiro de *Stocks* ou outros documentos se efectue sem erros;
- iv) Não ocorram entradas ou saídas sem serem registadas;

Havendo falhas nos pontos referidos as diferenças detectadas são corrigidas durante a realização do “Balanço” de fim de exercício, que é a contagem física de todos os artigos em *stock*, ou quando existe uma ruptura do *stock* (Almeida 1995).

A análise ABC é uma aplicação da lei de Pareto, ou lei dos 20×80, isto é, a expressão empírica de que 20% do número representa aproximadamente 80% do valor.

O princípio de Pareto, foi criado por Vilfredo Pareto, economista italiano que observou que a predominância da riqueza estava concentrada nas mãos de uma pequena percentagem da população do seu país. No controlo de *stocks*, o Princípio de Pareto, é importante porque reconhece que todos os artigos individuais, que compõem o inventário total, não têm a mesma importância relativa (Liiv 2006) (Chen, Li e Liu 2008).

Em indústrias tecnologicamente muito evoluídas, como a produção de computadores ou produção de aviões, à classe A correspondem, geralmente, uma pequena percentagem de artigos, que contribui em grande escala para o número total de movimentos de artigos, neste caso.

Normalmente, pertencem à **classe A** entre 15% e 20% dos artigos, que representam a maior percentagem do valor total de movimentos de artigos, 70% a 80% geralmente. Estes artigos devem de possuir um maior controlo por parte dos gestores.

A **classe B**, constituída por artigos intermédios entre a Classe A e a Classe C, merece uma atenção especial pela sua relativa importância face ao razoável valor global

dos *stocks*. Os artigos desta classe correspondem a uma percentagem entre 20% e 25% e representam aproximadamente 15% dos movimentos dos *stocks*.

A **classe C**, é constituída por um grande número de artigos, que representam uma pequena percentagem do número total de movimentos efectuados no armazém. Normalmente entre 60% e 65% de artigos representam um valor diminuto do número de total de movimentos entre 5% e 10%. Estes artigos correspondem à maior percentagem de artigos em com existências no armazém, mas totalizam uma pequena percentagem do número de movimentos de artigos, logo o nível de controlo é menor (Chiavenato 1990) (Almeida 1995) (Barata 1997).

O método de classificação de *stocks*, análise ABC, pode ser representado graficamente. O eixo das ordenadas representa a percentagem acumulada da variável em estudo, neste caso a percentagem acumulada de movimentos. No eixo das abcissas está representada a percentagem acumulada de artigos do armazém. A Figura 2.1 representa uma curva característica do método de análise ABC.

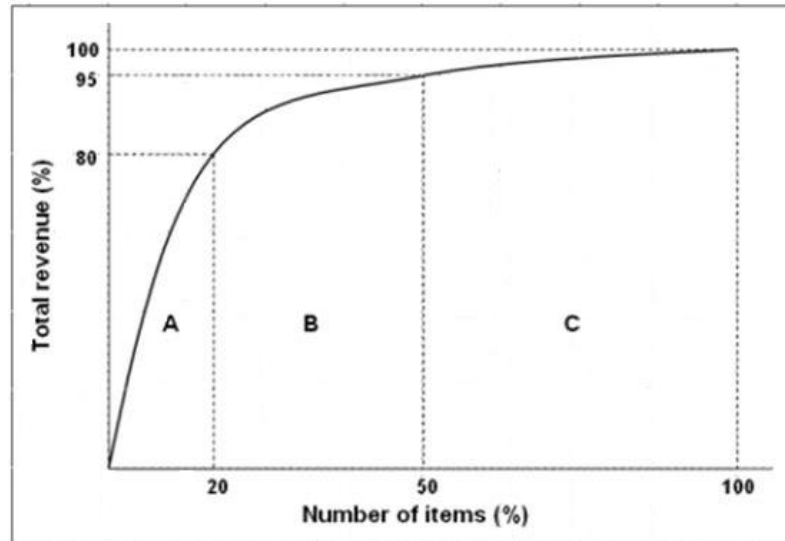


Figura 2.1 Representação gráfica do método de análise ABC²

Este tipo de método de classificação, demonstra que as organizações devem de convergir as suas atenções para os artigos da classe A, uma vez que, o número de

² Fonte: <http://www.exactsoftware.com/docs/DocView.aspx>

movimentos, neste caso, pode representar aproximadamente 80% do número total de movimentos, enquanto as restantes classes podem representar apenas 20% do total de movimentos (Almeida 1995).

2.2. Metodologia

Com base nos ficheiros, cedidos pela empresa, referentes ao ano de 2009, efectuou-se uma análise seguindo a seguinte metodologia:

1ª Análise: Análise dos movimentos de artigos classificados como produtos activos, artigos que têm actividade comercial. Na base de dados fornecida pela empresa em formato Excel, estes artigos são facilmente identificáveis, uma vez que existe um campo para o estado do produto, que quando activo é igual a 20.

1.1 - Como a base de dados fornecida incluía a informação referente a diferentes armazéns optou-se por se seleccionar apenas um dos armazéns da empresa, como forma de focalizar o estudo, designado PAM. O procedimento utilizado para este armazém é extensível aos restantes. A opção pelo PAM resulta da informação recolhida na empresa que considerou a análise deste armazém mais relevante.

1.2 - Conforme referido, dentro do armazém PAM consideraram-se apenas os artigos activos, estado 20, uma vez que os restantes não têm movimentos ou tendo-os são residuais e por isso desprezáveis no contexto do trabalho.

1.3 - Os artigos identificados no passo anterior foram ordenados por ordem decrescente de movimentações. Desta forma obteve-se uma tabela onde os artigos mais movimentados apareceram no topo e os menos movimentados no final. Como resultado obteve-se uma folha de Excel com a informação referente a 968 artigos.

1.4 - Com os dados obtidos nos passos anteriores efectuou-se uma análise ABC. Desta forma foi possível identificar quais os artigos mais representativos em termos de movimentações. O objectivo do trabalho passa por reorganizar o armazém em

função do resultado do estudo colocando os artigos mais movimentados em localizações privilegiadas.

2.3. Apresentação dos Resultados

- Análise dos movimentos dos artigos activos (código 20)

Como já referido, foram identificados 968 artigos activos (estado 20). Analisando o número de movimentações, conforme gráfico representado na Figura 2.2, constatou-se que: i) 8% dos artigos têm mais de cem movimentos; ii) 17% dos artigos têm entre cinquenta e cem movimentos; iii) 34% dos artigos têm entre dez e cinquenta movimentos; iv) 27% dos artigos têm entre um e dez movimentos; v) 14% dos artigos não têm qualquer movimento.

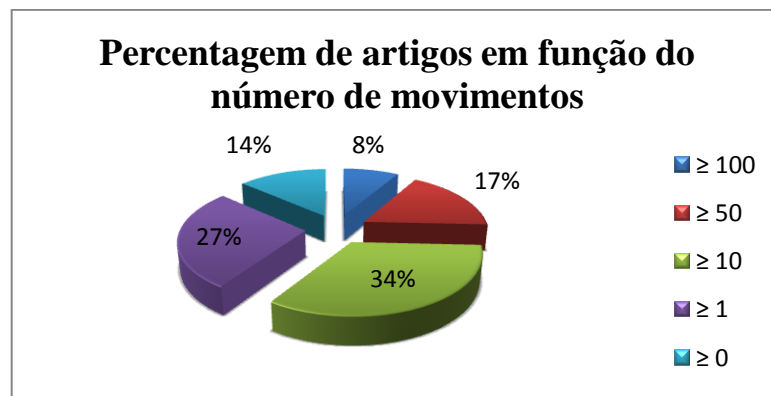


Figura 2.2: Percentagem de artigos em função do número de movimentos.

No gráfico da Figura 2.3 constata-se que o grupo com mais de 100 movimentos representa em termos globais 37% dos movimentos efectuados. Da mesma forma os artigos com um número de movimentos compreendidos entre cinquenta e noventa e nove movimentos, representam 36% dos movimentos realizados.

Os artigos cujos movimentos estão compreendidos entre dez e quarenta e nove, representam 24% dos movimentos. Por fim o grupo de artigos cujas movimentações

estão compreendidas entre um e nove movimentos, representam apenas 3% dos movimentos realizados. Realça-se que 14% dos artigos activos com existências no, PAM, não têm qualquer tipo de movimentação.

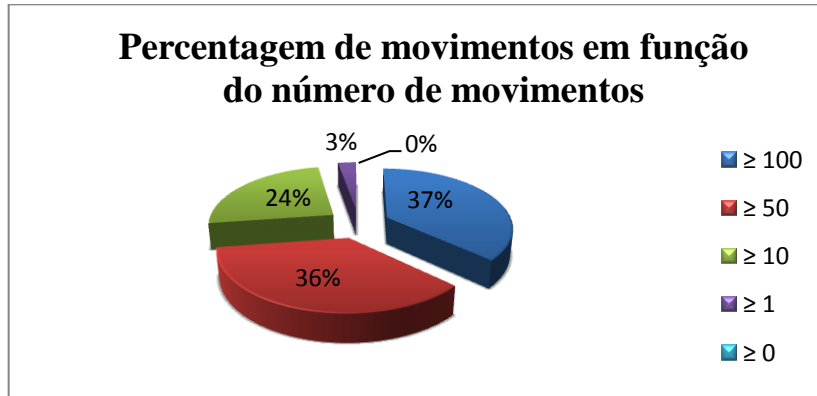


Figura 2.3: Percentagem de movimentos em função do número geral de movimentos.

A representação gráfica da curva ABC pode ser observada na Figura 2.4

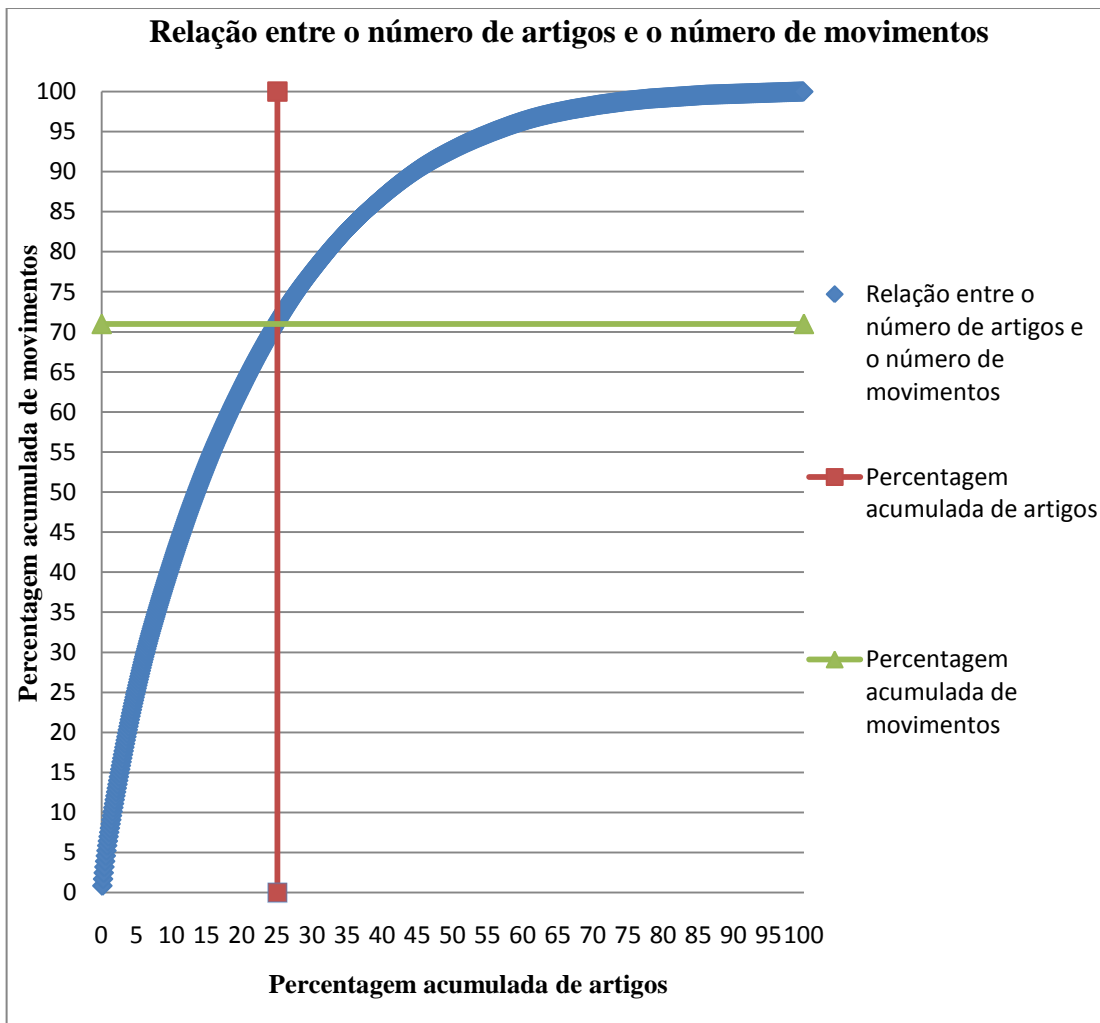


Figura 2.4: Análise ABC dos movimentos dos produtos activos com o número de movimentos.

A análise ABC consolida com uma boa visualização gráfica, as observações já efectuadas nos gráficos das figuras anteriores (Figura 2.3 e a Figura 2.4). Em conclusão verifica-se que 25% dos artigos, o que equivale a 242 artigos do total, representam em termos de movimentos 71,62% dos movimentos globais. 41,3% dos artigos, representam 88,83% dos movimentos globais, ou seja, 29622 movimentos dos 33346 movimentos totais no armazém.

Analisando o gráfico obtido, com a análise ABC, e os ficheiros dos artigos fornecidos pela empresa, sabe-se quais os artigos que pertencem à classe A, B e C. Neste caso os artigos que pertencem à classe A (25%), representam mais de 70% do global de movimentos no armazém PAM.

2.3.1. Distribuição dos artigos no armazém PAM

Para a distribuição dos artigos presentes no armazém PAM é necessário a planta do armazém, a Figura 2.5 representa a estrutura do armazém PAM.

Na representação gráfica do armazém (Figura 2.5), pode observar-se que o armazém é constituído por um gabinete, duas zonas para expedição de encomendas, e zona de armazenagem propriamente dita identificada com codificação alfanumérica L_{MN} . Onde L é uma letra que representa a fila, N um algarismo referente ao piso de armazenagem e M dois algarismo que reportam a posição. Por exemplo a localização B_{011} significa que o artigo está localizado na fila B, localização 01 piso 1.

Os artigos que se encontram mais próximos do cais e das zonas para expedição de encomendas, devem de ser os artigos mais movimentados, ou seja, o artigo com mais movimentos deve de estar colocados na secção M, na posição 1 no piso 0; o segundo artigo com mais movimentos deverá ser colocado na secção M, na posição 2 no piso 0; o terceiro artigo com mais movimentos deve de ser colocado na secção M, na posição 3 no piso 0 e assim sucessivamente até preencher a secção M.

Quando a primeira secção, secção M, possui as suas posições todas completas com artigos, tem início o preenchimento da secção seguinte com artigos, seguindo a mesma ordem de colocação dos artigos nas posições.

A distribuição dos artigos no armazém é realizada deste modo até que todos os artigos estejam distribuídos. A cada artigo irá corresponder uma secção e uma posição.

2.4. Definição do processo de análise a adoptar

De modo a simplificar a actualização das localizações dos diferentes produtos no armazém, define-se a seguir um conjunto de passos a adoptar pela empresa com o objectivo de otimizar o armazenamento dos seus produtos.

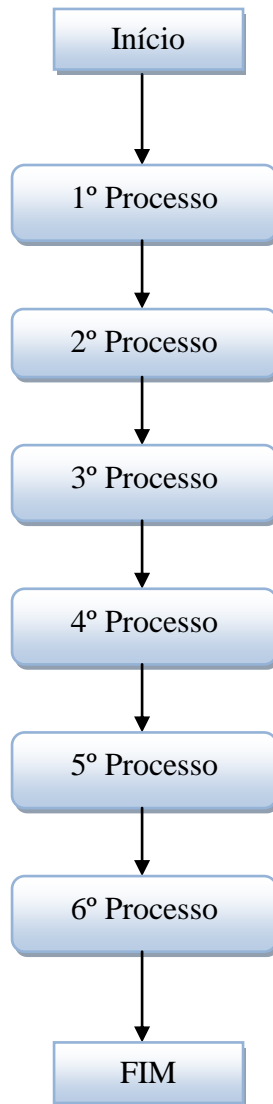


Figura 2.6: Processo para realizar a análise ABC

1º Processo:

Neste processo, efectua-se uma selecção, do ficheiro de dados originais fornecido pela empresa, dos dados que são necessários para realizar a análise ABC. Na Figura 2.7 encontra-se uma imagem dos dados necessários para realizar a análise ABC, alguns dos dados foram retirados dos ficheiros fornecidos pela empresa (dados delineados pelo rectângulo azul), os outros são calculados com base nesses dados (dados delineados pelo rectângulo verde).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	TIPO DE ART	GRUPO DE ART	DATA CRIAÇÃO	CÓD. ARTIGO	DESIGNAÇÃO	ESTADO	ARM PRINCIPAL	NÚM DE MOVIMENTOS	% mov	% ac mov	n de artigos	% por art	ac
1													
2	PA	PA.MRYAM	04-01-2006	8551300002	g.lama frente 20		PAM	304	0,8810	0,8810	1	0,0412	0,0412
3	PA	PA.MRYAM	05-01-2006	8658100001	p.número ya 20		PAM	292	0,8462	1,7272	2	0,0412	0,0824
4	PA	PA.MRHON	11-12-2003	8562600003	g.lama frente 20		PAM	266	0,7709	2,4981	3	0,0412	0,1237
5	PA	PA.MGLEN	09-09-2003	8562100007	g.lama frente 20		PAM	253	0,7332	3,2313	4	0,0412	0,1649
6	PA	PA.MFOLF	27-08-1998	8385000004	fole forqueta 20		PAM	244	0,7071	3,9384	5	0,0412	0,2061
7	PA	PA.MRYAM	02-09-1998	8587000005	g.lama trás y 20		PAM	234	0,6781	4,6166	6	0,0412	0,2473
8	PA	PA.MGLEN	11-09-2007	8569500001	spoiler c/led 20		PAM	222	0,6434	5,2600	7	0,0412	0,2885
9	PA	PA.MRHON	12-12-2003	8661900001	p.número ho 20		PAM	219	0,6347	5,8946	8	0,0412	0,3298
10	PA	PA.MRKTM	16-09-2002	8561200002	g.lama frente 20		PAM	195	0,5651	6,4597	9	0,0412	0,3710
11	PA	PA.MGLEN	09-09-2003	8562100005	g.lama frente 20		PAM	194	0,5622	7,0220	10	0,0412	0,4122
12	PA	PA.MRHON	02-09-1998	8394000001	prot.forqueta 20		PAM	185	0,5361	7,5581	11	0,0412	0,4534
13	PA	PA.MRHON	03-01-2008	8657500001	p.número Ho 20		PAM	180	0,5216	8,0798	12	0,0412	0,4946
14	PA	PA.MACES	13-09-2007	8434600001	bloqueador f 20		PAM	179	0,5188	8,5985	13	0,0412	0,5359
15	PA	PA.MRYAM	26-09-2001	8560500003	g.lama trás y 20		PAM	179	0,5188	9,1173	14	0,0412	0,5771
16	PA	PA.MRYAM	06-04-2006	8551300005	g.lama frente 20		PAM	178	0,5159	9,6331	15	0,0412	0,6183
17	PA	PA.MRHON	06-06-2001	8450000001	protector esi 20		PAM	177	0,5130	10,1461	16	0,0412	0,6595
18	PA	PA.MRKAW	10-01-2006	8452300001	protector esi 20		PAM	170	0,4927	10,6387	17	0,0412	0,7007
19	PA	PA.MRKTM	11-10-2006	8568700001	g.lama frente 20		PAM	170	0,4927	11,1314	18	0,0412	0,7420

Figura 2.7: Folha de dados do ficheiro cedido pela empresa

2º Processo:

Os artigos são filtrados segundo o armazém a que pertencem, neste caso o armazém PAM. Um novo filtro é colocado no conjunto de dados, de modo a obter os artigos classificados como activos.

3º Processo:

Os artigos seleccionados do ficheiro original são ordenados por ordem decrescente do número de movimentos do respectivo ano.

4º Processo:

Calculam-se os parâmetros delimitados pelo rectângulo verde. Para cada um dos parâmetros existe uma fórmula:

a) *Percentagem de movimentos:*

$$\% \text{ Mov.} = \frac{M}{\sum_{i=1}^n M} \times 100$$

onde, M é o número de movimentos de cada artigo.

b) Percentagem de movimentos acumulada:

A percentagem de movimentos acumulada, é calculada através da soma da percentagem do movimento de cada artigo.

c) Percentagem de artigos:

$$\% \text{ Art.} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A} \times 100$$

onde A corresponde a um artigo.

d) Percentagem de artigos acumulada:

A percentagem de artigos acumulada, é calculada da mesma forma que a percentagem de movimentos acumulada, através da soma da percentagem que cada artigo representa.

5º Processo:

Após efectuar os cálculos fazer a análise ABC, curva de Pareto, que relaciona a percentagem do número de movimentos dos artigos com a percentagem do número de artigos.

6º Processo:

Efectua-se a selecção dos artigos mais representativos em termos de movimentos e a respectiva distribuição no armazém.

2.5. Conclusões

Pode ser observado que com a aplicação da análise ABC, é possível obter diferentes classes de artigos, consoante o número de movimentos de cada artigo no armazém. No estudo efectuado e analisando o gráfico representado na Figura 2.4, verifica-se que a classe A é a classe mais importante, pois representa uma elevada percentagem dos movimentos totais no armazém, abrange apenas 25% dos artigos. Contudo esta classe abrange cerca de 71% dos movimentos globais no armazém.

A classe A, por abranger tantos movimentos, é a classe mais importante pois contém os artigos mais movimentados. Ao ordenar os artigos por ordem decrescente do número de movimentos, obtém-se qual o artigo mais movimentado e assim sucessivamente. Deste modo e tendo em consideração a planta do armazém da empresa (Figura 2.5), podemos otimizar o armazenamento dos artigos no armazém de modo a que os artigos mais movimentados fiquem mais perto da zona do cais e das zonas de encomendas.

Os artigos mais movimentados devem de estar colocados de um modo acessível, ou seja, de modo a possibilitar uma rápida recolha seguindo a distribuição descrita na secção 2.3.1.

Após a distribuição dos artigos que pertencem à classe A da análise ABC, devem de distribuídos os artigos pertencentes à classe B. Os artigos que pertencem a esta classe, não são tão importantes como os artigos da classe A, pois têm menos movimentos, contudo devem ser levados em consideração pois representam uma quantidade significativa de artigos e movimentos.

Após o armazenamento dos artigos que constituem as duas classes referidas anteriormente, são armazenados os artigos que constituem a classe C da análise ABC. Esta classe possui mais artigos que as classes anteriores, no entanto em termos de movimentos gerais o seu número é inferior, logo são os artigos que devem de ser armazenados nas zonas mais distantes do cais e das zonas de encomendas.

Com a utilização deste processo para armazenar os diferentes artigos, é possível diminuir o tempo de recolha de artigos, uma vez que os artigos estão mais próximos da zona do cais e das zonas de encomendas. Com este processo o operador que executa a recolha dos diferentes artigos que constituem uma encomenda, geralmente, percorre uma menor distância para recolher os artigos, pois existe uma probabilidade elevada de

ser um artigo que pertence à classe A da análise ABC, logo os artigos estão localizados mais perto da zona do cais e das zonas de encomendas, diminuindo a distância e o tempo de recolha dos artigos que constituem a encomenda.

3. Análise do ciclo de vida dos produtos

3.1. Introdução

Como nós, seres vivos, os produtos também têm um ciclo de vida. A comunidade científica tem debatido o conceito do ciclo de vida do produto, existindo pelo menos, duas definições. Uma definição tem em consideração o progresso de um material inicial, matéria-prima, a produção do produto, utilização e eliminação. A segunda definição, utilizada neste trabalho, tem em conta as vendas dos produtos, ou neste caso, o número de movimentos ao longo do tempo (Ostlin, Sundin e Bjorkman 2009).

O ciclo de vida do produto descreve as fases que cada produto passa, do início ao fim da sua vida. Geralmente o ciclo de vida do produto apresenta quatro fases, introdução, crescimento, maturidade e declínio. O ciclo de vida do produto varia com o tipo de produto, tanto pode ser um ciclo muito curto, como um ciclo comprido (Ostlin, Sundin e Bjorkman 2009) (Pereira e Marques 2006).

Geralmente representa-se o ciclo de vida de um produto através de um gráfico, como representado na Figura 3.1. A curva do ciclo de vida de um produto exprime normalmente a evolução das vendas ao longo do tempo. A venda do produto varia em cada uma das quatro fases. Importa referir que nem todos os produtos passam realmente as quatro fases do ciclo de vida do produto.

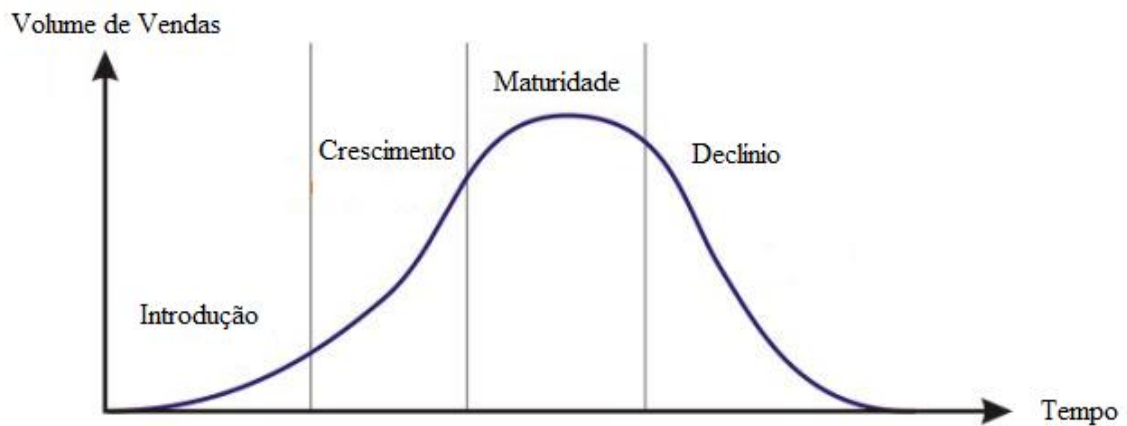


Figura 3.1: Fases do ciclo de vida do produto³

A primeira fase do ciclo de vida, a **introdução**, tem início quando é lançado o produto. A principal característica desta fase é o crescimento do número de vendas do produto ser lento, pelo que os lucros são praticamente inexistentes. A concorrência no mercado é inexistente.

Na segunda fase, **crescimento**, os lucros das vendas aumentam de forma significativa, aumentando também o número de vendas. Durante esta fase surgem os concorrentes de mercado, provocando por vezes um decréscimo das vendas e dos lucros, ficando também por vezes constantes. A taxa de crescimento tende por vezes a desacelerar o que obriga as empresas a analisar a queda do número de vendas de modo a adoptar novas estratégias.

A **maturidade**, que é a terceira fase, é caracterizada pela redução na taxa de crescimento do número de vendas, pois o produto deixou de ser novidade, já é aceite pelos consumidores. O objectivo desta fase é manter os consumidores, tem uma duração mais longa que a fase anterior e nesta fase o lucro estabiliza até começar a entrar em declínio. Começam a surgir desenvolvimentos nos produtos de modo a manter o número de vendas dos produtos.

O **declínio**, é uma fase caracterizada por uma forte queda do número de vendas dos produtos e no lucro. Nesta fase ocorre uma desaceleração, eliminação ou revitalização com a introdução de um novo produto, serviço. Esta queda tem como causas os avanços tecnológicos, perda de consumidores e aumento da competição. As empresas optam por geralmente por reduzir custos, baixar os preços e reduzir a

³ Figura adaptada de <http://www.administracaoegestao.com.br/planejamento-estrategico>

produção. Nesta fase surgem ideias de novos produtos ou melhorias nos actuais, de modo a revitalizar a empresa, de aumentar os lucros nos processos produtivos (Pereira e Marques 2006).

3.2. Caso de estudo

Neste trabalho pretendemos analisar o número de movimentos dos produtos ao longo do tempo, ou seja, o ciclo de vida dos produtos da empresa. Este estudo visa, definir as várias fases do ciclo de vida dos produtos segundo o número de movimentos.

Como o objectivo da empresa ter um maior controlo sobre as suas existências e diminuir o tempo de entrega das encomendas aos seus clientes, a utilização do ciclo de vida, vai permitir definir existências mínimas, consoante a fase do ciclo em que se encontra a partir do número de movimentos. Deste modo prevê-se qual a fase seguinte do ciclo de vida do produto, o que vai influenciar as suas existências e também a sua localização no armazém.

3.2.1. Descrição das diferentes análises efectuadas

Com base nos ficheiros de dados sobre os movimentos de artigos, fornecidos pela empresa, efectuou-se um estudo de análise dos ficheiros dos vários anos. A empresa, disponibilizou dados sobre os movimentos de artigos dos anos de 2005, 2006, 2007, 2008 e até Outubro de 2009.

Para cada um dos ficheiros fornecidos pela empresa, efectuou-se uma análise semelhante utilizando o método descrito no segundo capítulo, na secção 4.5, até ao processo número quatro, ou seja, até obter os artigos por ordem decrescente do número de movimentos e as percentagens definidas também nessa secção.

Ao observar os resultados da análise ABC, surge a necessidade de efectuar novas análises dos ficheiros de modo a obter resultados que permitam mais retirar novas conclusões. Criou-se o ficheiro com o nome de famílias mais movimentadas, onde foram colocados os 20% dos artigos mais movimentados, seleccionados através da análise ABC de cada ano. Os artigos foram ordenados por ordem decrescente do código e foi analisada a presença destes artigos ao longo dos anos, observando-se que a família mais representativa é a de guarda-lamas.

Para o ano de 2009, foram seleccionados todos os artigos da família dos guarda-lamas, e foram agrupados segundo as respectivas marcas, cada grupo contém os 20 artigos, guarda-lamas, mais movimentados. Estes artigos foram novamente ordenados por ordem decrescente dos códigos dos artigos. No fim de observar estes dados decidiu-se efectuar outra análise.

Para efectuar esta nova análise, seleccionou-se novamente os 20% dos artigos mais movimentados de cada ano. Estes artigos foram ordenados por ordem decrescente do código de artigo, de modo a eliminar os artigos repetidos. Foram adicionadas ao novo ficheiro cinco novas colunas com o número de movimentos dos artigos ao longo dos cinco anos. Foi calculado o somatório dos movimentos de cada artigo durante os cinco anos e ordenaram-se os artigos pelo somatório do número de movimentos. Deste conjunto de dados foram seleccionados os sete artigos com o maior número de movimentos.

Para cada um dos artigos seleccionados, estudou-se a sua família, ou seja, foram adicionados os restantes artigos que constituem a família e o respectivo número de movimentos. Para cada família foi criado um gráfico, onde foram representados os números de movimentos ao longo dos anos. Também se encontra representado neste gráfico o número de movimentos da família no decorrer dos anos. Por fim com os dados deste ficheiro foi criado um gráfico que contém o número de movimentos do artigo com mais movimentos de cada uma das sete famílias no intervalo de tempo considerado.

Ao efectuar esta análise não se conseguiu definir com clareza o ciclo de vida do produto. Prosseguiu-se com o estudo sobre os dados disponíveis. No conjunto de dados de 2009 foram seleccionados os artigos criados em 2005, criando um novo ficheiro. Neste ficheiro foram introduzidos o número de movimentos destes artigos em cada ano, assim como o somatório desses movimentos. Ordenaram-se os artigos por ordem

decrecente do número total de movimentos. Foi criado uma gráfico, com os dez artigos mais movimentados deste conjunto, que relaciona os movimentos durante os cinco anos, ver Figura 3.2.

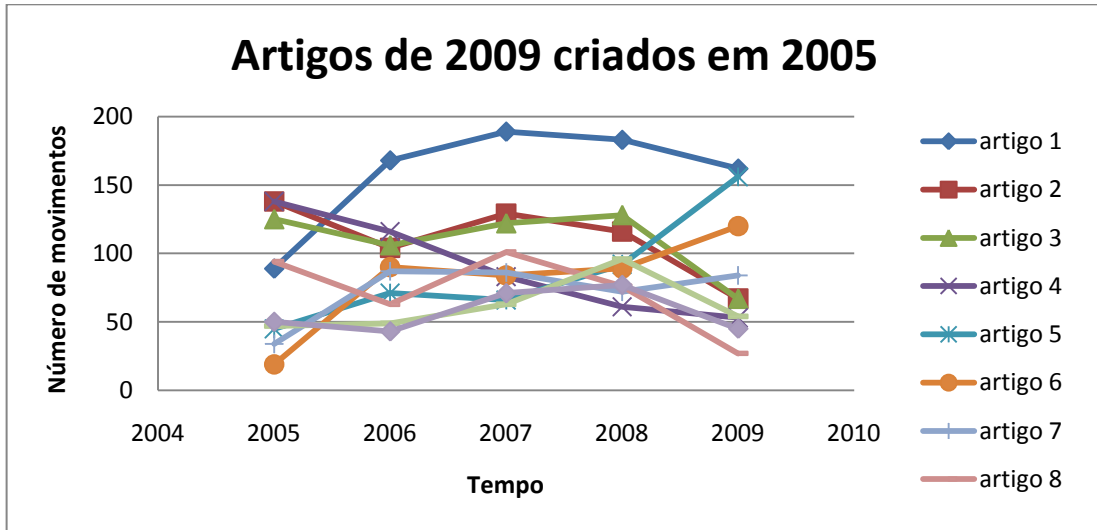


Figura 3.2: Artigos de 2009 criados em 2005

Em seguida foram seleccionados os artigos mais movimentados ao longo dos cinco anos já utilizados anteriormente. Foi criado uma gráfico com este conjunto de dados, relacionando o número de movimentos com o tempo, ver Figura 3.3.

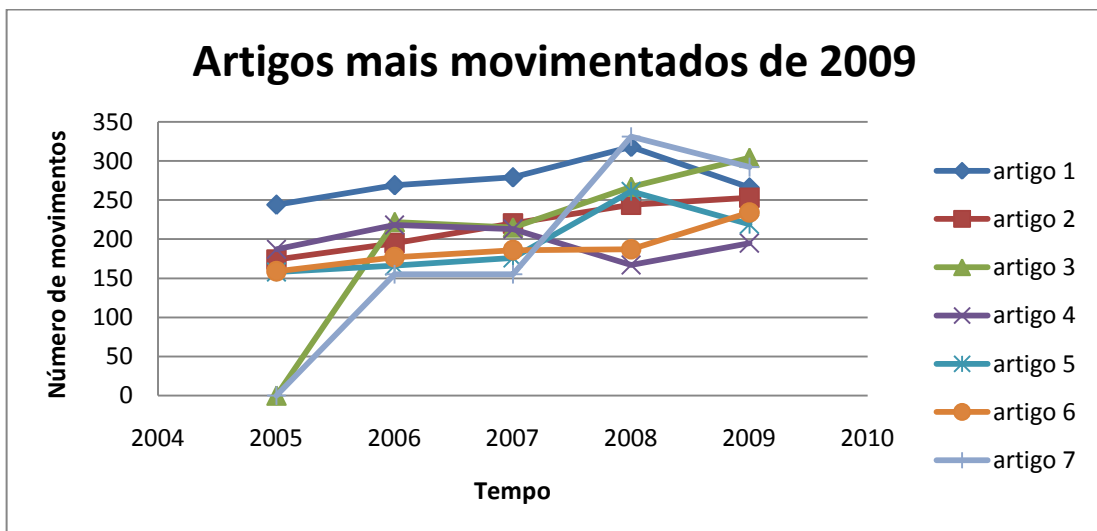


Figura 3.3: Artigos mais movimentados de 2009

No ficheiro de dados de 2009, foram ainda seleccionados os artigos em fim de vida, criados nos anos de 2001, 2002 e 2003. Neste novo ficheiro criado com este

conjunto de dados, foram colocados os números de movimentos dos artigos em cada ano e o respectivo somatório. Os artigos foram ordenados por ordem decrescente do número de movimentos. Foram seleccionados os dez artigos mais movimentados nos cinco anos para construir um gráfico que relaciona o número de movimentos destes artigos durante os cinco anos representado na figura seguinte:

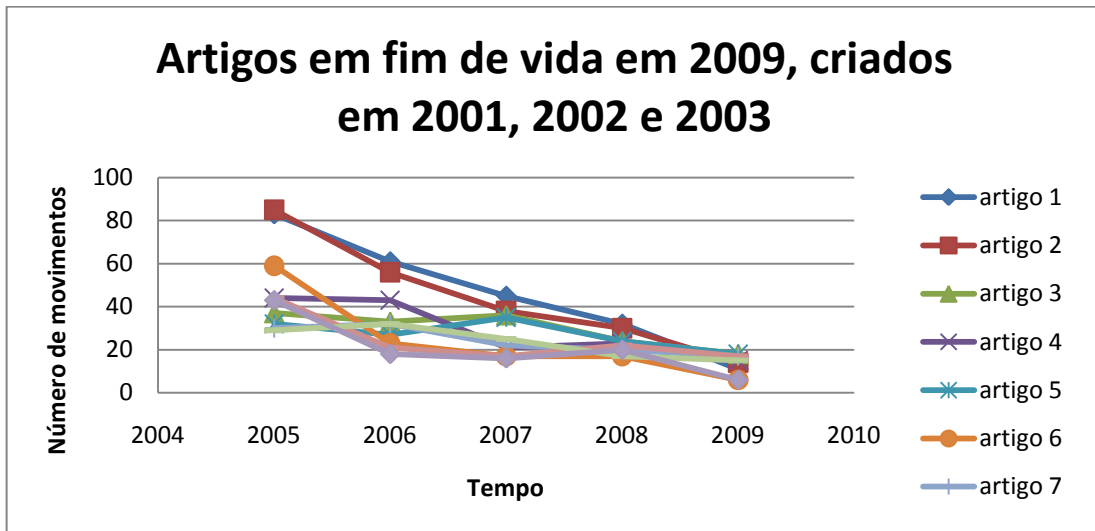


Figura 3.4: Artigos em fim de vida em 2009, criados em 2001, 2002 e 2003

Com o objectivo de facilitar uma análise dos gráficos, apenas foram considerados alguns dos mais representativos e colocaram-se os dados todos num só gráfico, os artigos estão identificados consoante o grupo a que pertencem, os artigos de 2009 criados em 2005 são identificados com a letra a, os artigos mais movimentados de 2009 estão identificados pela letra b, por fim os artigos em fim de vida no ano de 2009 criados em 2001, 2002 e 2003 estão identificados com a letra c.

Cada intervalo das três fases dos gráficos é de cinco anos e estão representados os anos de 2005 a 2009. A representação das três fases num mesmo gráfico permite também ter os dados na mesma escala.

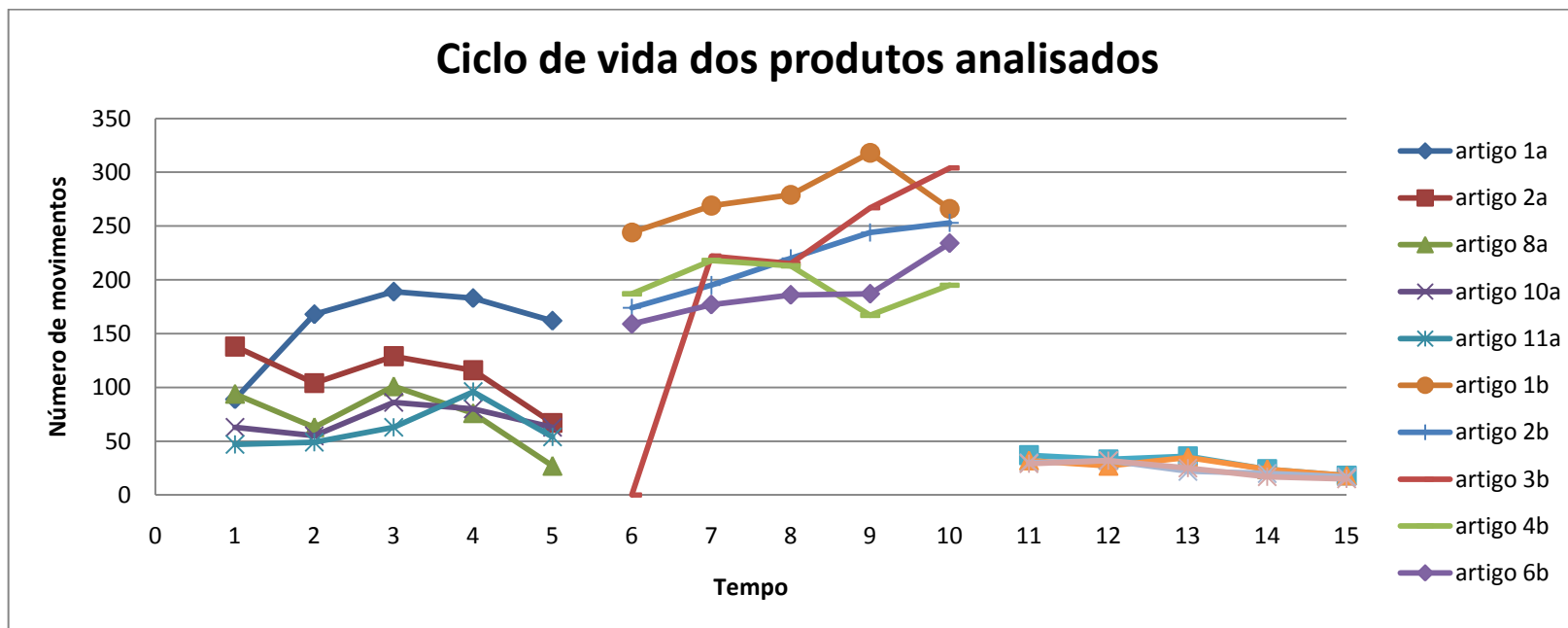


Figura 3.5: Ciclo de vida dos produtos analisados

3.3. Conclusões

A realização deste estudo tinha como objectivo a análise do ciclo de vida dos artigos. O estudo centrou-se na análise dos movimentos de modo a representar três fases do ciclo de vida de um produto, o crescimento, a maturidade e o declínio.

Para cada uma das fases, foram seleccionados diferentes tipos de artigos. Para a fase de crescimento foram seleccionados artigos de 2009 que foram criados em 2005, de modo a observar se o número de movimentos ao longo dos primeiros cinco anos. Para a fase de maturidade, foram seleccionados os artigos mais movimentados de 2009. Para a fase de declínio, foram seleccionados os artigos de 2009, criados em 2001, 2002 e 2003, com um número de movimentos baixos.

Como descrito anteriormente, o objectivo do estudo era seleccionar um determinado número de artigos e ao analisar os seus movimentos, construir um gráfico representativo do seu ciclo de vida.

Pode-se concluir que não existem elementos suficientes para a definição do ciclo de vida. Para o efeito seriam necessários dados de um período de tempo superior. O caso ideal seria ter de todos os movimentos, desde a sua criação até ao seu fim. Com os dados disponibilizados pela empresa, e após vários estudos, não foi possível definir o ciclo de vida dos produtos armazenados pela empresa.

4. Análise do processo de recolha dos artigos de uma encomenda

Como a generalidade das empresas actuais também a estudada está inserida num mercado com uma componente concorrencial muito forte. Apesar de ser considerada uma empresa de excelência no sector de mercado onde se insere, não deixa por isso de procurar melhorar os seus processos tendo em vista reduzir os seus prazos de entrega melhorando desta forma a resposta aos clientes.

Com este objectivo, a empresa possui uma estratégia de Inovação e Desenvolvimento constante, que permite o desenvolvimento de processos num ambiente organizado e funcional. Este tipo de estratégia permite o surgimento de novas ideias, novas ferramentas e novos processos produtivos (Teixeira 2008).

Um dos propósitos deste trabalho, vem na sequência do exposto no parágrafo anterior e visa a diminuição do tempo de recolha dos artigos, “*piking*”, pertencentes a uma encomenda. Deste modo procura-se reduzir o tempo de resposta no processamento da encomenda e como consequência do prazo de entrega, contribuindo para maior satisfação dos clientes.

O caso em estudo insere-se no tipo de problemas de planeamento de rotas, conhecido como planeamento de rotas de veículos (VRP).

Neste capítulo são referenciados diferentes métodos para a resolução deste tipo de problemas, secção 4.1, na secção 4.2 é analisado o caso estudado, na empresa. Na secção 4.3 o problema é formulado matematicamente. Na secção 4.4 são referidos alguns dos métodos de resolução de problemas de planeamento de veículos. É analisado o método actualmente utilizado pela empresa na secção 4.5. Na secção 4.6 é apresentada uma solução possível para o problema em estudo. Na secção 4.7 será analisada uma optimização do processo de recolha de artigos no armazém, é apresentada uma metaheurística, o algoritmo da recristalização simulada. Por fim na secção 4.8 são expostas as conclusões deste capítulo.

4.1. O Problema de Planeamento de Rotas de Veículos (VRP – “*Vehicle Routing Problem*”)

O Problema de Planeamento de Rotas de Veículos, conhecido por “*Vehicle Routing Problem*” (VRP), tem como objectivo encontrar a melhor rota de entrega de mercadorias a partir de um ou vários centros de distribuição até um determinado número de clientes espalhados por uma determinada região. A solução óptima da resolução de um VRP, permite saber como deverá ser efectuado o trajecto para obter o máximo de lucro (Toth e Vigo 2002) (Tang, Zhang e Pan 2009) (Guerreiro 2009).

O VRP surgiu pela primeira vez com os estudos efectuados, na área dos transportes, distribuições e logística, por Dantzig, Ramser em 1959. O problema formulado por Dantzig tem sido desde então um dos mais estudados por parte da comunidade científica (Bräysy, et al. 2008) (Eksioglu, Vural e Reisman 2009).

Existem variantes ao problema de planeamento de rotas de veículos, que são obtidas pela inclusão de restrições ou modificações em relação ao VRP clássico. De referir como exemplos, o problema com vários centros de distribuição (multi-depot vehicle routing problem - MDVRP); problemas com janelas temporais (*vehicle routing problem with time Windows - VRPTW*) (Tang, Zhang e Pan 2009).

Este tipo de problemas de optimização, têm várias aplicações, desde as rotas de veículos de distribuição de mercadorias ou serviços a clientes, entregas urgentes de encomendas, transportes de pessoas, recolha de lixo, e neste caso a recolha de artigos para uma encomenda.

4.2. Constituição de um VRP clássico

Os problemas de planeamento de rotas de veículos, apresentam uma elevada complexidade na sua aplicação a casos reais, pelo que é útil o recurso a sua modelação matemática. Um problema VRP, é constituído por uma função objectivo e por várias restrições, que é necessário satisfazer (Guerreiro 2009).

4.2.1. Função objectivo

Nestes tipos de problemas, o objectivo é a optimização de um processo, ao qual estão associados custos fixos e custos variáveis. A função objectivo, visa minimizar os custos, as distâncias percorridas, a duração das rotas, o tamanho das frotas, entre outros exemplos.

As funções objectivo podem ser articuladas em problemas que possuem mais do que um objectivo, neste caso estamos perante funções multi-objectivo (Guerreiro 2009).

4.2.2. Restrições

Existem vários tipos de restrições nos problemas de planeamento de rotas de veículos, estas restrições são adaptadas para cada problema, pois variam com as diferentes situações reais.

Entre as principais restrições, encontram-se as restrições dos veículos, as restrições dos clientes e as restrições das rotas, a Tabela 4.1 apresenta vários exemplos de restrições (Guerreiro 2009).

Tabela 4.1 Principais restrições de um VRP

Restrições dos veículos	Restrições dos clientes	Restrições das rotas
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade dos veículos; • Tipo de carga que podem transportar; • Operações de carga e descarga dos veículos; • Dimensão e heterogeneidade da frota; • Factores humanos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Características do nível de serviço exigido; • Particularidades físicas; • Quantidade e tipo de bens; • Possibilidade de entregas fraccionadas; • Limites temporais de carga e descarga de bens; 	<ul style="list-style-type: none"> • Horários limites das viagens; • Tempo das viagens; • Distâncias máximas de viagem de um veículo;

4.2.3. Variáveis de decisão

As variáveis de decisão, permitem otimizar a função objectivo e estão, geralmente, relacionadas com os veículos, janelas temporais e quantidades de mercadorias. A variável de decisão são normalmente representada por x_{ijk} , definindo qual o veículo que vai visitar o cliente j depois de ter visitado o cliente i na rota k (Guerreiro 2009).

4.2.4. Hipóteses e características do problema

As hipóteses e as características do VRP estão relacionadas com as suas restrições. Podem ser adicionadas ou alteradas as características do problema de modo a obter uma melhor representação do problema.

As características e hipóteses do problema dependem, geralmente, do número de visitas aos clientes, da procura dos clientes, da distribuição da carga e as características da frota dos veículos (Guerreiro 2009).

4.3. Formulação matemática de um VRP

O problema de planeamento de rotas de veículos, é considerado uma generalização do Problema do Caixeiro-Viajante (“*Travelling Salesman Problem*” - *TSP*). Este problema tem como objectivo definir uma rota, que cumprindo as restrições do problema, permita que o caixeiro visite todas as cidades uma única vez, voltando para o ponto inicial, pelo caminho mais curto (Toth e Vigo 2002) (Turkensteen, et al. 2008) (Guerreiro 2009).

Para um VRP clássico o objectivo, continua a ser o de minimizar o custo, distância ou tempo de uma rota que satisfaça os pedidos dos clientes, partindo de um armazém central (Toth e Vigo 2002).

A formulação matemática do VRP, segundo Guerreiro 2009, consta num grafo $G=(V,A)$, formado por um conjunto de vértices $V=\{v_0,v_1,\dots,v_n\}$ interligados pelo conjunto de arcos $A=\{(v_i,v_j):v_i,v_j\in V,i\neq j\}$. O vértice v_0 representa o centro de distribuição onde estão disponíveis m veículos com capacidades $\{Q_1,Q_2,\dots,Q_n\}$. A cada vértice de $V\setminus\{v_0\}$ equivale um cliente que é necessário visitar, com uma quantidade q_i de um produto, serviço, que é necessário entregar ou recolher com um tempo d_i associado à operação. Ao conjunto A está associada uma matriz simétrica de custos não negativos $C=(c_{ij})$ que representa o custo, distância ou tempo, que é necessário percorrer entre dois nós i e j , $c_{ij}=c_{ji}$. O veículo k necessita de t_{ij} unidades de tempo para percorrer a distância que une os nós i e j , mais o tempo de associado à operação de descarga e administrativa, referentes ao cliente i , só após estas restrições poderá avançar para o cliente seguinte, representado pelo nó j . A soma das quantidades

de que cada cliente pede, d_i , não pode exceder a capacidade, Q_k , do veículo k , este veículo, não pode exceder a duração D_k da rota.

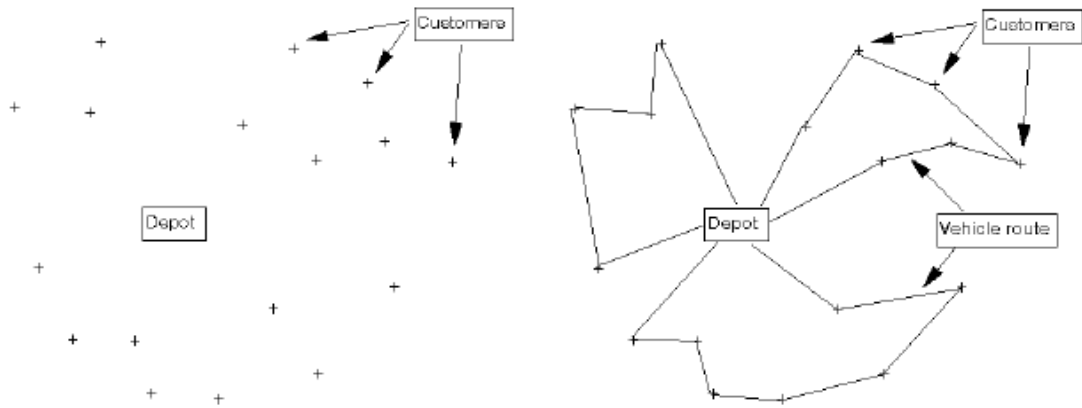


Figura 4.1: Exemplo de uma aplicação de um VRP (Guerreiro 2009)

Formulação clássica de Problema de Planeamento de rotas de veículos (baseada em Guerreiro 2009)

A formulação a seguir apresentada traduz um problema clássico de planeamento de rotas de veículos, em que o objectivo do problema é encontrar m rotas no grafo G de menor custo que obedeçam às restrições impostas.

a) Índices

i – Local visitado

j – Local a visitar

k – Veículo

b) Parâmetros

c_{ij} - Custo de deslocação entre o local i e o local j

q_i - Quantidade pedida pelo local i

Q_k - Capacidade máxima do veículo k

D_k - Duração máxima da rota percorrida pelo veículo k

t_{ij} - Tempo de viagem entre o ponto i e j

t_i - Tempo necessário na operação de descarga no local

c) Variáveis de decisão

x_{ijk} - Variável binária que toma o valor de 1 se o veículo k visita o cliente j após ter visitado o cliente i , caso contrário assume o valor 0.

d) Função objectivo

$$\text{Minimizar } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} \quad (4.1)$$

e) Restrições

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad , j=0,1,\dots,n \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1 \quad , k=1,\dots,m \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ipk} = \sum_{j=0}^n x_{pjk} \quad , k=1,\dots,m; p=0,\dots,n \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_i x_{ipk} \leq Q_k \quad , k=1,\dots,m \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (t_{ij} + t_i) x_{ipk} \leq D_k \quad , k=1,\dots,m \quad (4.6)$$

$$\sum_{v_i \in S} \sum_{v_j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad , k=1,\dots,m; 2 \leq |S| \leq V \quad (4.7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad , i, j=1,\dots,n; k=1,\dots,m \quad (4.8)$$

A função objectivo (4.1) minimiza o custo total. A equação (4.2) garante que apenas um veículo visita o cliente. A restrição (4.3) impõe a saída ou não do veículo k que, caso seja necessário à operação, realiza uma única rota. A equação (4.4) assegura o movimento dentro de cada rota, ao obrigar cada veículo k a partir do cliente j após visitado o cliente i . As restrições (4.5) e (4.6) definem a capacidade máxima que um veículo pode transportar e a duração máxima que um camião pode demorar a percorrer a

rota que lhe é atribuída. Finalmente, a equação (4.7) restringe a existência de subrotas, onde S é um subconjunto de clientes, e em (4.8) definem-se as variáveis de decisão como binárias.

4.3.1. Formulação do VRP para o caso de estudo

No caso de estudo, a empresa tem como objectivo reduzir o tempo de recolha dos artigos que constituem uma encomenda. Uma encomenda é constituída por vários artigos, existe um operador responsável por cada encomenda, ou seja, o operador tem que percorrer vários pontos do armazém onde se encontram localizados os artigos. Existe uma capacidade máxima que pode ser transportada pelo operador em cada rota efectuada.

Estamos perante um problema semelhante a um problema de planeamento de rotas de veículos clássico. Contudo será necessário efectuar algumas simplificações ou alterações de restrições. No caso do problema analisado $k=1$ uma vez que cada encomenda é satisfeita por um só operador. Em seguida será apresentada a formulação matemática do problema em estudo.

a) Índices

i – Local visitado

j – Local a visitar

b) Parâmetros

c_{ij} - Distância entre o local i e o local j

D_k - Duração máxima da rota percorrida pelo operador

Q_k - Capacidade máxima do veículo k

t_{ij} - Tempo de viagem entre o ponto i e j

c) Variáveis de decisão

x_{ij} - Variável binária que toma o valor de 1 se o operador visita o cliente j após ter visitado o cliente i , caso contrário assume o valor 0.

d) Função objectivo

$$\text{Minimizar } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad (4.9)$$

e) Restrições

$$\text{Sujeito a: } \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ik} = 1 \quad , j=0,1,\dots,n \quad (4.10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ipk} \leq Q_k \quad , k=1 \quad (4.11)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ip} = \sum_{j=0}^n x_{pj} \quad , p=0,\dots,n \quad (4.12)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad , i, j=1,\dots,n; \quad (4.13)$$

A função objectivo (4.9) baseia-se em minimizar a distância total percorrida pelo operador. A equação (4.10) garante que apenas um veículo visita o cliente. A restrição (4.11) define a capacidade máxima que um veículo pode transportar. A equação (4.12) assegura o movimento dentro de cada rota, ao obrigar cada operador a partir do cliente j após visitado o cliente i . Finalmente, na equação (4.13) definem-se as variáveis de decisão como binárias.

4.4. Métodos de Resolução de Problemas de Planeamento de Rotas de Veículos

Nesta secção vão ser apresentados os principais métodos de resolução que são aplicados ao *Vehicle Routing Problem* (VRP). É possível distinguir duas vertentes na resolução deste tipo de problemas:

- A vertente teórica, que é centrada no estudo de métodos analíticos exactos de resolução dos problemas, que permitem obter a solução óptima do problema;
- A vertente prática, que é centrada na resolução dos problemas com base em técnicas heurísticas, que não são optimizantes, que permitem soluções mais realistas para os problemas analisados (Belfiore 2006).

Apesar dos esforços realizados pela comunidade científica, as respostas dos métodos de solução exacta, não se ajustam completamente aos problemas reais da indústria. Os métodos exactos, têm grandes dificuldades na resolução de problemas de grandes dimensões, uma vez que o esforço computacional para a resolução dos problemas, aumenta de forma exponencial com a dimensão do problema.

Para problemas de maior complexidade, em alternativa aos métodos optimizantes, são utilizadas heurísticas, que são técnicas que permitem obter soluções aproximadas. Estas técnicas são usadas quando a dimensão do problema impossibilita qualquer abordagem exacta, computacionalmente muito mais exigente.

4.4.1. Métodos exactos

Os métodos exactos, aqueles que permitem obter soluções comprovadamente óptimas, permitem nalguns casos, a determinação de soluções para problemas de planeamento de rotas de veículos. Estes métodos constituem algoritmos de pesquisa exaustivos que percorrem todo o espaço de pesquisa obtendo uma solução óptima do problema. Todavia, a aplicação destes métodos é restrita em ambientes caracterizados

por uma elevada complexidade, uma vez que demoram demasiado tempo a encontrar a solução óptima, o que muitas vezes a torna inviável (Estevam 2003) (Guerreiro 2009).

Estes métodos não devem de ser logo rejeitados como solução, uma vez que os algoritmos exactos podem fornecer informações importantes sobre a qualidade de soluções sub óptimas.

Existem vários métodos exactos para a obter uma solução óptima, entre os mais referenciados, destacam-se (J. Reis 1996).

4.4.1.1. Enumeração Completa

A enumeração completa, baseia-se na numeração de todas as soluções possíveis para o problema formulado. Para este método o tempo de computação necessário para obter uma solução óptima é demasiado elevado, logo encontrar a solução óptima é praticamente impossível. Neste caso o número de soluções possíveis aumenta de forma exponencial com as restrições dos problemas, pelo que a sua utilização para a resolução de problemas de planeamento de rotas com interesse prático, é muito reduzida (Rinnooy 1976) (J. Reis 1996).

4.4.1.2. Programação Matemática

A programação linear, caso particular da programação matemática, é considerada como um método muito importante na formulação de problemas de sequenciamento. Este método, possibilita a resolução de problemas de optimização, que tenham a sua função objectivo e as suas restrições, lineares.

Quando estamos perante um problema em que todas as variáveis pertencem ao conjunto de números inteiros, designa-se por programação inteira. Um caso particular da programação inteira, ocorre em situações em que as variáveis são binárias. Existe ainda a programação inteira mista, caso em que a programação inteira inclui variáveis inteiras e outras variáveis contínua.

Qualquer problema de dimensão reduzida, dá origem a um número de variáveis e constrangimentos, que tornam o problema de difícil resolução, NP-difícil, o que limita a sua aplicação em ambientes reais (Rinnooy 1976).

4.4.1.3. Branch and bound

Surgiu em 1960, proposto por *Land* e *Doig*, é uma das técnicas mais utilizadas para resolver problemas de optimização, foi desenvolvido inicialmente para a resolução de problemas de programação inteira mista e problemas da família do problema do caixeiro-viajante (TSP) (J. Reis 1996).

O algoritmo “*branch-and-bound*” é baseado em três conceitos fundamentais: a) “*Branching*”, resume-se na formulação de uma árvore de nós para subproblemas com menores dimensões, mais simples de resolver; b) Numa estratégia para escolher o próximo subproblema a analisar; c) “*Bounding*”, a comparação com dois limites, um superior e outro inferior, aos quais a solução tem que respeitar para ser considerada viável (Clausen 1999).

Deste modo quando o algoritmo avança, o problema inicial é dividido em subproblemas, a cada subproblema aplica-se o “*Bounding*”, onde o limite superior é obtido com a melhor solução adquirida até ao momento e o limite inferior através de uma pré-resolução do problema inicial. Se a solução obtida melhorar a função objectivo é aceite, caso contrário é rejeitada, o que se traduz na exploração parcial da árvore de soluções possíveis.

No entanto este tipo de método tem um comportamento computacional imprevisível, uma vez que o número de passos do algoritmo aumenta exponencialmente com o tamanho do problema dado (Blazewicz, et al. 1994) (J. Reis 1996).

4.4.2. Heurísticas de aproximação

As heurísticas de aproximação surgem devido às dificuldades de adaptação dos métodos exactos a ambientes reais, pois são muitas vezes inviáveis. Estas heurísticas não obtêm a solução exacta dos problemas, contudo, são algoritmos com uma elevada capacidade de adaptação a problemas reais.

Estes algoritmos são também designados por subóptimos, uma vez que quando são utilizados, surge sempre a dúvida a que distância a solução obtida se encontra da solução óptima (Zachariadis e Kiranoudis 2010) (Guerreiro 2009) (Estevam 2003).

A utilização destes algoritmos, é por isso, generalizada quando estamos perante problemas de planeamento de rotas de veículo. Baseado em Guerreiro 2009, podemos classificar as heurísticas de acordo com o seu método de funcionamento:

- ✓ Heurísticas clássicas;
 - Heurísticas construtivas;
 - Heurísticas 2 fases;
 - Heurísticas de melhoria sequencial;
- ✓ Metaheurísticas:
 - Uma solução única;
 - Uma população de soluções;
 - Soluções obtidas através de mecanismos de aprendizagem;
- ✓ Métodos híbridos;

4.4.2.1. Heurísticas clássicas

Existem várias heurísticas com a capacidade de resolver o VRP, as heurísticas clássicas foram desenvolvidas nas décadas de 60 a 90, vieram introduzir vários conceitos agregados nos algoritmos actuais. Buscam resolver problemas baseados em regras empíricas, cuja aplicação depende do tipo de problema.

Este tipo de heurísticas têm como principal desvantagem, o facto de explorarem apenas um subconjunto da totalidade de soluções possíveis. Realizam pesquisas locais, o que por vezes leva a que fiquem fixos em locais subóptimos, pois um afastamento dessa solução implica uma deterioração da função objectivo (Zachariadis e Kiranoudis 2010) (Guerreiro 2009).

As heurísticas clássicas podem ser organizadas da seguinte forma segundo Guerreiro 2009:

- **Heurísticas de construção**, constroem de forma gradual uma solução possível tendo em conta o valor da função objectivo da solução obtida;
- **Heurísticas 2 fases**, neste caso o problema é decomposto em duas componentes distintas, o grupo de pontos a interligar em rotas possíveis e a construção da rota em si;
- **Heurísticas de melhoria sequencial**, através de trocas entre pontos dentro de uma rota ou entre rotas, experimentam melhorar a solução final.

Um dos algoritmos, pertencentes a esta classe, mais utilizados para resolver os problemas do tipo VRP, é o algoritmo de Clark e Wright (1964), também conhecido como algoritmo “Savings”. De referir também o algoritmo de pesquisa local, “*local search*”.

4.4.2.2. Metaheurísticas

São métodos que como base as heurísticas tradicionais, mas utilizam conjuntos de regras que subjagam o processo local a uma estratégia global, o que permite uma diversificação da pesquisa pelo espaço explorado mesmo quando é encontrado um local subóptimo.

Uma definição para metaheurísticas, segundo Guerreiro 2009, são “*métodos que “guiam” procedimentos de melhoria local através de estratégias de alto nível para criar um processo capaz de fugir de óptimos locais e produzir uma busca robusta pelo espaço de soluções possíveis*”.

Uma metaheurística tem como objectivo explorar o espaço de busca de forma a obter soluções óptimas ou quase óptimas. Este tipo de algoritmos varia desde regras simples aplicadas a métodos de pesquisa local até processos complexos. Mesmo não conseguindo encontrar muitas vezes a solução óptima, encontram uma solução próxima da óptima em tempo útil, o que os métodos exactos quase nunca conseguem obter (Guerreiro 2009) (Zachariadis e Kiranoudis 2010).

As metaheurísticas podem ser classificadas de diversas formas, consoante o critério a adoptar para a classificação. O nível de exploração da vizinhança também varia, consoante o procedimento adoptado. A classificação que se segue, segundo Guerreiro 2009, tem como critério de classificação, o tipo de soluções que o algoritmo obtém por iteração:

- Uma solução única:
 - Algoritmos baseados no processo físico de arrefecimento como o Simulated Annealing (SA);
 - Tabu Search (TS) e as suas extensões como o Granular Tabu Search (GTS);
 - Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP);
 - Iterated Local Search;
 - Variable-Neighborhood Search;

- Uma população de soluções:
 - Evolutionary Algorithms (EAs) como os Algoritmos Genéticos (GAs) ou Scatter Search (SS);
 - Adaptive Memory Procedures (AMPs);

- Soluções obtidas através de mecanismos de aprendizagem:
 - Neural Networks (NN);
 - Ant Algorithms (AAs) e algoritmos subsequentes, inspirados no comportamento das colónias de formigas
 - Particle Swarm Optimization(PSO).

4.4.2.3. Métodos Híbridos

Os métodos híbridos, surgiram nos últimos anos, são métodos que assentam em ideias de vários métodos de heurísticas, metaheurísticas, bem como outros campos da investigação operacional.

Têm ganho importância, pois surgem com o objectivo de obter um método que garanta um melhor desempenho do que as estratégias que lhe dão origem isoladamente, ou seja, um método que permita obter soluções com mais qualidade e um menor custo computacional. Assentam na base de que não pode existir uma única estratégia de optimização que seja globalmente mais eficaz que todas as outras.

Para resolver um problema complexo de VRP, utilizando um método híbrido, geralmente requer o desenvolvimento de um algoritmo especialmente adaptado ao problema, utilizando conceitos de outros algoritmos, de modo a obter uma eficácia maior. Contudo este algoritmo utilizado será menos flexível para uma posterior adaptação a outros problemas (Marinakakis e Marinaki 2009) (Guerreiro 2009).

De acordo com Guerreiro 2009, existem três formas de hibridação: i) A primeira consiste em compreender componentes de uma metaheurística noutra metaheurística; ii) A segunda forma de hibridação tem como base a troca de informação entre no mínimo

dois algoritmos, que são executados em paralelo, percorrendo os dois o espaço de pesquisa; iii) A terceira forma de hibridação utiliza métodos aproximados com métodos exactos, programação com restrições e árvore de pesquisa. Deste modo é possível a resolução de problemas complexos de uma forma mais eficaz.

4.5. Análise da heurística utilizada no caso de estudo

Como um dos objectivos do corrente trabalho é otimizar o processo de recolha dos artigos de uma encomenda, irá ser feita uma breve análise sobre o processo de recolha que a empresa utiliza na actualidade. Para que ocorra uma optimização do processo de recolha, decidiu-se analisar o percurso efectuado durante a recolha dos artigos da encomenda, de modo a minimizar o seu tempo de execução.

Actualmente, a empresa para definir qual a rota que o operador deve efectuar para recolher os artigos que constituem uma encomenda, utiliza uma heurística simples.

Esta heurística consiste em determinar a rota a percorrer pelo operador segundo o posicionamento dos artigos nas diferentes secções e a sua posição. O operador começa por percorrer a secção que se encontra mais próxima do cais, percorrendo depois as restantes secções. Na Figura 4.2 está representada a rota que o operador segue actualmente para a recolha dos artigos.

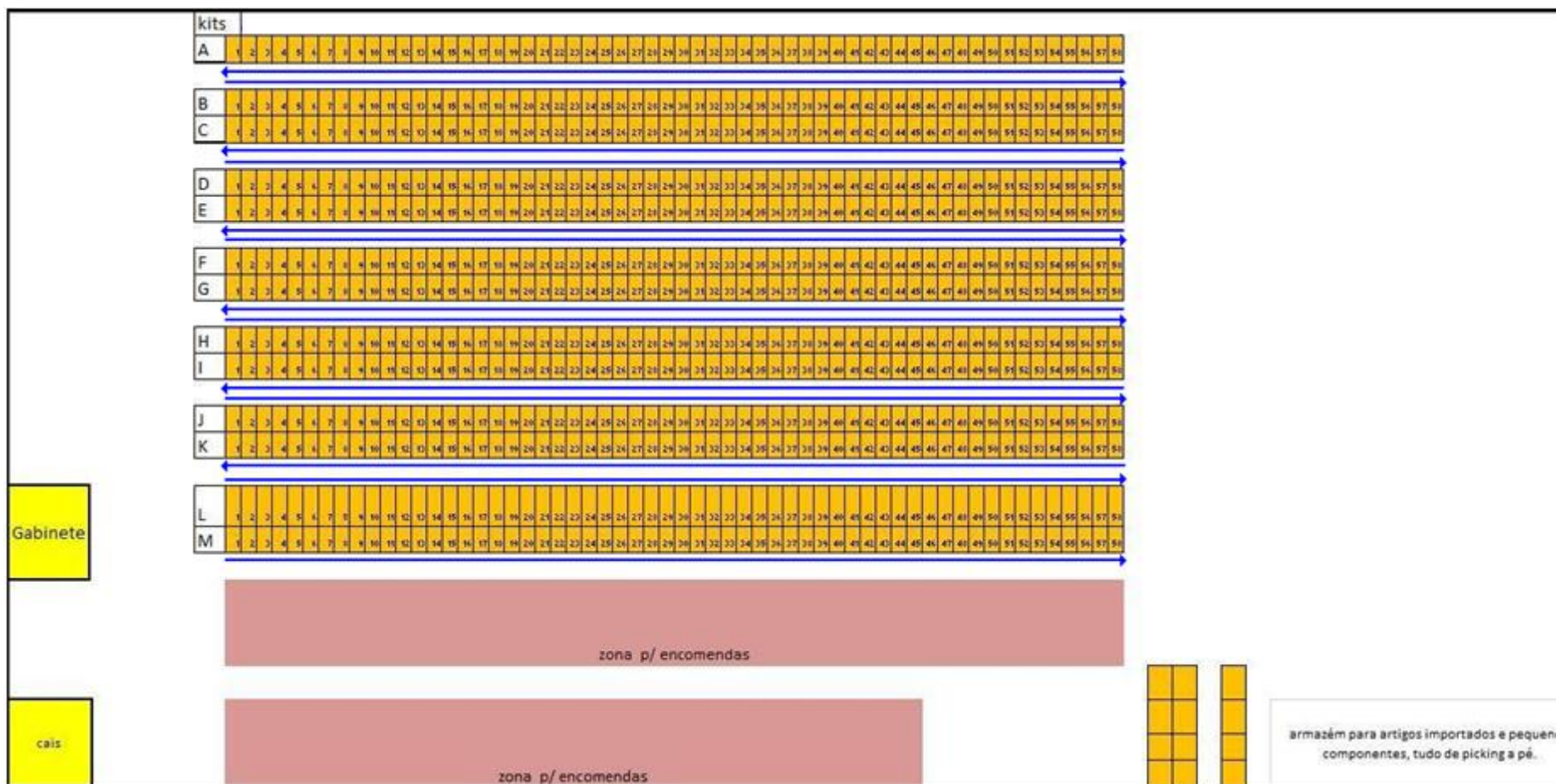


Figura 4.2: Representação do trajecto efectuado pelo operador ao recolher os artigos do armazém PAM

Como se pode observar na Figura 4.2, a heurística que define a rota a ser percorrida pelo operador, quando recolhe os artigos de uma encomenda, pode ser melhorada.

4.6. Formulação para o problema em estudo

Nesta secção será apresentada uma solução para problema formulado na secção 4.3.1. A heurística que será elaborada, tem como objectivo obter a rota mais curta para recolher os artigos de uma determinada encomenda.

Como observado anteriormente a heurística actual praticada na empresa para a recolha de artigos, é passível de melhoramentos. Essa heurística de melhoramento será descrita em seguida.

Como podemos observar na Figura 4.2 o armazém da empresa em estudo, possui treze secções, cada secção é identificada por uma letra, de A a M. Todas as secções têm três pisos e cinquenta e oito posições.

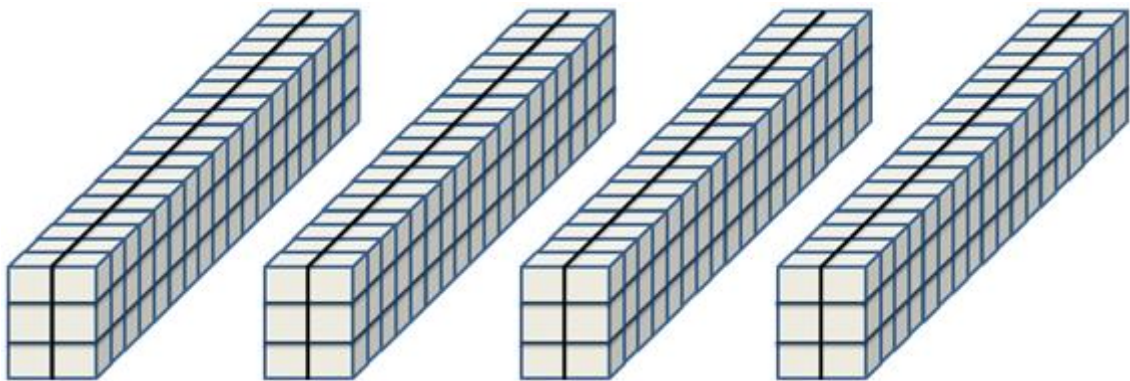


Figura 4.3: Representação esquemática de algumas secções do armazém

Por uma questão operacional, o piso que se situa ao nível do chão, é o piso preferencial, uma vez que para efectuar recolhas neste piso, o operador não necessita de

empilhador, contrariamente ao que acontece nos pisos superiores. Para este estudo vamos ter em consideração o nível zero, ou seja, o piso que se situa ao nível do chão.

Como se pode observar através da Figura 4.2 e da Figura 4.3, existem secções que se encontram em frente umas das outras. Estas secções são, a secção L e K, J e I, H e G, F e E, D e C, B e A. Se o operador tem que percorrer estas secções, poderá percorrer duas secções em simultâneo. Quando o veículo atinge a capacidade máxima, o operador deve de ir à zona do cais descarregar e voltar ao ponto onde se encontrava para continuar com a recolha dos artigos.

Neste caso, quando o operador receber uma encomenda, composta por diversos artigos, tendo como ponto de partida a zona de encomendas, deverá:

Heurística inicial:

- 1) Se, a encomenda possuir artigos localizados na secção M, percorrer a secção M e recolher os artigos nela localizados.
- 2) Se, a encomenda está completa, o operador deve voltar ao ponto de partida, zona de cais, caso contrário, deve continuar.
- 3) Procede de igual forma até esgotar as linhas da encomenda.

Com a realização desta heurística, é previsível uma redução do tempo de recolha dos artigos. Este procedimento pode contudo ser ainda mais eficaz.

Para melhorar o processo de recolha dos artigos de uma encomenda, podem ser incrementados valores a cada ponto de localização do armazém. Cada artigo terá uma dada localização, que é representada por:

$$S_{LL,P}$$

Onde, S representa a secção onde está localizado o artigo (varia de A a M), LL representa o lugar que o artigo ocupa em determinada secção (varia de 1 a 58) e P representa o piso onde está o artigo.

Para que o operador se desloque de uma secção para outra, como existem dois tipos de localizações, caso em que a secção seguinte está de frente para a secção actual,

no mesmo corredor, e o caso em que a secção seguinte obriga a trocar de corredor, vão ser atribuídos dois valores diferentes de incrementação. Esta diferença ocorre porque a distância quando é necessário mudar para o corredor seguinte é maior.

Assim quando o operador muda de secção, mas não é necessário mudar de corredor, por exemplo, da secção L para a secção K, o valor a incrementar será de duas unidades. Quando o operador tem que mudar de corredor para prosseguir para a próxima secção, o valor a incrementar será de cinco unidades. Cada secção de artigos é composta por cinquenta e oito locais de armazenamento, assim cada local de armazenamento corresponde a uma unidade a incrementar.

O melhor percurso para o operador efectuar a recolha de todos os artigos que compõem a encomenda será o caminho que possuir menos unidades, ou seja, o caminho mais curto dado que as unidades a incrementar referem-se a distâncias. Sempre que o veículo utilizado para recolher os artigos atingir a sua capacidade máxima, o operador deve-se deslocar à zona do cais e descarregar os artigos, voltando em seguida ao ponto onde se encontrava.

O operador ao recepcionar a encomenda, deve dirigir-se para o ponto de localização do artigo mais distante, de modo a começar a recolha dos artigos da localização mais distante para a localização mais próxima da zona do cais.

Este problema pode ser traduzido por uma matriz triangular, de cinquenta e oito localizações a multiplicar pelo número de filas (treze), pois não estamos a considerar os diferentes pisos, apenas o piso 0, ou seja, setecentas e cinquenta linhas por setecentas e cinquenta colunas:

$$\begin{array}{cccccc}
 S_{LL} & A_{01} & A_{02} & A_{03} & \cdots & M_{58} \\
 A_{01} & 0 & d & d & \cdots & d \\
 A_{02} & d & 0 & d & \cdots & d \\
 A_{03} & d & d & 0 & \cdots & d \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & d \\
 M_{58} & d & d & d & d & 0
 \end{array}$$

Figura 4.4: Matriz representativa do problema em estudo para o piso zero

Depois de recolher os artigos do piso zero, o operador com o auxílio de um empilhador, recolhe os artigos dos pisos superiores, o piso um e o piso dois.

O processo de recolha dos artigos para os dois pisos superiores do armazém, é semelhante ao processo de recolha dos artigos do piso zero, a única alteração é o tipo de veículo utilizado para a recolha.

Quando o operador vai efectuar a operação de recolha de artigos armazenados nos pisos superiores, as distâncias a incrementar mantêm-se praticamente iguais, mas como existem dois pisos, caso o operador tenha que se deslocar do primeiro piso para o segundo piso, é incrementada uma unidade no processo de recolha.

De referir que se por exemplo o operador se encontrar na posição M_{251} e se contém um artigo na posição M_{252} e outro na posição M_{261} , o operador recolhe primeiro o artigo que ocupa a posição M_{252} e depois é que recolhe o artigo que ocupa a secção M_{261} .

O melhor caminho a percorrer para recolher os diferentes artigos que constituem uma encomenda, continua a ser o caminho que contém menos unidades incrementadas, ou seja, o caminho mais curto.

No seguimento da análise efectuada para o piso zero, o problema da recolha dos artigos que se situam nos dois pisos superiores pode traduzido por uma matriz triangular. Esta matriz será constituída por cinquenta e oito localizações a multiplicar pelo número de secções, treze, e a multiplicar pelo número de pisos superiores, três, ou seja, será uma matriz de mil quinhentas e oito colunas por mil quinhentas e oito colunas. A figura seguinte representa a matriz que caracteriza o problema para os pisos superiores:

$$\begin{array}{cccccccc}
 S_{LLP} & A_{011} & A_{012} & A_{021} & A_{022} & A_{031} & \cdots & M_{582} \\
 A_{011} & 0 & d & d & d & d & \cdots & d \\
 A_{012} & d & 0 & d & d & d & \cdots & d \\
 A_{021} & d & d & 0 & d & d & \cdots & d \\
 A_{022} & d & d & d & 0 & d & \cdots & d \\
 A_{031} & d & d & d & d & 0 & \cdots & d \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & d \\
 M_{582} & d & d & d & d & d & d & 0
 \end{array}$$

Figura 4.5: Matriz representativa do problema em estudo para os pisos superiores

4.7. Heurística para a optimização do problema em estudo

Para melhorar a solução obtida através da matriz apresentada na secção anterior, podemos utilizar vários métodos. Como foi abordado na secção 4.4 existem várias classificações e métodos para a resolução de problemas de planeamento de rotas de veículos.

Para o caso em estudo uma das possibilidades é o Algoritmo de Recristalização Simulada (*simulated annealing*). Este algoritmo, considerado uma metaheurística, tem sido utilizado na resolução de diferentes tipos de problemas de optimização combinatoria.

O método da recristalização simulada pode ser entendido como uma variante do método de pesquisa local, pois ambos se baseiam na noção de vizinhança. A diferença de ambos os métodos é que o método da recristalização simulada tem a possibilidade de aceitar soluções piores do que a solução onde se encontrava. Desta forma o algoritmo pode transpor alguns mínimos locais.

Este método foi desenvolvido em 1983 por Kirkpatrick, de forma a ser utilizado na optimização de problemas a partir do algoritmo proposto por Metropolis (1953) para simular o estado de energia de um sólido quando é submetido a um processo de arrefecimento.

Esta técnica de pesquisa local recorre a uma analogia entre a energia mínima no estado de um sistema físico com o custo mínimo num problema de optimização combinatoria, neste caso não será um custo, mas uma distância (Santos 2009).

No estado líquido os materiais têm uma ordenação atómica aleatória, a qual pode ser considerada caótica. Ao arrefecer o material converge para um estado de energia mínima com uma estrutura ordenada e rigidamente definida. Caso este arrefecimento seja efectuado rapidamente, em grande parte dos materiais, são produzidas deformações das micro-estruturas que podem dar a origem a fissuras. Por analogia os diferentes estados por que passam os materiais durante o processo de arrefecimento controlado, correspondem às diferentes soluções possíveis para um problema de optimização. A energia do sistema corresponde à função que deverá ser optimizada.

Antes de se descrever a metaheurística proposta, começar-se-á por analisar o algoritmo de pesquisa, segundo local Santos 2009, que está na sua génese.

O algoritmo de pesquisa local, também conhecido por *local search*, parte de uma solução inicial possível. A essa solução inicial corresponde uma distância designada por Z_x , a partir da qual é gerada uma solução vizinha cujo custo é designado por Z_y . A diferença entre Z_y e Z_x , é representada por ΔZ_{yx} .

Se a distância decrescer, ou seja, se $\Delta Z_{yx} = Z_y - Z_x < 0$, a solução vizinha que corresponde a Z_y é aceite. Caso contrário mantém-se a solução Z_x . Este processo é repetido até que deixem de aparecer novas melhorias, o que significa que um mínimo local foi atingido.

Os algoritmos de pesquisa local têm como vantagem o facto de serem de fácil aplicação, mas, como se compreende, convergem para um mínimo local, o que pode originar desvios significativos em relação à solução óptima.

Uma alternativa para melhorar o desempenho deste tipo de algoritmo é processá-lo a partir de diversas soluções iniciais e seleccionar o melhor mínimo local alcançado.

Como alternativa ao algoritmo de pesquisa local surge o algoritmo de recristalização simulada que permite ultrapassar um mínimo local com uma

probabilidade diferente de zero, ou seja, é possível aceitar uma solução, com uma determinada probabilidade, em que $\Delta Z_{yx} = Z_y - Z_x > 0$.

No algoritmo de recristalização simulada a probabilidade de ser aceite uma determinada solução é determinada pela função de aceitação, que é dada pela expressão:

$$\exp^{(-\Delta Z_{yx}/T)};$$

onde T é o parâmetro de controlo que, por analogia, corresponde à temperatura no processo de arrefecimento dos metais (Santos 2009).

Um número aleatório é gerado a partir de uma distribuição uniforme (0, 1) e comparado com o valor da função de aceitação. Se o valor da função de aceitação for superior ao valor gerado aleatoriamente, a pior solução é aceite, caso contrário é rejeitada. Esta função origina que pequenos acréscimos no valor da função de aceitação têm menor probabilidade de ser aceites uma vez que quanto maior for ΔZ_{yx} menor será o valor da função de aceitação, $\exp^{(-\Delta Z_{yx}/T)}$. Da mesma forma quanto maior for o valor da temperatura maior será a probabilidade de acréscimo da função de aceitação ser aceite. À medida que a temperatura vai diminuindo, as probabilidades de aceitação de uma solução pior, também diminuem.

Em Santos 2009 é apresentado um pseudo-código, desenvolvido por Madhavan em 1993, para o algoritmo de recristalização simulada, o qual é apresentado em seguida:

Início

Gera a solução inicial, $x \in \Pi$; (em que Π é o espaço de soluções)

Selecciona a temperatura inicial, $T = T_0$;

Inicializa o contador de temperatura, $u = 0$

Repete

Inicializa o contador de iterações, $n = 0$

Repete

Gera a solução, $y \in \Pi$, vizinha de x ;

Calcula $\Delta Z_{yx} = Z_y - Z_x$

Se $\Delta Z_{yx} < 0$ então $x = y$

Senão

se $\exp^{(-\Delta Z_{yx}/T)} >$ número aleatório $U(0, 1)$, então $x = y$;

$n = n + 1$

até ($n = R$);

$u = u + 1$;

$T = T_u$;

Até (critério de paragem ($T_u \leq T_f$) seja satisfeito)

Fim

Neste pseudo-código R , T_0 , T_u e T_f são parâmetros do algoritmo e representam, respectivamente, o número de iterações por patamar, a temperatura inicial, a temperatura actual do patamar e a temperatura final. A figura seguinte representa graficamente os parâmetros do algoritmo:

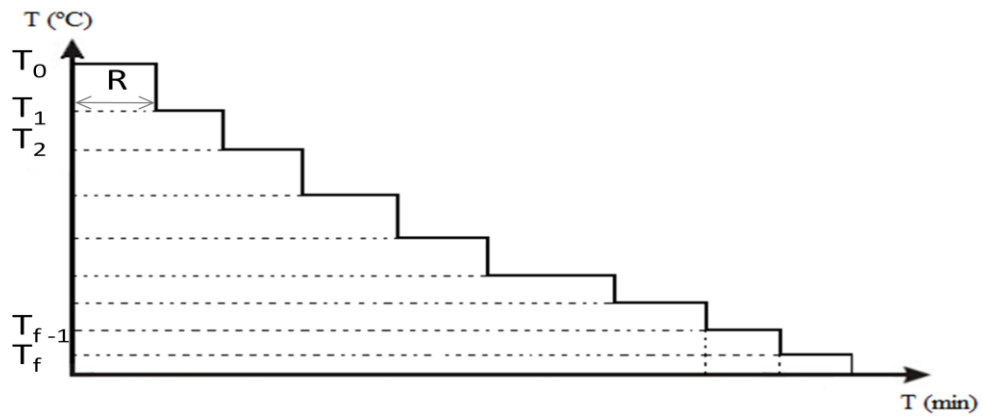


Figura 4.6: Curva do processo de recristalização⁴

4.7.1. Metodologia de resolução

Para resolver um problema de optimização através do algoritmo de recristalização simulada têm de se seleccionar os parâmetros do algoritmo e definir a função custo e os processos de geração da solução inicial e das soluções vizinhas.

Os parâmetros do problema incluem:

- Os valores iniciais e finais da temperatura, que são os parâmetros de controlo, respectivamente T_0 e T_f ;
- A dimensão de cada patamar de temperatura, R , ou seja, o número de iterações efectuadas para cada valor de temperatura;
- A taxa de arrefecimento;
- Os critérios de paragem.

⁴ Fonte: Santos 2009

4.7.1.1. Determinação da temperatura inicial e final

Segundo Santos 2009, a determinação dos valores da temperatura inicial (T_0) e final (T_f) a partir das equações 4.1 e 4.2 e são calculados a partir da solução inicial. Com base nesta são geradas, um número significativo de soluções vizinhas, aleatórias. Para cada uma destas soluções é determinado o custo Z .

$$T_0 = \Delta Z_{\min} + (\Delta Z_{\max} - \Delta Z_{\min}) / 10 \quad [4.1]$$

$$T_f = \Delta Z_{\min} \quad [4.2]$$

Nas equações 4.1 e 4.2 ΔZ_{\min} é a menor diferença entre duas soluções consecutivas no conjunto de soluções vizinhas geradas e ΔZ_{\max} a maior diferença entre dois valores consecutivos no mesmo conjunto.

Apesar muitas vezes se considerar um número fixo de soluções vizinhas a gerar para o cálculo das temperaturas, por vezes o número pode aparecer associado à dimensão de cada problema pois existe para cada problema um número de soluções vizinhas a partir do qual não existem variações significativas nos valores Z_{\min} e Z_{\max} .

4.7.1.2. Taxa de arrefecimento

A taxa de arrefecimento permite determinar o número de patamares de temperatura a analisar, entre a temperatura inicial T_0 e a final T_f , ou seja, todos os valores de temperatura que o algoritmo vai considerar. Para cada diferente valor de T , designado por T_u , é determinado um valor T_{u+1} de acordo com a equação 4.3.

$$T_{u+1} = \frac{T_u}{1 + \beta T_u} \quad [4.3]$$

Na equação 4.3,

$$\beta = \frac{(T_0 + T_f)}{pT_0T_f} \quad [4.4]$$

e

$$p = \frac{50\delta N(N-1)}{2} \quad [4.5]$$

Na equação 4.5, N é o número de variáveis de decisão e δ é um parâmetro de controlo da taxa de arrefecimento. Quanto menor for o valor de δ maior será a velocidade de arrefecimento e consequentemente menor também será o número de patamares.

O valor de N também afecta de forma significativa o número de patamares de temperatura e está associado à dimensão do problema.

4.7.1.3. Número de iterações por patamar e critério de paragem

Segundo Santos 2009, o número de iterações no patamar (R) determina o número de soluções geradas para cada nível de temperatura (T). Em grande parte das aplicações conhecidas desta técnica o comprimento do patamar é fixo.

O critério de paragem especifica o estado em que se considera o sistema 'recristalizado'. De entre os vários critérios de paragem, podem ser destacados aqueles que se baseiam nas seguintes medidas:

- O número total de soluções candidatas geradas;
- A temperatura mínima que pode ser atingida;
- O valor mínimo da razão entre o número de soluções aceites e o número de soluções geradas.

4.7.2. Heurística para gerar a solução inicial

A utilização do algoritmo de recristalização simulada envolve a determinação de uma solução inicial para o problema. Esta solução inicial pode, por exemplo, ser gerada por um processo aleatório que respeite as restrições do problema.

A geração de uma solução inicial de forma aleatória não necessita de nenhum conhecimento prévio de estrutura do problema, mas esta abordagem pode conduzir a uma solução inicial de qualidade reduzida, que pode conduzir a elevados tempos de processamento. Pelo contrário, uma heurística específica, mais direccionada, pode restringir a pesquisa a uma zona limitada do espaço de soluções.

Na heurística proposta neste trabalho, optou-se pela descrita na secção 4.6.

4.7.3. Heurística para determinar as soluções vizinhas

Após a determinação da solução inicial e de acordo com a metodologia seguida na aplicação do algoritmo de recristalização simulada é necessário definir a heurística para a determinação das soluções vizinhas.

Neste caso as soluções vizinhas são obtidas, de uma solução antecedente, através de trocas da posição de recolha de artigos:

Transferência de artigos – o artigo muda de posição na ordem de recolha definida para a encomenda. A encomenda exemplificada na Figura 4.7, onde na parte superior os artigos se encontram pela ordem inicial, é efectuada a troca da posição de dois artigos (o artigo localizado na posição M_{232} troca de ordem com o artigo localizado na posição K_{120}). Qualquer posição inicial de recolha dos artigos pode ser alterada desde que sejam artigos da mesma encomenda.

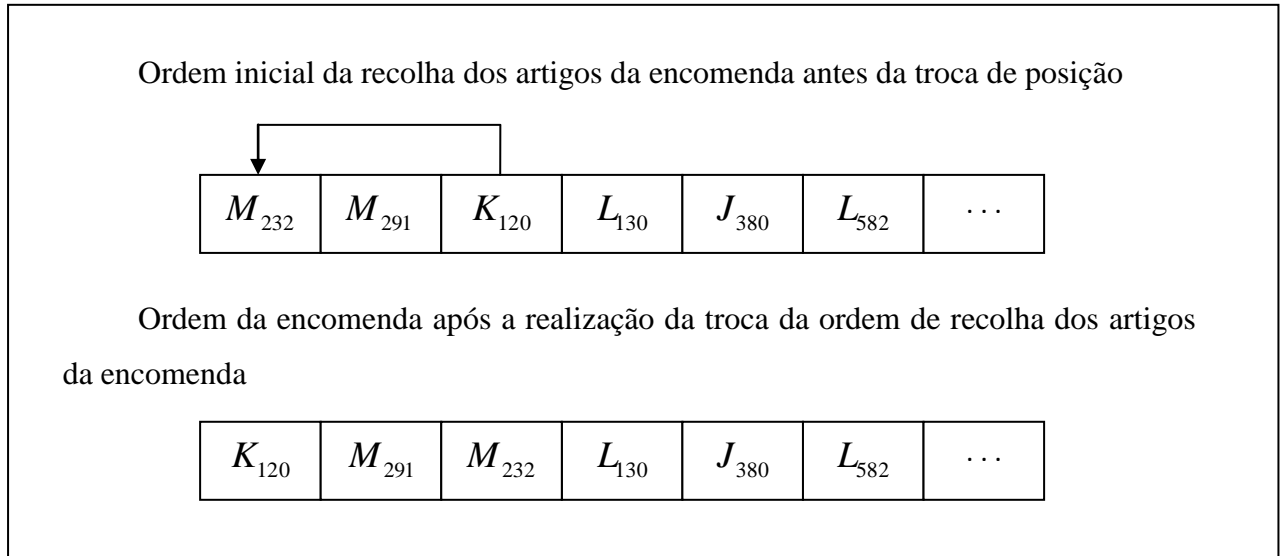


Figura 4.7: Transferência da ordem de recolha de artigos de uma encomenda

À semelhança do procedimento utilizado para gerar a solução inicial, também aqui o processo pode ser aleatório ou estar assente num procedimento mais elaborado, na selecção dos artigos para proceder às trocas. Uma vez mais, existem vantagens e desvantagens na aplicação de um dos critérios. Uma heurística mais abrangente, como é o caso do processo aleatório, direcciona para um espaço de pesquisa mais vasto, mas, em contrapartida, poderá ser mais demorada a convergir para um mínimo local, enquanto que uma heurística mais elaborada pode direccionar o problema para um espaço de soluções restritivo, mas com uma maior velocidade de convergência.

Neste trabalho optou-se pelo critério aleatório por se considerar mais adequado para o problema em análise e para a qualidade da solução encontrada, privilegiando-se a qualidade da solução em detrimento da velocidade de convergência.

Esta heurística de geração da solução vizinha a partir de uma solução anterior vai permitir melhorar o sequenciamento da ordem de recolha dos artigos da encomenda. Estas alterações provocam a diminuição da distância a percorrer pelo operador na recolha dos diversos.

4.7.4. Determinação da distância Z

O valor da função objectivo é calculado tendo em conta as distâncias entre os artigos.

A determinação deste valor representado por Z, é um processo que exige um esforço computacional elevado para problemas de grande dimensão.

A determinação da distância de uma solução é determinante na aplicação do algoritmo de recristalização simulada pois é a partir da distância que o algoritmo de recristalização simulada aceita uma solução melhor ou uma pior com uma determinada probabilidade

Se $\Delta Z_{yx} < 0$ então $x = y$

Senão

se $\exp^{(-\Delta Z_{yx}/T)} >$ número aleatório $U(0, 1)$, então $x = y$

Este processo é repetido até o critério de paragem ser alcançado.

4.8. Conclusão

Podemos concluir com a realização deste estudo que existem vários tipos de soluções para a resolução de problemas de planeamento de rotas de veículos. Neste capítulo foi descrito o algoritmo de recristalização simulada para a resolução do problema de recolha de artigos armazenados.

Numa primeira fase foi descrito o Problema do Planeamento de Rotas de Veículos. Foi efectuada uma pesquisa bibliográfica, onde foram apresentados alguns métodos de resolução deste tipo de problemas.

Após a formulação do problema em estudo, através da adaptação do problema de planeamento de rotas de veículos ao caso em estudo, foi descrito o método utilizado actualmente pela empresa. Foram referidos vários métodos para a resolução deste problema.

Foi analisada a adequação do método de recristalização simulada ao problema em análise. As heurísticas que compõem o algoritmo foram descritas pormenorizadamente. A escolha da metaheurística foi fundamentada nas características do problema em estudo.

No decorrer deste capítulo privilegiou-se sempre a abordagem mais abrangente de forma a não restringir o espaço de busca. Como consequência a solução a encontrar ao aplicar o algoritmo poderá ter um tempo de processamento elevado mas uma menor probabilidade de cair num mínimo local.

5. Conclusões

Um dos grandes desafios da gestão das empresas e, em particular, na gestão de existências, está centrado em torno deste fenómeno genericamente designado por globalização dos mercados. É uma nova realidade que origina mercados inconstantes, geograficamente dispersos, tanto do lado da procura como da oferta, o que provoca um ambiente de acentuada incerteza.

Esta dinâmica dos mercados tem obrigado as empresas a adaptarem a forma como geram as suas operações de modo a manterem a sua competitividade. A comunidade científica tem procurado responder a estes novos desafios e tem contribuído para um acréscimo de investigação em torno das questões relacionadas com a gestão de existências, das quais podemos destacar:

- ✓ A volatilidade e as mudanças ocorridas nos mercados obrigam as empresas a encontrarem novas formas de se organizarem. Este facto tem criado na comunidade científica um acréscimo da atenção em relação às áreas de investigação ligadas à gestão de cadeias de abastecimento.
- ✓ Outro factor, intimamente ligado ao factor anterior, refere-se ao grau de incerteza que as novas formas de executar negócios acarretam, ocorrendo um esforço científico em desenvolver ferramentas de apoio à decisão.
- ✓ A fragmentação de mercados e a diferenciação de produtos conduziu à diversificação da procura e a uma complexidade acrescida ao nível do planeamento da cadeia de abastecimento, originando sistemas de planeamento cada vez mais complexos e dinâmicos. Nesta perspectiva surgem softwares cada vez mais robustos ao nível da integração da informação nas diversas áreas funcionais das organizações.
- ✓ As inovações ao nível dos sistemas informáticos têm trazido consigo a possibilidade de desenvolvimento de ferramentas, ao nível do planeamento tático e operacional, cada vez mais eficazes.

Para o armazém em estudo, neste trabalho, ao analisar os movimentos dos artigos, é possível distribuir os artigos de uma forma a que a sua recolha seja mais eficiente. Esta distribuição é efectuada com base na análise ABC.

O ciclo de vida dos produtos, um dos objectivos do trabalho realizado, permite definir em que fase do ciclo de vida se situa, através dos seus movimentos, o que possibilita uma previsão da evolução dos movimentos.

No caso analisado, devido às circunstâncias do estudo, os dados disponibilizados pela empresa, não foi possível definir com clareza as fases do ciclo de vida dos artigos armazenados.

O trabalho efectuado permite verificar que, ao nível do planeamento de rotas tem havido alguma dificuldade na implementação de sistemas informatizados que permitam contribuir para uma melhoria do processo de recolha, contudo é muito vasto o trabalho desenvolvido pela comunidade científica em torno destes problemas.

Podemos constatar que o trabalho desenvolvido em torno de novas heurísticas, aliado a um aumento da capacidade, e da velocidade, de processamento computacional, tem permitido resolver problemas cada vez mais complexos.

O problema mais estudado deste tipo de problemas é o Problema de Planeamento de Rotas de veículos. Existem várias soluções para a resolução destes problemas. O problema em estudo, é um problema semelhante ao VRP, pois objectivo neste estudo é obter a rota mais curta para o operador efectuar a recolha dos artigos que constituem uma encomenda.

A resolução deste tipo de problemas é associada ao desenvolvimento de heurísticas de aproximação, que buscam soluções subóptimas. A complexidade dos problemas determinam o tipo de heurística a utilizar, uma vez que para problemas de elevada complexidade o tempo de processamento para encontrar a solução óptima, torna o método inviável.

Para o problema em estudo foi proposta uma metaheurística, o algoritmo de recristalização simulada. Este algoritmo foi proposto dadas as características do problema pois permite uma abordagem mais abrangente de forma a não restringir o espaço de busca. Ao alargar o espaço de busca a probabilidade de obter uma solução óptima irá diminuir, contudo também diminui a probabilidade de cair num mínimo local.

Face ao exposto neste trabalho, uma conclusão é a de que é possível através de um trabalho sério com a indústria e de um conhecimento profundo dos processos produtivos, desenvolver ferramentas que venham a contribuir para uma melhoria da competitividade industrial das organizações.

Relativamente à metaheurística apresentada como método de resolução, a qual utiliza o algoritmo de recristalização simulada, podem-se explorar novas técnicas, nomeadamente para determinar a solução inicial.

Bibliografia

Almeida, Anabela Antunes de. *Modelos de Gestão de Stocks, Case Study: Nova Penteação e Fiação da Covilhã, Lda.* Covilhã, 1995.

Barata, Maria Dulce Gomes Ribeiro. *A Gestão de Stocks em Unidades de Saúde.* Covilhã, 1997.

Belfiore, P. *Scatter Search para Problemas de Roterização de Veículos com Frota Heterogénea, Janelas de Tempo e Entregas Fraccionadas.* São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, 2006.

Blazewicz, J., K. H. Ecker, G. Schmidt, e Weglaz. *Schedunig in Computer and Manufactopring systms.* Springer Verlag, 1994.

Bozarth, C. C, D. P. Warsing, B. B. Flynn, e E. J. Flynn. “The impact of supply chain complexity on manufacturing plant.” *Journal of Operations Management* 27 (2008): 78-93.

Bräysy, O., P. Nakari, W. Dullaert, e P. Neittaanmäki. “An optimization approach for communal home meal delivery service: A case study.” *Journal of Computational and Applied* 232 (2008).

Buyukozkan, Baykasoglu, e Dereli. “Integration of Internet and web-based tools in new product development process.” *Production Planning and Control* 18 (2007): 44-53.

Chen, Y., K., W. Li, e Si-feng Liu. “A Comparative Study on Multicriteria ABC Analysis in Inventory Management.” *Systems, Man and Cybernetics*, 2008. Singapore: Coll. of Econ. & Manage., Nanjing Univ. of Aeronaut. & Astronaut., Nanjing, 2008. 3280 - 3285.

Chiavenato, Idalberto. *Iniciação ao Planejamento e Controle da Produção.* MCGraw Hil, 1990.

Clausen, J. *Branch and Bound Algorithms - Principles and Examples*. University of Copenhagen, 1999.

Eksioglu, B., A. Volkan Vural, e A. Reisman. “The vehicle routing problem: A taxonomic review.” *Computers & Industrial Engineering* 57 (2009): 1472–1483.

Estevam, João Bosco. “Heurísticas para o problema de roteamento de veículos capacitados - PRVC, Visando aplicação no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.” Lavras, Dezembro de 2003.

Guerreiro, André Filipe Maio. “Construção de uma Metaheurística de Optimização de Rotas de Veículos.” Lisboa, Dezembro de 2009.

Hasan, Asif, Shankar, Ravi, e Sarkis. “A study of barriers ta agile manufacturing.” *International Journal of Agile Systems and Management* 2 (2007): 1-22.

Hossam, Snowden, Poolton, Reid, e Arokiam. “Agile manufacturing framework and practice.” *International Journal of Agile Systems and Management* 1 (2006): 11-28.

J. Blazewicz, K. H. Ecker, G. Schmidt, Weglaz. *Schedunig in Computer and Manufactopring systms*. Springer Verlag, 1994.

Liiv, Innar. “Inventory classification enhancement with demand associations.” *Service Operations and Logistics, and Informatics, 2006*. . Shanghai : Dept. of Informatics, Tallinn Univ. of Technol. , 2006. 18 - 22 .

Marinakos, Y., e M. Marinaki. “A hybrid genetic – Particle Swarm Optimization Algorithm for the vehicle routing problem.” *Expert Systems with Applications* 37 (2009): 1446–1455.

Ostlin, J., E. Sundin, e M. Bjorkman. “Product life-cycle implications for remanufacturing strategies.” *Journal of Cleaner Production* 17 (2009): 999-1009.

Pereira, A. C. S., e B. M. Q. E. Marques. “O Ciclo de Vida dos Produtos e a Gestão Estratégica das Empresas.” *O Ciclo de Vida dos Produtos*. Coimbra: Instituto Politécnico De Coimbra, Junho de 2006.

Pereira, J. V. “The new supply chain’s frontier: Information management.” *International Journal of Information Management* 29 (2009): 372-379.

Reis, Joaquim. “Uma introdução ao Scheduling.” *Relatório Interno ISCTE-DCTI*, 1996: 17-27.

Reis, Lopes, e António Paulino. *Gestão de Stocks e Compras*. Editora Internacional, 1994.

Rinnooy, A. H. G. *Machine Scheduling Problems, Classification, Complexity and Computations*. Martinus Nijhoff: The Hague, 1976.

Santos, Fernando Manuel Bigares Charrua. “O problema do sequenciamento na definição de estratégias de planeamento da produção.” Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2009.

Skipworth, e Harrison. “Implications of form postponement to manufacturing a customized product.” *International Journal of Production Research* 44 (2006): 1627-1652.

Tang, J., J. Zhang, e Z. Pan. “A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost.” *Expert Systems with Applications* 37 (2009): 4073–4083.

Teixeira, Susana Marisa Dias da Silva. *Análise da importância da preparação e controlo de encomendas para a eficiência do processo produtivo, estudo de um caso prático*. Covilhã, 2008.

Toth, P., e D. Vigo. *The Vehicle Routing Problem*. Bologna: SIAM, 2002.

Turkensteen, M., D. Ghosh, B. Goldengorin, e Sierksma G. “Tolerance-based Branch and Bound algorithms for the ATSP.” *European Journal of Operational Research* 189 (2008): 775–788.

Wisner, e Keah. “Supply Chain Management and Its Impact on Purchasing.” *The Journal of Supply Chain Management*, 2000: 33-42.

Wong, Hiu-Kan, e P. D. Ellis. “Is market orientation affected by the product life cycle?” *Journal of World Business* 42 (2007): 145–156.

Yang, Biao, Ying Yang, Wijngaard, e Jacob. “Postponement: an interorganization perspective.” *International Journal of Production Research* 145 (2007): 971-988.

Zachariadis, E., E., e C., T. Kiranoudis. “A strategy for reducing the computational complexity of local search-based methods for the vehicle routing problem.” *Computers & Operations Research* 37 (2010): 2089–2105.