



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Cláudia da Silva Duarte

**Análise e melhoria das rotas de distribuição  
numa empresa de cartonagem**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor José António Vasconcelos Oliveira

Outubro de 2019

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

*Licença concedida aos utilizadores deste trabalho*



Atribuição

CC BY

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

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos a todos que de algum modo contribuíram para que a realização desta dissertação fosse possível, nomeadamente:

- ao Professor Doutor José António Vasconcelos Oliveira, pela disponibilidade demonstrada sempre que solicitado, pela ajuda e conselhos prestados. Sem a sua orientação a realização desta tese estaria comprometida;

- à JPZ pela oportunidade, em particular à Doutora Carmo, à Daniela, ao Filipe e ao Senhor Paulo;

- às minha amigas por estarem sempre disponíveis para darem aquele incentivo nas horas mais complicadas. Bruna, Marta, Carla, Dulce, Joana e Ana Martinho vocês são incríveis;

- aos meus pais, por me permitirem estudar e lutar pelos meus objetivos, por estarem sempre lá e por insistirem no “claro que consegues”;

- aos meus irmãos e cunhados pelo apoio incondicional, pelo exemplo que são de esforço e consequente superação.

Um obrigada especial a todos que não foram referenciados anteriormente e que contribuíram direta ou indiretamente para que esta tese hoje exista.

Obrigada!

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

## RESUMO

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – Ramo de Logística e Distribuição da Universidade do Minho e, em ambiente industrial na empresa JPZ Cartonagem S.A. A empresa dedica-se ao fabrico de caixas de cartão e realiza a entrega das mesmas, tendo sido precisamente na área da distribuição que este trabalho se realizou.

O principal objetivo desta dissertação consistiu em otimizar as rotas de distribuição da empresa. No início deste documento são apresentados os resultados de uma análise feita à literatura existente acerca da logística, da distribuição, do VRP, suas variantes e formas de obtenção de solução de um problema de roteamento de veículos.

O desenvolvimento do projeto passou por obter solução para o CVRP, ou seja, perante um dado número de encomendas dos clientes pretende-se obter rotas destinadas a veículos com capacidade limitada heterogénea em que estes partem do armazém, visitam cada um dos clientes e regressam no final de cada rota à origem. Na solução do CVRP final todos os pedidos dos clientes têm de ter sido satisfeitos.

Recorreu-se ao *MATLAB* e a uma *toolbox*, o *MATLOG*, para gerar as rotas para os diferentes veículos da empresa, considerando as encomendas dos clientes de um intervalo de tempo específico. Dado ser importante obter uma solução que se aproxime do problema real e, o facto de a função utilizada do *MATLOG*, *VRPSAVINGS*, estar apenas adaptada a uma frota homogénea, optou-se pelo desenvolvimento de um processo heurístico adaptado à realidade da empresa (frota heterogénea) e baseado no algoritmo *VRPSAVINGS*.

Por fim, as novas rotas dos veículos foram comparadas com as rotas que a JPZ realizou para o mesmo período em estudo, tendo-se verificado uma poupança significativa ao nível da distância percorrida e dos combustíveis consumidos.

## PALAVRAS-CHAVE

Logística; Distribuição; Problema do Caixeiro Viajante; Problema do Roteamento de Veículos; Heurísticas

## ABSTRACT

This dissertation was developed under the master's degree in Industrial Engineering – Logistics and Distribution branch of the University of Minho and in an industrial environment at *JPZ Cartonagem S.A.* The company is dedicated to the manufacture and delivery of cardboard boxes, being the distribution area the focal point of the work accomplished.

The main objective of this dissertation was to optimize the distribution routes of the company. At the beginning of this document results of an analysis made to the existing literature about logistics, distribution, VRP, its variants and ways of obtaining solution of a vehicle routing problem is presented.

The development of the project consisted in obtain a solution for the CVRP, i.e., attending to a given number of customers' orders is intended to obtain routes destined for vehicles with heterogeneous limited capacity in which they depart from the warehouse, visit each one of the customers and return at the end of each route to the origin. At the end of the CVRP solution all customer requests must have been satisfied.

MATLAB and a toolbox, MATLOG, were used to generate the routes for the different vehicles of the company considering the customers' orders in a specific time interval. Since it is important to obtain a solution that approaches the real problem and, the fact that the function used by MATLOG, VRPSAVINGS, is only adapted to a homogeneous fleet, it was decided to develop a heuristic process adapted to the company's reality (fleet heterogenous) and based on the VRPSAVINGS algorithm.

Finally, the new routes of the vehicles were compared with the routes that *JPZ* performed for the same period under study, with a significant savings in the level of distance traveled and the fuels consumed.

## KEYWORDS

Logistics; Distribution; Travelling Salesman Problem; Vehicle Routing Problem; Heuristics

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de investigação.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	4
2. Revisão da Literatura.....	6
2.1 Logística.....	6
2.1.1 Definição e importância da logística.....	6
2.2 Gestão da cadeia de abastecimento.....	7
2.3 Distribuição.....	9
2.4 Problema do Caixeiro Viajante (PCV).....	12
2.5 Problema do Roteamento de Veículos (PRV).....	12
2.5.1 Variantes do VRP.....	16
2.5.2 Métodos de solução do VRP.....	20
3. A Empresa.....	26
3.1 JPZ Cartonagem, S.A.....	26
3.1.1 Produtos.....	27
3.2 Sistema de Distribuição da JPZ.....	30
3.2.1 Caracterização da frota.....	30

3.2.2	Organização da expedição.....	31
3.2.3	Problemas identificados.....	36
4.	Abordagem desenvolvida.....	40
4.1	Plataformas utilizadas.....	40
4.1.1	<i>NEOS Server</i> .....	40
4.1.2	<i>MATLAB</i> .....	40
4.2	Problema do Caixeiro Viajante – estudo para um dia da semana (segunda-feira).....	41
4.2.1	<i>NEOS Server</i> .....	41
4.2.2	<i>MATLAB</i> .....	46
4.3	VRP – Problema do Roteamento de Veículos.....	49
4.3.1	Considerações iniciais.....	49
4.3.2	Procedimento heurístico desenvolvido.....	51
4.3.3	Estudo para um dia da semana (segunda-feira).....	53
4.3.4	Comparação dos resultados obtidos com o que a empresa fez para um dia de semana (segunda-feira).....	58
4.3.5	Estudo para uma semana (segunda a sexta-feira).....	62
4.3.6	Comparação dos resultados obtidos com o que foi efetivamente realizado pela empresa durante a semana em estudo.....	73
5.	Conclusões, Limitações e Sugestões.....	81
5.1	Conclusões.....	81
5.2	Limitações.....	82
5.3	Sugestões para o futuro da JPZ.....	83
	Referências Bibliográficas.....	85
	Apêndice 1 – Dados utilizados dos clientes e das encomendas para o estudo.....	89
	Apêndice 2 – Localização de artigos no armazém.....	90



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo da metodologia Investigação-Ação adaptado de Susman & Evered (1978) (página 588).....	4
Figura 2 - Exemplo de uma cadeia de abastecimento adaptado de <a href="https://slideplayer.com/slide/7452429/">https://slideplayer.com/slide/7452429/</a> .....	8
Figura 3 - Um modelo de gestão da cadeia de abastecimento, adaptado de Mentzer Model (2001), retirado de <a href="https://www.ilos.com.br/web/mentzer-model/">https://www.ilos.com.br/web/mentzer-model/</a> .....	9
Figura 4 - Gráfico da constituição do custo logístico no Brasil adaptado de Abrahão & Soares (2006).....	10
Figura 5 - Exemplo de um Problema do Caixeiro Viajante retirado de <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem">https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem</a> .....	12
Figura 6 - Esquema genérico de um problema VRP, adaptado de <a href="https://vehicle-routing-problem.github.io">https://vehicle-routing-problem.github.io</a> .....	13
Figura 7 - Esquema de uma solução VRP, adaptado de <a href="https://vehicle-routing-problem.github.io">https://vehicle-routing-problem.github.io</a>	13
Figura 8 - Características dos VRP's, adaptado de Drexl (2012).....	16
Figura 9 - Conceito de poupança obtido de Lysgaard (1997).....	22
Figura 10 – Exemplo de string cross retirado de Van Breedam (1994).....	24
Figura 11 – Exemplo de string exchange retirado de Van Breedam (1994).....	25
Figura 12 – Exemplo de string relocation retirado de Van Breedam (1994).....	25
Figura 13 - Logótipo da JPZ.....	26
Figura 14 - Caixas desmontadas em paletes prontas para entregar ao cliente.....	28
Figura 15 - Exemplo de caixas de cartão canelado.....	28
Figura 16 - Exemplos de caixas litografadas.....	29
Figura 17 - Exemplos de planos de cartolina.....	29
Figura 18 - Extrato da lista de encomendas pendentes fornecida pelo software.....	32
Figura 19 - Nota de encomenda e ordem de produção com informações acerca do cliente na parte inferior das mesmas.....	33
Figura 20 - Exemplo de ordem de produção direcionada a JPZ.....	34
Figura 21 - Notas de encomenda: em cima para o cliente n°832 e em baixo para o cliente n°177.....	35
Figura 22 - Armazenagem do produto acabado.....	38

Figura 23 - Logótipo representativo do NEOS Server presente no site oficial: <a href="https://neos-server.org/neos/">https://neos-server.org/neos/</a> .....	40
Figura 24 - Logótipo do MATLAB .....	41
Figura 25 - Coordenadas da localização da empresa e dos 18 clientes .....	42
Figura 26 - Mapa resultante da instância da Figura 25 no NEOS Server.....	43
Figura 27 - Coordenadas da instância de 19 vértices modificadas .....	44
Figura 28 - Rota resultante da submissão das coordenadas dos 19 vértices modificadas. ....	44
Figura 29 - Coordenadas inseridas no NEOS Server para o MTSP à esquerda e respetivo resultado à direita.....	45
Figura 30 - Linguagem de programação no MATLAB para o Problema do Caixeiro Viajante com as coordenadas originais dos 18 clientes .....	47
Figura 31 - Rota resultante da linguagem inserida no MATLAB da Figura 30 .....	48
Figura 32 - Exemplo de uma palete pronta a entregar ao cliente da JPZ em que os limites da mesma são ultrapassados pela mercadoria.....	50
Figura 33 - Linguagem VRP submetida no MATLAB para obtenção da otimização de rotas para segunda-feira (LT) .....	54
Figura 34 - Rotas resultantes da linguagem presente na Figura 33 submetida no MATLAB .....	55
Figura 35 - Rotas resultantes da linguagem inserida no MATLAB para otimizar rotas de segunda-feira para o AX .....	57
Figura 36 - Rotas resultantes para o 1º dia da semana .....	60
Figura 37 - Rotas realizadas pela empresa para o 1º dia da semana .....	60
Figura 38 - Divisão do armazém.....	90
Figura 39 - Quadro destinado à anotação das localizações da matéria-prima.....	90

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese das características dos diversos tipos de transporte. Fonte: Adaptado de Chopra & Meindl (2010) citado por Silva (2016) e Mota (2011) .....	11
Tabela 2 - Caracterização da frota da empresa .....	30
Tabela 3 - Características dos veículos que foram utilizadas no estudo .....	51
Tabela 4 - Tempo necessário para percorrer cada uma das rotas para o LT .....	56
Tabela 5 - Tempo necessário para percorrer cada uma das rotas para o AX .....	58
Tabela 6 - Síntese das rotas para 1 dia resultantes do MATLOG e do procedimento heurístico desenvolvido com os respetivos custos .....	59
Tabela 7 - Rotas realizadas pela empresa para o dia em estudo .....	61
Tabela 8 - Clientes com encomendas com entregas obrigatórias em determinados dias da semana .....	63
Tabela 9 – Esquema da distribuição das encomendas/clientes ao longo da semana .....	64
Tabela 10 – Clientes que foram tidos em conta no VRPSAVINGS para gerar rotas para segunda-feira .....	65
Tabela 11 - Clientes inseridos na função VRPSAVINGS para gerar rotas para o LT para terça-feira .....	67
Tabela 12 - Clientes inseridos na script VRPSAVINGS para gerar rotas para o AX para segunda-feira .....	69
Tabela 13 - Clientes que ainda faltam ser satisfeitos para a semana em estudo e que serão satisfeitos pela PM .....	72
Tabela 14 - Rotas realizadas pela empresa durante a semana em estudo .....	74
Tabela 15 - Rotas obtidas do MATLAB e do procedimento heurístico desenvolvido aplicado .....	76
Tabela 16 – Consumo médio de cada uma das viaturas da frota da JPZ .....	79
Tabela 17 – Comparação dos custos com o combustível .....	79
Tabela 18 – Informação considerada dos 88 clientes da semana em estudo .....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals*

CVRP - *Capacited Vehicle Routing Problem*

FSMVRP – *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem*

h - horas

HVRP – *Heterogeneous Vehicle Routing Problem*

km – quilómetros

MCVRP – *Multi-compartment Vehicle Routing Problem*

MDVRP – *Multi-depot Vehicle Routing Problem*

min – minutos

MTVRP – *Multi-trip Vehicle Routing Problem*

OVRP – *Open Vehicle Routing Problem*

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

PRV – Problema do Roteamento de Veículos

SC – *String Cross*

SCM - *Supply Chain Management*

SDVRP – *Site-dependent Vehicle Routing Problem*

SE – *String Exchange*

SM – *String Mix*

SR – *String Relocation*

SVRP – *Stochastic Vehicle Routing Problem*

TSP – *Travelling Salesman Problem*

VRP – *Vehicle Routing Problem*

VRPB – *Vehicle Routing Problem with Backhauls*

VRPHTW – *Vehicle Routing Problem with Hard Time Window*

VRPPD – *Vehicle Routing Problem with pick-up and Delivery*

VRPSTW – *Vehicle Routing Problem with Soft Time Window*

VRPTW – *Vehicle Routing Problem with Time Windows*

## 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi realizada no âmbito da unidade Curricular: Dissertação do Mestrado em Engenharia Industrial – Ramo de Logística e Distribuição. O projeto foi desenvolvido em ambiente industrial, na empresa JPZ Cartonagem S.A.. Esta empresa dedica-se maioritariamente ao fabrico das mais variadas caixas de cartão, sendo que esta também se encarrega pela entrega de mercadoria aos seus diversos clientes.

Neste capítulo é feita uma contextualização do tema da dissertação, sendo de seguida identificados os objetivos com a realização deste projeto, assim como a metodologia de investigação utilizada. Por fim, é apresentada a estrutura da presente tese de dissertação.

### 1.1 Enquadramento e motivação

Os constantes desafios que surgem às empresas obrigam-nas a adotar métodos que lhes permitam antecipar obstáculos e a procurarem melhorar continuamente o seu desempenho. A globalização dos mercados atuais leva a uma crescente competitividade exigindo, por parte das empresas, maior rapidez de resposta e flexibilidade como forma de se diferenciarem.

Uma gestão eficiente dos fluxos de materiais e informação, traz melhorias significativas para as empresas ao nível da satisfação do cliente, maior rapidez de resposta e diminuição dos custos e desperdícios (Monczka, Handfield, Giunipero, & Patterson, 2009).

Numa empresa se a logística for eficaz, esta pode ser a chave para o sucesso da mesma, pois permite a redução de custos, de tempos de resposta e um melhor serviço ao cliente (Moura, 2006). Para tal, as empresas necessitam de adotar um planeamento logístico adequado no intuito de sobreviver à dinâmica do mercado. Entende-se por logística como um conjunto de atividades de movimentação e armazenagem necessárias para facilitar o fluxo de produtos e informações entre os vários elos da cadeia de abastecimento.

Em qualquer setor de trabalho, os custos são um fator chave que determina o sucesso ou insucesso de uma empresa, sendo que os custos relacionados com o transporte e armazenamento são por norma bastante elevados. Assim, as empresas devem de procurar sistematicamente reduzir os seus custos para serem competitivas e terem a sustentabilidade desejada (Silva, 2016).

A componente mais importante e mais dispendiosa das atividades logísticas é o transporte, sendo por isso, muito importante que as empresas possuam uma rede de distribuição bem delineada para possibilitarem a que se atinga o nível desejado de capacidade de resposta a um baixo custo. Numa visão otimista o objetivo é que a rede de distribuição seja eficiente ao ponto de serem percorridos o menor número possível de quilómetros e que seja utilizada ao máximo a capacidade dos veículos em termos de cargas, tendo como objetivo último, a satisfação dos clientes (Louro, 2012). Existem vários modelos de problemas de roteamento. Um deles é o Problema do Caixeiro Viajante onde o objetivo é definir a rota, garantido a minimização dos custos e que todos os nós sejam visitados apenas uma vez, não havendo restrições de tempo e/ou capacidade (Reis, 2018).

O Problema de Roteamento de Veículos designado na literatura de língua anglo-saxónica por “*Vehicle Routing Problem*” (VRP) e é um dos problemas mais estudados e aplicados no que diz respeito a otimização combinatória (Toth & Vigo, 2002). Este baseia-se na determinação do melhor conjunto de rotas a serem percorridas por um conjunto de veículos, que partem de um depósito central (armazém) com o objetivo de satisfazer a procura de um determinado conjunto de clientes (Souza, 2013).

O planeamento de rotas de veículos é uma tarefa central de um vasto número de organizações. As rotas devem de ser planeadas em diversos sectores da economia, não só em negócios relacionados com a logística ou transportes, mas em todos os setores industriais relacionados com a produção física de bens. Pode-se encontrar aplicações do planeamento de rotas dentro de uma empresa, ou seja, transportes realizados dentro de uma fábrica ou armazém com o intuito, por exemplo, de abastecer linhas de produção (Drexler, 2012).

A otimização das rotas de distribuição vem de encontro com os objetivos do projeto de investigação numa empresa de cartonagem. Este projeto surge na sequência de um conjunto de problemas associados à gestão e controlo da produção, à organização e gestão do armazém e dos stocks de produtos ali armazenados assim como, com o planeamento das rotas. Os problemas existentes estão relacionados com a falta de organização das áreas de armazenagem, a má definição de procedimentos, à deficiente gestão de inventários, à falta de consistência da informação disponível no ERP implementado na empresa e à má gestão e planeamento das rotas de distribuição.

O estudo e a análise dos problemas existentes permitiriam uma redefinição de alguns processos, nomeadamente no setor da empresa responsável pela expedição, levando a uma consequente melhoria do desempenho da empresa.

## 1.2 Objetivos

Esta dissertação teve como principal objetivo delineado no início do projeto **a otimização das rotas de distribuição de uma empresa de cartonagem**, nomeadamente em termos de aproveitamento máximo das capacidades dos veículos de distribuição da empresa e em rotas que minimizem o número de quilómetros percorridos, levando em consequência, à minimização dos custos com a expedição do produto final aos respetivos clientes. Para tal era necessário cumprir com alguns requisitos intermédios:

- Analisar os atuais sistemas de produção e de expedição da empresa;
- Identificar os possíveis problemas que possam estar a prejudicar direta ou indiretamente a área de expedição da empresa;
- Definir medidas e processos para resolver os problemas que serão identificados;
- Planear e otimizar as rotas de distribuição da empresa.

## 1.3 Metodologia de investigação

No desenvolvimento deste projeto de dissertação foi definido que a metodologia a utilizar seria a metodologia Investigação-ação.

A metodologia investigação-ação supõe a colaboração e o envolvimento de trabalhadores e do investigador num ambiente colaborativo, para o desenvolvimento e implementação de melhorias na organização (O'Brien, 1998). Numa ótica mais simples e pioneira, Kurt Lewin defende que o termo investigação-ação se baseia em realizar experiências (investigar, planear e aplicar ações) diretamente no campo e não em laboratórios, ou seja, uma experiência deve ser alicerçada pelos resultados obtidos na aplicação dessas mesmas ações e não basear-se unicamente no planeamento teórico (Reason & Bradbury, 2001). A aplicação desta metodologia implica a passagem por determinadas fases, nomeadamente: diagnóstico, planeamento, ação, avaliação e especificação da aprendizagem, na Figura 1 está um esquema representativo da metodologia em questão. Susman & Evered (1978), assim como O'Brien (1998) referem ainda que esta metodologia de investigação é um processo iterativo, pois só se para depois de encontrada uma solução que resolva os problemas diagnosticados e se adapte à empresa.

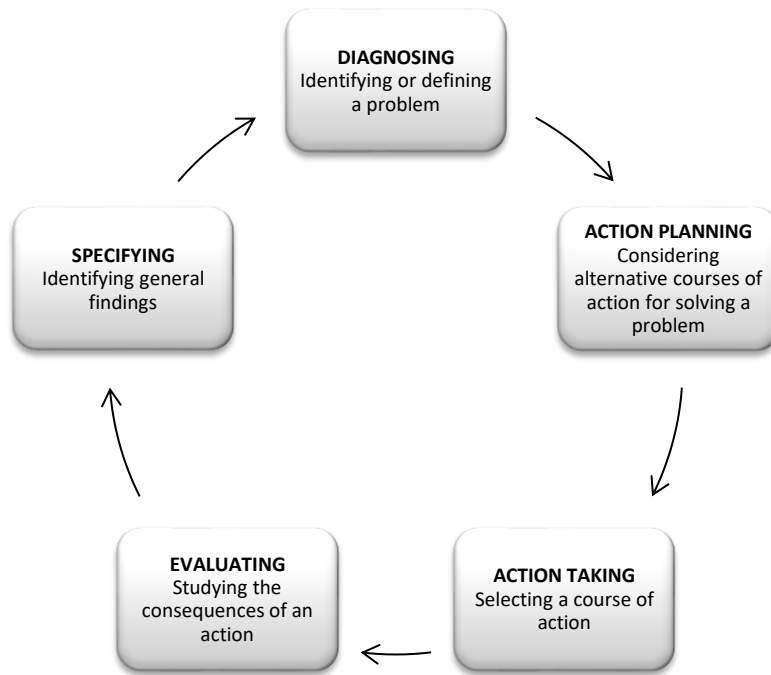


Figura 1 – Modelo da metodologia Investigação-Ação adaptado de Susman & Evered (1978) (página 588)

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos. O primeiro (Introdução) contém um pequeno enquadramento do tema e da pertinência do mesmo, os objetivos com o desenvolvimento do projeto, uma breve descrição da metodologia de investigação adotada e a identificação da estrutura da dissertação.

No segundo capítulo (Revisão da Literatura) está redigido o resultado da análise à bibliografia existente acerca dos temas que foram utilizados como suporte no decorrer da realização deste projeto. Inicialmente foi realizado um enquadramento recorrendo a uma breve exposição da importância da logística, da gestão da cadeia de abastecimento e da distribuição, seguindo-se uma rápida abordagem ao problema do caixeiro-viajante. O último subcapítulo da revisão bibliográfica aborda o tema central da dissertação - *vehicle routing problem* (VRP), contendo uma abordagem de algumas das variantes do VRP e dos métodos de solução de um VRP (os métodos exatos e os aproximados).

O Capítulo 3 (A Empresa) faz uma apresentação da empresa onde foi realizado o estudo, JPZ Cartonagem, SA. Neste capítulo é também descrito o sistema de distribuição da JPZ, contendo a caracterização da frota, a organização da empresa no que refere à expedição e por fim um levantamento de alguns problemas identificados.



No quarto capítulo (Abordagem desenvolvida) está descrita a parte prática propriamente dita, iniciando-se com uma pequena apresentação das plataformas utilizadas, *NEOS SERVER* e *MATLAB*. De seguida, recorreu-se aos anteriores programas para realizar o estudo para um dia da semana tendo em conta o problema do caixeiro-viajante. Realizou-se novamente o estudo recorrendo, desta vez, apenas ao *MATLAB*, tendo por base o VRP e, numa primeira fase só para um dia da semana, depois para uma semana de trabalho, utilizando os dados recolhidos na empresa das encomendas entregues para a semana em estudo. Nesta fase, utilizando apenas a função *VRPSAVINGS* do *MATLOG*, não era possível obter resultados satisfatórios devido à incapacidade de a função desenvolver soluções para frotas heterógenas como é o caso da JPZ. Foi, portanto, necessário desenvolver uma heurística adaptada às características do problema real da empresa. Este capítulo contém também comparações dos resultados que se foram obtendo com o que a empresa executou.

Por fim, o Capítulo 5 (Conclusões, Limitações e Sugestões) apresenta as conclusões relativamente a todo o trabalho desenvolvido com a dissertação, uma exposição de algumas limitações com o desenvolvimento do estudo e também algumas sugestões que podem ser tidas em conta para o futuro da empresa.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura existente no que diz respeito à logística, à gestão da cadeia de abastecimento, à distribuição e, de um modo particular ao *vehicle routing problem*. Relativamente ao VRP foi realizado um estudo aprofundado das suas características, das variantes mais conhecidas e dos métodos de solução do VRP, nomeadamente métodos exatos e métodos aproximados como é o caso das heurísticas.

### 2.1 Logística

O conceito “logística” apareceu há muitos séculos, contudo só começou a ganhar a devida importância no decorrer dos tempos de guerra, em que o uso da logística foi um fator de sucesso nas estratégias militares (Cabral, 2012) remontando assim ao século XVIII (Buller, 2008). Nessa altura, havia a necessidade de planeamento e deslocação dos militares com os seus suprimentos (armamentos, veículos, alimentos, medicamentos, entre outros) com o objetivo de realizar operações eficientes e eficazes nos campos de batalha para combater os inimigos e obter vitórias. Tendo os generais tarefas a seus cargos relacionadas com aspetos logísticos tais como, planeamento de rotas de acesso para abastecimento dos alojamentos, formas de transporte de alimentos e materiais necessários ao combate, formas de armazenar as cargas nos alojamentos/acampamentos militares. Sendo que ainda hoje nos estudos sobre logística está presente a sua origem no âmbito militar (Buller, 2008).

A logística está presente no dia-a-dia de todos os setores de atividade, seja ele o setor primário como é o caso da agricultura ou o setor terciário onde se insere a saúde (Cabral, 2012).

#### 2.1.1 Definição e importância da logística

O autor Moura (2006) refere de uma forma sintética no seu livro *Logística: Conceitos e Tendências* que a logística é “o processo de gestão de fluxos de produtos, de serviços e da informação associada, entre fornecedores e clientes (finais ou intermédios) ou vice-versa, levando aos clientes, onde quer que estejam, os produtos e serviços de que necessitam, nas melhores condições” (pp15).

Segundo a maior organização de profissionais a nível mundial da área, o *Council of Supply Chain Management Professionals*, “a logística é parte da cadeia de abastecimento e é responsável por planear, implementar e controlar o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso de bens, o armazenamento e, é ainda responsável pelos serviços e informação relacionada entre o ponto de origem e o ponto de consumo de forma a garantir as necessidades dos clientes”(CSCMP, n.d.).

A mesma organização, *Council of Supply Chain Management Professionals*, define “as atividades logísticas como incluindo a gestão do *inbound* e do *outbound* em termos de transporte (transporte de entrada e transporte de saída), gestão da frota, gestão da armazenagem, gestão de materiais e seu manuseamento, gestão da resposta a encomendas, desenho da rede logística, gestão de inventários, planeamento do abastecimento e da procura e gestão dos prestadores de serviços logísticos” (CSCMP (n.d.) citado de Carvalho et al. (2017)).

De uma forma tradicional, a principal função da logística resumia-se à gestão dos fluxos de produtos numa organização. Todavia, dado o impacto da gestão da informação na eficiência das operações e na qualidade do serviço prestado ao cliente, revelou a importância deste fluxo de informação. Aliando estes dois fluxos, é possível reduzir stocks, diminuir desperdícios, diminuir prazos de entrega, melhorando a qualidade do serviço logístico (Moura, 2006).

De acordo com o autor Ballou (1999) citado por Silva (2016) o transporte, atividade chave da logística, tem como funções:

- Seleção do serviço e modo de transporte;
- Consolidação de carga;
- Planeamento de rotas de transporte;
- Calendarização de viagens;
- Escolha dos equipamentos;
- Processamento de ocorrências e reclamações;
- Verificação de preços e taxas.

Atualmente, o segredo para o sucesso de uma empresa poderá estar na logística e nas suas capacidades para diminuir custos, tempo de resposta e na possibilidade de melhorar o serviço ao cliente. No mundo competitivo que existe, a empresa que fornece da melhor forma as informações, que serve melhor, que dá em primeiro lugar resposta às necessidades dos seus clientes, superando as respetivas expectativas, destaca-se de todas as outras (Moura, 2006).

## 2.2 Gestão da cadeia de abastecimento

O conceito de gestão de abastecimento, termo também conhecido do inglês por *Supply Chain Management (SCM)*, surgiu em meados dos anos 90 (Moura, 2006) e desde então tem sido alvo de

estudo e de discussão por vários autores que procuram formular uma definição que melhor explique o conceito (Areias, 2017).

Ao termo logística, estavam associados processos como a distribuição, gestão de recursos, gestão da produção, entre outros, que eram considerados uma extensão da logística. Mais tarde, dada a complexidade dos processos associados, surgiu o conceito de cadeia de abastecimento (Cabral, 2012).

Beamon (1998) citado por Areias (2017) define **cadeia de abastecimento** como sendo “um processo integrado onde várias entidades trabalham em conjunto com o intuito de adquirir matérias-primas, converter essas matérias-primas em produto acabado e por fim, enviar o produto acabado para os clientes. A cadeia de abastecimento caracteriza-se por um fluxo de trás para a frente de materiais, e no sentido inverso de informação”. Um exemplo generalizado do que é uma cadeia de abastecimento está representado na Figura 2.

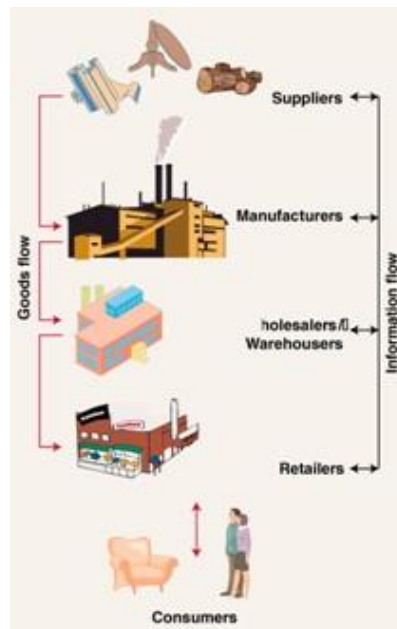


Figura 2 - Exemplo de uma cadeia de abastecimento adaptado de <https://slideplayer.com/slide/7452429/>

A definição de **Gestão da Cadeia de Abastecimento** dado pelo *Council of Supply Chain Management Professionals* é a seguinte: “Gestão da cadeia de abastecimento envolve o planeamento e a gestão de todas as atividades de *sourcing* e *procurement*, produção e todas as atividades de gestão logística. É importante referir que a gestão da cadeia de abastecimento envolve a coordenação e a procura de colaboração entre parceiros da cadeia, sejam eles fornecedores, intermediários, prestadores de serviços logísticos e clientes. Em essência, a Gestão da Cadeia de Abastecimento integra as componentes de abastecimento (*sourcing*) e procura (*procurement*) dentro e entre empresas.” (CSCMP, n.d.).

Assim, a tarefa de colocar a funcionar em harmonia todas as partes envolvidas de uma cadeia de abastecimento designa-se por gestão da cadeia de abastecimento (Silva, 2016). A Figura 3 é um modelo representativo da gestão da cadeia de abastecimento.

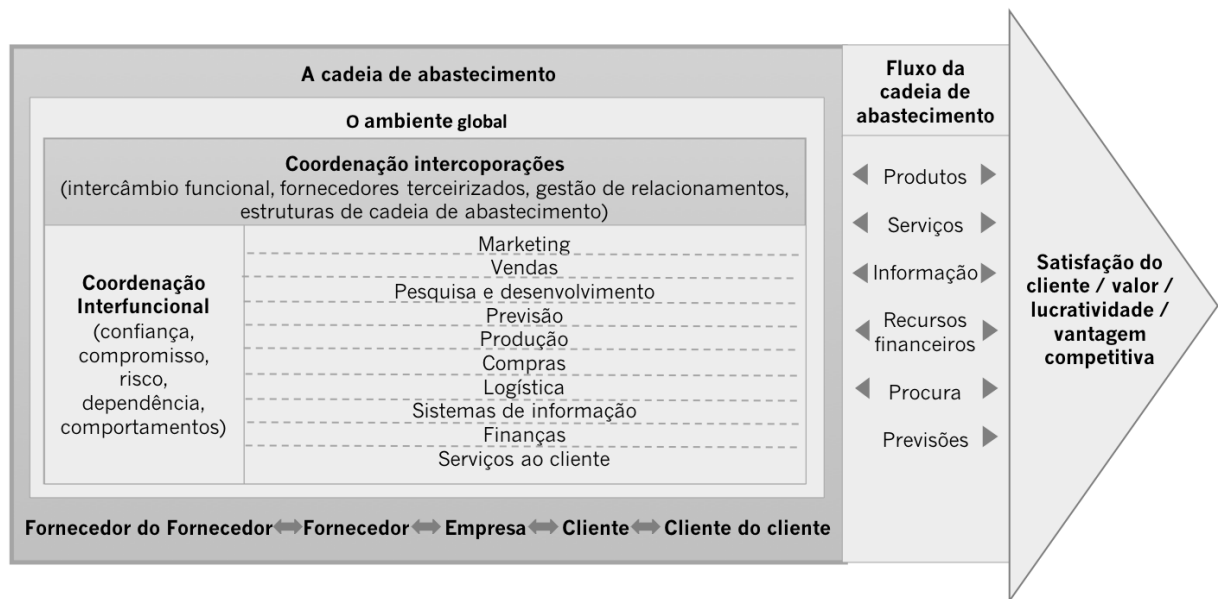


Figura 3 - Um modelo de gestão da cadeia de abastecimento, adaptado de Mentzer Model (2001), retirado de <https://www.ilos.com.br/web/mentzer-model/>

## 2.3 Distribuição

Uma parte muito importante da logística é a gestão de transportes. Por sua vez, a logística é um elemento-chave da gestão da cadeia de abastecimento (Monczka et al., 2009).

A distribuição é a atividade central da logística e consiste na movimentação, armazenagem, processamento de pedidos e entrega de produtos de uma organização. A principal preocupação que as empresas têm com a distribuição é a disponibilização do produto ao cliente nas quantidades, locais e momentos certos, com a melhor opção de custo para o cliente e de acordo com as exigências do nível de serviço (Buller, 2008).

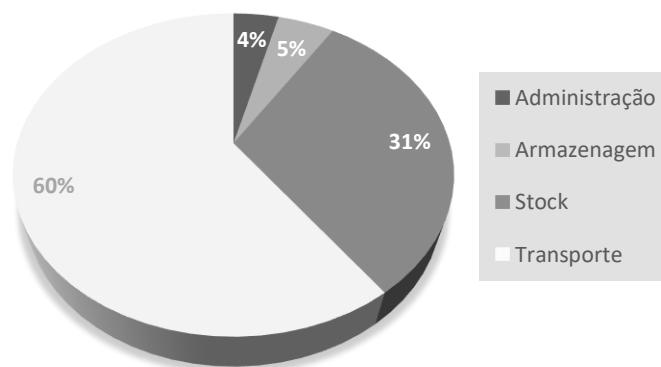
De acordo com Buller (2008), gestão da distribuição contempla quatro subprocessos/tarefas centrais:

- Processamento de pedidos/encomendas;
- Controlo de stocks;
- Separação de cargas de acordo com planeamento de rotas;
- Transporte propriamente dito.

Muitas das empresas produtoras que realizam a entrega dos seus produtos recorrem a empresas transportadores através de parcerias para prestarem o serviço de distribuição de mercadoria, pois os custos de manutenção de frotas próprias para uma empresa produtora são bastante elevados. Contudo, ter ou não frota própria é uma decisão que deve ser ponderada pela organização dado que, influencia os seus custos de operações, o nível de serviço e a rentabilidade (Buller, 2008).

Os custos inerentes à distribuição estão relacionados com a mão de obra necessária, com os equipamentos que auxiliam a distribuição (como é o caso dos empilhadores), com o combustível e com as distâncias a percorrer, com o peso e volume das cargas a transportar, com as características dos produtos a transportar (dimensões e perigosidade), com a manutenção da frota e com certificados e licenças necessários (Buller, 2008; Mota, 2011).

A distribuição, de acordo com vários estudos e pesquisas acerca do tema, representa cerca de dois terços dos custos logísticos de uma organização (Buller, 2008). Por exemplo no Brasil, de acordo com Abrahão & Soares (2006), a parcela referente ao transporte de acordo com os custos logísticos considerados corresponde a cerca de 60% como se pode comprovar com o gráfico da Figura 4.



*Figura 4 - Gráfico da constituição do custo logístico no Brasil adaptado de Abrahão & Soares (2006)*

Devido aos elevados custos relacionados com o transporte/distribuição de mercadoria, as organizações industriais, independentemente das suas dimensões, procuram ter um gestor responsável apenas pela gestão da distribuição (Mota, 2011).

O tipo de transporte utilizado para realizar o transporte do produto acabado de uma empresa aos clientes depende de diversos fatores como é o caso da velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência de utilização (Buller, 2008). A Tabela 1 está presente um resumo dos tipos de transporte (breve descrição acrescida de vantagens e desvantagens do mesmo).

Tabela 1 - Síntese das características dos diversos tipos de transporte. Fonte: Adaptado de Chopra & Meindl (2010) citado por Silva (2016) e Mota (2011)

Tipo de transporte	Descrição	Vantagens	Desvantagens
<b>Transporte rodoviário</b> 	Transporte realizado por via terrestre, com recurso às redes de estradas disponibilizadas em cada país. Os principais veículos utilizados são os veículos ligeiros e pesados, podendo com menos frequência recorrer-se a motociclos e às bicicletas.	+ tipo de transporte mais flexível em termos de percursos; + baixos custos fixos (estradas da responsabilidade do estado); + transporte porta-a-porta.	- custos variáveis moderados (combustível, manutenção); - poluição atmosférica; - elevado número de acidentes; - engarrafamentos.
<b>Transporte ferroviário</b> 	Transporte realizado por via terrestre, com recurso a linhas férreas. É efetuado através de comboios e carruagens, podendo também recorrer-se a metros e elétricos. Este tipo de transporte é ideal para cargas pesadas e longas distâncias.	+ grande capacidade de transporte → baixos custos variáveis; + económico em médias e longas distâncias; + seguro e cómodo; + pouco poluente.	- elevados custos fixos (equipamentos e infraestruturas); - itinerário fixo.
<b>Transporte marítimo</b> 	Transporte realizado via marítima (navegação por mar) ou fluvial (navegação por rio), com recurso a barcos e a navios. Este tipo de transporte é ideal para transporte de mercadorias de cargas pesadas e para longas distâncias.	+ grande capacidade de transporte → baixos custos variáveis; + segurança no transporte de mercadorias; + económico em médias e longas distâncias.	- velocidade de transporte lenta (viagens demoradas); - poluição das águas.
<b>Transporte aéreo</b> 	Transporte realizado por via aérea, com recurso a aviões e helicópteros. Utilizado preferencialmente para transportar pessoas ou mercadorias urgentes.	+ tipo de transporte mais rápido + seguro e cómodo.	- elevados custos fixos (equipamentos e infraestruturas); - elevados custos variáveis (combustível e manutenção); - poluição sonora e atmosférica; - elevado tráfego aéreo.
<b>Transporte intermodal</b> 	Trata-se da utilização de mais do que um meio de transporte no transporte de mercadoria/passageiros até ao destino final, devido às restrições de cada tipo de transporte, pode ser necessário recorrer a mais do que um tipo de transporte.	+ variada oferta de empresas prestadoras deste tipo de serviço; + possibilidade de combinar diversos tipos de transporte, diminuindo custos e tempos de resposta.	- complexidade da tarefa de combinar diferentes tipos de transporte.

## 2.4 Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

O transporte de mercadorias e conseqüentemente o número de entregas tem vindo a aumentar acompanhando a evolução dos mercados. Tem vindo assim, a ser mais difícil chegar à determinação dos percursos mais curtos. Existem vários modelos de problemas de roteamento, um dos mais conhecidos e estudados no âmbito da otimização combinatória é o Problema do Caixeiro Viajante também conhecido por *Travelling Salesman Problem* (TSP).

O Problema do Caixeiro Viajante tem como objetivo determinar uma rota que seja o circuito mais curto, onde se visite um conjunto de  $n$  cidades, se garanta que todos esses nós sejam visitados e que o sejam apenas uma vez por rota, regressando no final ao ponto de partida. No final o percurso percorrido tem de ser o mais curto (Hurkens & Woeginger, 2004).

No Problema do Caixeiro Viajante as cidades ou clientes a visitar estão representados num grafo por nodos/vértices e as ligações entre eles são arcos/arestas. Para obter a solução é necessário ter a distância entre todos os vértices desse mesmo grafo. A Figura 5 é um exemplo do problema do caixeiro viajante com 13 vértices (1ª sequência), em que na 4ª sequência é apresentada a rota com a distância mais curta.

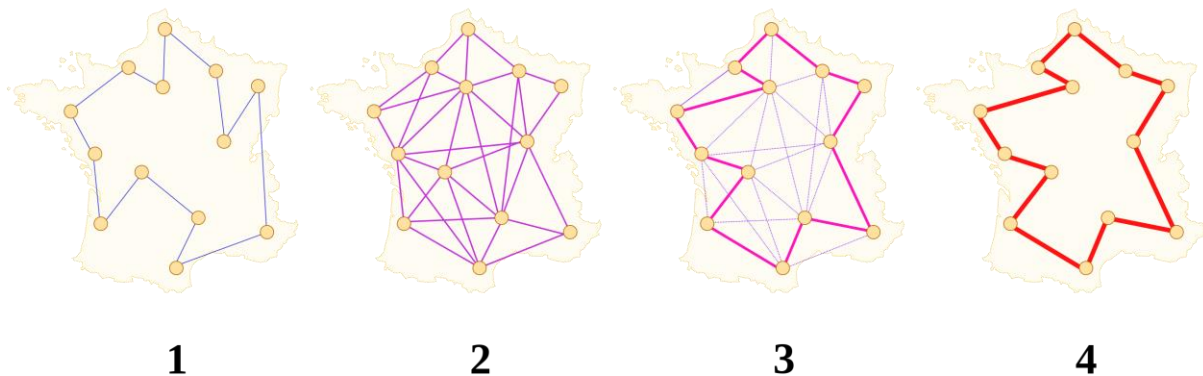


Figura 5 - Exemplo de um Problema do Caixeiro Viajante retirado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling\\_salesman\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem)

## 2.5 Problema do Roteamento de Veículos (PRV)

No livro de Toth & Vigo (2002) "*The Vehicle Routing Problem*" (VRP) o problema da distribuição de bens é definido como um serviço, concedido num dado período de tempo, a um conjunto de clientes por um conjunto de veículos, que estão localizados num ou mais depósitos, executados por um conjunto de motoristas que realizam as suas movimentações através de uma rede de estradas.



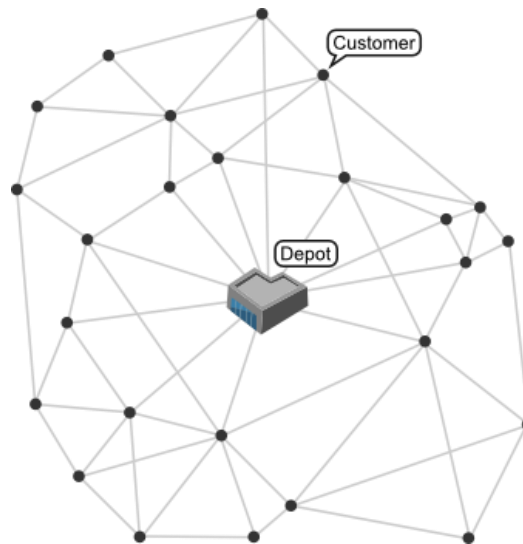


Figura 6 - Esquema genérico de um problema VRP, adaptado de <https://vehicle-routing-problem.github.io>

A Figura 6 tem representado os clientes (“*Customer*”) através dos pontos pretos e ao centro tem um armazém (“*Depot*”). A determinação de um conjunto de rotas, realizadas por um conjunto de motoristas, em que cada veículo parte do armazém percorre um determinado número de clientes e regressa ao armazém, satisfazendo no final a procura de todos os clientes, respeitando todas as restrições e minimizando o custo total relacionado com o transporte é a solução de um VRP (problema do roteamento de veículos) (Toth & Vigo, 2002). Na Figura 7 apresenta-se o exemplo de uma solução VRP para a instância apresentada na Figura 6.

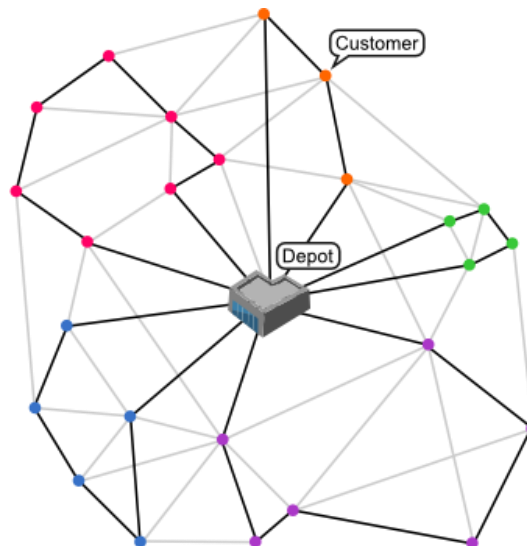


Figura 7 - Esquema de uma solução VRP, adaptado de <https://vehicle-routing-problem.github.io>

Como foi referido anteriormente o transporte é realizado através de uma rede de estradas normalmente representadas através de um grafo, onde os arcos representam as secções da estrada e

os vértices a localização dos depósitos e clientes. Os arcos, e por consequência o grafo, podem ser orientados ou não-orientados, consoante estes possam ser percorridos numa só direção (como é o caso de estradas com sentido único de circulação de veículos) ou em ambos os sentidos, respetivamente. Cada arco possui um custo que normalmente está relacionado com o comprimento da secção da estrada e um tempo de “viagem” que depende do veículo com o qual é percorrido e da janela temporal em que este é atravessado (Toth & Vigo, 2002).

As características típicas dos clientes segundo Toth & Vigo (2002) são as seguintes: o vértice corresponde à localização do cliente no grafo; possuem uma quantidade de bens (procura) a ser entregue ou recolhida; têm períodos do dia (janelas temporais) durante os quais o cliente pode ser servido; existe um tempo necessário para realizar a descarga ou carga de mercadoria no cliente que deverá depender do tipo de veículo e tipo de veículo disponível para atender a determinado cliente (certos veículos devido a determinadas características podem estar impedidos de se dirigirem a alguns clientes).

Para realizar o transporte de bens recorre-se a uma frota de veículos da qual a composição ou tamanho pode ser fixo ou variar consoante os pedidos dos clientes. Toth & Vigo (2002) identificaram as seguintes características como sendo as comuns aos veículos. Os veículos são caracterizados por estarem associados a um depósito, ao qual devem de regressar após a realização de uma rota, havendo a possibilidade de terminar um dado serviço num depósito que não é o habitual, caracterizam-se pela sua capacidade (peso, volume, número de paletes máximo que o veículo pode suportar), pela possibilidade de subdividir o veículo em compartimentos para transportar diferentes tipos de bens que não podem estar em contacto, por possuir mecanismos disponíveis para realizar as cargas e descargas, pela existência de um conjunto de arcos (estradas) que podem ou não ser atravessados pelo veículo e pelos custos associados à utilização do veículo (distância percorrida, tempo despendido).

Muitos são os objetivos tidos em conta para serem usados no VRP. Os mais comuns são minimizar o custo total com o transporte (dependente da distância total percorrida e dos custos fixos associados ao uso dos veículos e à necessidade de motoristas); minimização do número de veículos ou de condutores necessários para dar resposta a todos os clientes; organização das rotas, tendo em conta o tempo necessário para fazer as entregas e carga do veículo; minimização das consequências relacionadas com a não satisfação das procuras totais dos clientes (Toth & Vigo, 2002).

Um VRP genérico pode ser definido como um grafo completo  $G = (V, A)$ , onde  $V = \{0, \dots, n\}$  é o conjunto de vértices e  $A = \{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$  o conjunto de arestas do grafo  $G$ . Os vértices  $V = i, \dots, n$  correspondem aos clientes, e o vértice 0 é o depósito (armazém). A cada arco  $(i, j) \in A$  é

associado um custo não negativo  $c_{ij}$  que representa o custo dependente do comprimento do vértice  $i$  ao vértice  $j$ . A cada  $V \setminus \{0\}$  está associada uma procura  $d_i$  que corresponde ao pedido de cada cliente (o depósito tem uma procura fictícia  $d_0 = 0$ ). A um dado conjunto de vértices  $S \subseteq V$ , a  $d(S) = \sum_{i \in S} d_i$  corresponde ao somatório da procura desse conjunto de clientes (Kramer, Subramanian, & Penna, 2015; Pena, 2017; Toth & Vigo, 2002).

O VRP consiste assim em determinar um conjunto de  $m$  rotas (cada uma associada a um veículo) de forma a que cada cliente seja visitado uma única vez, por um único veículo e, que o custo total com o transporte seja minimizado satisfazendo a procura de todos os clientes (Kramer et al., 2015).

O termo VRP surgiu há cerca de 60 anos por meio do artigo "*The truck dispatching problem*" escrito por Dantzig e Ramser. Os autores descreveram um problema real relacionado com a entrega de gasolina em postos de abastecimento e desenvolveram a primeira formulação matemática e uma abordagem algorítmica para assim resolverem o problema. Clarke e Wright, em 1964, propuseram uma heurística que se revelou eficaz e que veio melhorar a abordagem anteriormente desenvolvida por Dantzig e Ramser (Toth & Vigo, 2002). Desde então, o tema passou a ser alvo de estudo, tendo sido propostos modelos exatos e heurísticos para a obtenção de soluções a diferentes vertentes do VRP.

O VRP é considerado um problema NP-Difícil, pois dada a complexidade de resolução, encontrar uma solução ótima cresce exponencialmente com o aumento do número de clientes (Kramer et al., 2015).

Drexl (2012) afirma que VRP's podem ser categorizados de acordo com as suas propriedades respeitando os pedidos a serem atendidos, à frota disponível para tal, à estrutura da rota a percorrer, aos objetivos propostos e ao horizonte de planeamento considerado. A Figura 8 representa um esquema que resume as características dos VRP's consideradas pelo autor.

Encomendas	Frota	Estrutura da rota	Objetivos	Tipo de planeamento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Janelas temporais</li> <li>• Precedência (recolha antes da entrega, carregamento LIFO)</li> <li>• Compatibilidade veículo-condutor-encomenda</li> <li>• Tipos especiais de encomendas (opcionais, expectáveis, ...)</li> <li>• Diferentes formas de executar uma encomenda</li> <li>• Itinerários dos veículos dependentes da encomenda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos (fixos, variáveis, ...)</li> <li>• Restrições de capacidade</li> <li>• Velocidade de condução (constante, variável consoante o veículo, ...)</li> <li>• Disponibilidade temporal</li> <li>• Posições inicial e final do veículo</li> <li>• Tipo de veículo</li> <li>• Equipamento técnico</li> <li>• Número de veículos de cada tipo</li> <li>• Condutores (qualificações, legislação social)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fechada (começa e acaba no depósito)/aberta (acabar em qualquer local)</li> <li>• Rotas múltiplas por veículo</li> <li>• Zonas de rota fixa</li> <li>• Rotas visualmente atrativas</li> <li>• Rotas independentes com sincronização</li> <li>• Restrições de recursos entre rotas</li> <li>• Rotas balanceadas (relativamente à capacidade utilizada, duração, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidimensional (minimizar número de veículos, minimizar o custo, ...)</li> <li>• Multidimensional</li> <li>• Impacto/efeito das restrições (<i>hard</i> ou <i>soft</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horizonte temporal (tático-médio prazo, operacional-curto prazo e tempo real-dinâmico)</li> <li>• Disponibilidade e precisão dos dados (determinísticos, estocásticos e incertos ou desconhecidos)</li> </ul>

Figura 8 - Características dos VRP's, adaptado de Drexel (2012)

### 2.5.1 Variantes do VRP

Os problemas reais do VRP estão associados às restrições e, foram estas restrições que originaram a formação das diversas variantes do VRP. Sendo as mais consideradas ao longo dos anos as que serão apresentadas de seguida.

#### Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

O CVRP – problema do roteamento de veículos capacitados é a variante mais comum e mais vezes abordada no que se refere ao VRP. Sendo que vários autores não referem o CVRP como variante do VRP, mas sim como sendo o VRP básico tal como Toth & Vigo (2002) no livro “*The Vehicle Routing Problem*”.

O CVRP deriva do VRP sendo que os veículos possuem capacidade limitada, capacidade  $Q$ . Assim, a procura dos clientes é determinística, ou seja, é conhecida antecipadamente. A encomenda de cada cliente não pode ser dividida, isto é, satisfeita recorrendo a dois veículos. A frota utilizada é homogénea, tendo os veículos a mesma capacidade e custos e existe um só depósito. O objetivo é minimizar o custo

total da distribuição, normalmente expresso através da distância percorrida necessária para satisfazer todos os clientes (S. Liu, Huang, & Ma, 2009; Rizzoli, Montemanni, Lucibello, & Gambardella, 2007).

Existem segundo Liu et al. (2009) algumas variantes do CVRP que permitem a existência de frotas heterogêneas, em que os veículos podem ter capacidade e custos diferentes entre si.

Uma das variantes do CVRP é a *Fleet size and mix vehicle routing problem* (FSMVRP) em que se tem de decidir o número de veículos a utilizar da frota ilimitada e que os veículos diferem nas capacidades e custos (Liu et al., 2009). Uma outra variante do CVRP é a *Heterogeneous vehicle routing problem* (HVRP). Na HVRP a frota continua a poder ser constituída por veículos de diferentes capacidades e custos, contudo a frota é limitada. O objetivo é obter o menor custo possível tendo em consideração a frota disponível (S. Liu et al., 2009).

#### Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

O VRPTW – problema de roteamento de veículos com janelas temporais é a segunda variante apresentada e uma das mais conhecidas. Quando os clientes apresentam restrições ao nível do horário do seu atendimento, estamos perante um problema do roteamento de veículos com janelas temporais. Neste caso a cada cliente  $i$  está associado uma janela temporal  $[a_i, b_i]$  com um tempo de serviço  $s_i$  (Rizzoli et al., 2007). O serviço de cada cliente deve começar dentro da janela de tempo associada. No caso do veículo chegar mais cedo ao local do cliente  $i$ , por norma o procedimento é o veículo esperar até atingir a hora estipulada  $a_i$  para efetuar a entrega (Toth & Vigo, 2002).

A existência de janelas temporais leva a que o VRP se torne muito complexo. E, caso os clientes definam uma janela temporal muito curta para se efetuarem descargas, originam a que em muitos casos sejam utilizados mais veículos e mais rotas do que o que seria necessário caso não existissem as janelas temporais (Fernandes, 2012).

Segundo Kang, Lee, Lee, & Lee (2008) o VRPTW pode ser dividido em duas variantes, no *Vehicle routing problema with hard time window* (VRPHTW) e no *Vehicle routing problem with soft time window* (VRPSTW). A primeira variante, VRPHTW, obriga a que a janela temporal seja cumprida obrigatoriamente, a segunda, VRPSTW, permite que a janela horária não seja respeitada, incorrendo em penalizações nesses casos. O autor defende que VRPSTW é mais realista do que VRPHTW, pois nem sempre é possível cumprir com as janelas horárias dos clientes devido a imprevistos do dia-a-dia, tais como trânsito, avarias nos veículos e faltas dos motoristas.

### Vehicle routing problem with pick-up and delivery (VRPPD)

No VRPPD – problema do roteamento de veículos com recolha e entrega, os produtos a serem transportados não estão centrados em depósitos. O principal objetivo do VRPPD, à semelhança das anteriores variantes, consiste em obter as rotas que garantam que os custos no final sejam minimizados e todos os clientes sejam visitados (Fernandes, 2012).

A tarefa consiste em transportar uma encomenda de um local para o ponto definido como local de entrega. O VRPPD por norma inclui janelas temporais quer para a recolha de mercadoria, quer para a entrega (Drexler, 2012; Rizzoli et al., 2007).

Esta variante do VRP é muito comum em empresas que realizam exclusivamente serviços de transporte (Pena, 2017), sendo que no dia-a-dia as empresas têm de recolher dos seus clientes, aquando das entregas, mercadorias que possuam defeitos (Fernandes, 2012).

### Multi-trip vehicle routing problem (MTVRP)

O MTVRP – problema do roteamento de veículos com várias viagens é uma variante do VRP. É muito comum as empresas utilizarem veículos de menores dimensões para realizarem entregas rápidas relativamente perto do depósito. Assim, as empresas necessitam que cada um desses veículos voltem mais vezes ao depósito para se reabastecerem ao longo do período para o qual é feito o planeamento. MTVRP consiste na determinação de um conjunto de rotas para cada veículo, em que os custos devem de ser minimizados e todos os pedidos satisfeitos (Cattaruzza, Absi, Feillet, & Vidal, 2014).

### Multi-compartment vehicle routing (MCVRP)

O MCVRP – problema do roteamento de veículos com múltiplos depósitos é outra variante do VRP que se caracteriza pela necessidade de mercadorias diferentes serem incompatíveis num mesmo espaço e terem de ser transportadas num mesmo veículo em compartimentos diferentes (Mendoza, Castanier, Guéret, Medaglia, & Velasco, 2010).

Cada veículo utilizado nesta variante do VRP caracteriza-se por ter um dado número de compartimentos que permite transportar diferentes produtos, sendo que cada compartimento possui uma dada capacidade. Esta necessidade de transportar diferentes produtos em compartimentos deve-se a situações como é o caso de veículos que têm de recolher leite (num mesmo cliente ter de recolher leite de vaca e de cabra) ou como no caso dos veículos que transportam produtos petrolíferos (para um mesmo posto de abastecimento, os camiões transportam os diversos combustíveis) (Coelho & Laporte, 2015; Mendoza et al., 2010).

### Multi-depot vehicle routing problem (MDVRP)

Nos casos em que as empresas possuem mais do que um armazém e dos quais os veículos partem para realizar entregas está-se perante um problema de roteamento de veículos com múltiplos depósitos (MDVRP). Neste tipo de problema o número de depósitos e respetivas localizações estão pré-determinados e cada veículo inicia e termina a sua rota no mesmo depósito. O objetivo mantém-se em minimizar o custo de satisfazer todos os clientes (R. Liu, Jiang, & Geng, 2014).

### Open vehicle routing problem (OVRP)

O problema do roteamento aberto de veículos (OVRP) é semelhante ao CVRP, contudo nesta variante os veículos não têm necessariamente de regressar ao depósito, as rotas podem ser “abertas”. Mas, se os veículos regressarem ao ponto em que iniciaram as rotas (depósito), estes devem de o fazer visitando todos os clientes pela ordem inversa (Cao & Lai, 2010).

O OVRP tem tido mais atenção a partir do ano 2000, onde vários investigadores recorreram a diversas heurísticas e meta-heurísticas para assim tentarem resolver o OVRP (Cao & Lai, 2010)

### Site-dependent vehicle routing problem (SDVRP)

O SDVRP – problema de roteamento de veículos com restrições de acesso deriva de os clientes possuírem restrições de acesso aos veículos. Os clientes por vezes apresentam restrições ao nível das condições das estradas para determinados veículos acederem às suas instalações ou ao nível de espaço para os veículos estacionarem ou realizarem manobras necessárias para se proceder à descarga da mercadoria (Pisinger & Ropke, 2007).

### Vehicle routing problem with backhauls (VRPB)

O VRP com retorno é uma variante do VRP parecida com o VRPPD, pois os clientes para além de receberem produtos, têm de devolver mercadoria. Os autores Toth & Vigo (2002) referem que nestes casos, numa rota todas as entregas devem de ser realizadas antes de se proceder à recolha, sendo este o aspeto que difere o VRPB do VRPPD, onde neste último, podem ser feitas recolhas antes de estarem entregues todas as encomendas.

Esta vertente do VRP é importante, pois utiliza-se mais a capacidade dos veículos. Cada um dos veículos realiza entregas numa primeira fase da rota e, ao regressarem para o depósito voltam a carregar o veículo recolhendo mercadoria de outros clientes à medida que realizam o percurso de regresso ao depósito (Ferreira, 2013).

### Stochastic vehicle routing problem (SVRP)

Nos problemas de roteamento de veículos estocásticos (SVRP), as informações relativamente ao número de clientes ou ao tamanho das encomendas ou do tempo de serviço são obtidos através de distribuições de probabilidade (Drexl, 2012).

#### 2.5.2 Métodos de solução do VRP

Muitos são os métodos de resolução do problema do roteamento de veículos que têm vindo a ser estudados e aplicados. Existem duas abordagens para a obtenção de solução: algoritmos baseados em programação matemática que origina os métodos exatos e as heurísticas e meta-heurísticas (Drexl, 2012), que originam os métodos aproximados.

#### Métodos exatos

Os algoritmos exatos levam à obtenção de uma solução ótima, contudo exigem tempos de execução desgastantes e até proibitivos em instâncias com alguma dimensão como é o caso do VRP - problema considerado difícil. Outro ponto negativo deste tipo de método de solução é o facto de este ter limitações quando se pretende modelar os modelos para ajustar melhor às práticas da empresa (Casal, 2012). Toth & Vigo (2002) referiram que até então as instâncias maiores com as quais era possível, recorrendo a algoritmos exatos, obter uma solução ótima, eram constituídas por cerca de 50 clientes, sendo que, com instâncias maiores até poderiam obter soluções ótimas, mas só em casos particulares.

De entre os métodos exatos os algoritmos mais conhecidos são *branch and bound* e *branch and cut*.

##### a) Branch and Bound

O algoritmo *branch and bound* (partição e avaliação sucessivas) segundo (Spoorendonk, 2008) é conhecido pela pesquisa em árvore com enumeração e limitação. Cada ramo da árvore representa um sub-problema do problema inicial, o problema é dividido sucessivamente em problemas menores (os ramos) e, em cada passo são calculados os limites (inferior e superior) de cada ramo a que a solução tem de obedecer para ser considerada viável. Quando é encontrada uma solução válida melhor que as restantes está-se perante um novo ramo, e esse ramo não sofre mais partições.



b) Branch and cut

O algoritmo *branch and cut* é um método exato de programação inteiro, utilizado inicialmente para obter solução ao problema do caixeiro-viajante (Sousa & Asada, 2012). Recorre-se ao método de plano de corte para melhorar o cálculo do limite inferior. A junção do paradigma da ramificação com o plano de cortes é conhecido como o algoritmo *branch and cut* (Spoorendonk, 2008).

### Métodos aproximados

Devido às limitações temporais dos métodos exatos desenvolveu-se os métodos heurísticos que podem ser divididos em heurísticos (propriamente ditos) e meta-heurísticos. As heurísticas e as meta-heurísticas não oferecem uma garantia da obtenção de soluções ótimas, contudo permitem obter soluções num curto espaço de tempo mesmo para instâncias de grandes dimensões (Drexler, 2012).

Um método heurístico é um algoritmo iterativo, em que a solução obtida tende a aproximar-se da solução ótima (Melo, 2015). As heurísticas podem dividir-se em heurísticas construtivas, que procuram construir a solução gradualmente consoante os custos a ela associados, em heurísticas em duas fases, onde o problema é decomposto em dois componentes: agrupamento de vértices em rotas viáveis e construção da rota real, podendo haver a repetição destes passos e dividir-se ainda em heurísticas de melhoria, em que a solução é encontrada através da troca de arestas ou de vértices entre ou dentro de rotas (Gilbert Laporte & Semet, 2002).

As meta-heurísticas são métodos que têm sido desenvolvidos desde o início da década de 1980, com o intuito de resolver problemas de otimização complexos para os quais métodos de otimização e os métodos heurísticos não conseguem ser eficazes e eficientes. As meta-heurísticas são definidas como um processo de geração iterativa, que guia a heurística através da combinação de diferentes conceitos inteligentes, pela exploração do espaço de pesquisa, pelas estratégias de aprendizagem que são utilizadas para organizar a informação de modo a encontrar mais eficientemente soluções próximas das ótimas (Osman & Laporte, 1996). Algumas das meta-heurísticas mais conhecidas na literatura e estudadas são: *ant systems*, *simulated annealing*, *tabu search* e *genetic algorithms*.

De entre as **heurísticas** existentes serão abordadas algumas das mais conhecidas:

a) Clarke and Wright

O algoritmo *Clarke and Wright* é o clássico algoritmo construtivo que recebeu o nome dos seus autores tendo surgido em 1964. Este algoritmo baseia-se no conceito das poupanças ou economias

(*savings*) e é o método heurístico mais utilizado na resolução do VRP (Gilbert Laporte & Semet, 2002).

O algoritmo das poupanças sendo um algoritmo heurístico não garante a obtenção de uma solução ótima. Contudo a solução obtida na generalidade é uma boa solução, muito próxima da solução ótima (Lysgaard, 1997).

A base do conceito de poupança é expressa pela poupança no custo de obter de duas rotas uma única rota. Este conceito está presente na Figura 9.

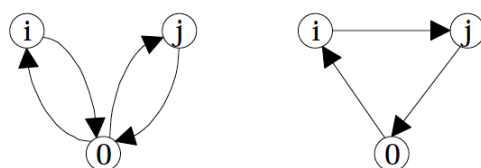


Figura 9 - Conceito de poupança obtido de Lysgaard (1997)

Analisando a Figura 9 à esquerda, constata-se que os dois clientes,  $i$  e  $j$  são visitados em duas rotas separadas partindo do depósito 0. Uma alternativa a estas duas rotas está ilustrado na Figura 9 à direita, em que numa única rota são visitados ambos os clientes, representando uma poupança dada pela fórmula (1)

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij} \quad (1)$$

onde  $S_{ij}$  representa a poupança obtida entre o cliente  $i$  e o  $j$ , o  $C_{i0}$  o custo de ir do cliente  $i$  ao depósito 0, o  $C_{0j}$  é o custo de ir do depósito ao cliente  $j$  e  $C_{ij}$  o custo de ir do cliente  $i$  ao  $j$ . Pela análise da fórmula (1) a poupança aumenta caso o custo do depósito a cada um dos clientes aumente e a distância entre clientes diminua.

A heurística de *Clarke and Wright* segue as seguintes fases (Ferreira, 2013):

1. Analisar a instância em estudo e calcular todas as poupanças dos pares possíveis entre clientes (1).
2. Ordenar as poupanças por ordem decrescente.
3. Iniciar o processo de definição de rotas, iniciando com os pares  $(i, j)$  de maior poupança para os de menor poupança.
4. Para cada par  $(i, j)$  que esteja a ser analisado, verificar se esses clientes já não pertencem a uma rota anteriormente definida.

- a. Caso não pertençam poderá iniciar-se uma nova rota com esses dois clientes.
- b. Se o cliente  $i$  estiver presente numa rota já definida, verificar se este encontra numa das extremidades dessa rota (não contando com o depósito como extremidade). Se sim, acrescentar o par de clientes  $(i, j)$  nessa extremidade. Repetir esta análise para o cliente  $j$ . Se nenhum dos clientes satisfizer esta condição, retoma-se a fase 3.
- c. Se ambos os clientes pertencerem a duas rotas diferentes e estiverem nas extremidades dessas mesmas rotas (não contando com o depósito como extremidade), deve-se nesse caso unir as rotas nas extremidades onde se encontram os clientes. Caso esta condição não se verifique passar para o próximo passo d.
- d. Sempre que se adiciona um cliente a um percurso ou, sempre que se unam dois percursos deve-se verificar se todas as restrições do problema em causa são respeitadas, mais concretamente a capacidade do veículo que realizará essa mesma rota e o tempo disponível para o fazer.
- e. O algoritmo termina quando todos os clientes da instância estão afetados a uma rota.

Uma desvantagem desta heurística é o facto de a combinação de rotas ou de arestas só ser possível nos extremos da rota.

b) Fisher and Jaikumar

O algoritmo de *Fisher and Jaikumar* é talvez o mais conhecido algoritmo de *cluster-first, route-second*, algoritmo de duas fases (G. Laporte, Gendreau, Potvin, & Semet, 2000). Esta heurística datada de 1981 foi introduzida por Fisher e Jaikumar, tendo assim, adotado o nome dos próprios (Sultana, Akhand, & Rahman, 2017). Em vez de usar um método geométrico para formar os *clusters*, o algoritmo forma os *clusters* de clientes resolvendo um problema de afetação generalizada (*Generalized Assignment Problem* – GAP) (Gilbert Laporte & Semet, 2002). Um problema de afetação generalizada (GAP) por ser descrito como:

Passo 1: Seleção de sementes- escolher os pontos para iniciar cada *cluster k*.

Passo 2: Alocação de clientes para sementes- calcular o custo de alocar cada cliente  $i$  para cada *cluster k*.

Passo 3: Afetação generalizada- resolver um GAP com custos, pesos do cliente  $q_i$  e capacidade do veículo  $Q$ .

Passo 4: Solução TSP- resolver um TSP para cada *cluster* correspondente à solução TSP.

Na heurística *Fisher and Jaikumar* o número de rotas é definido à partida. A partir do momento em que se tem os clusters formados recorre-se ao TSP ou a uma variante para se obter o menor custo possível (Sultana et al., 2017).

c) *Sweep*

O algoritmo *sweep*, tal como o nome indica, é conhecido como o método da varredura. Segundo os autores (Gilbert Laporte & Semet, 2002) através de um raio centrado no depósito, este vai “varrendo” o plano, incluindo os clientes que vão formando rotas para o veículo disponível. A descrição do algoritmo *sweep* resume-se aos seguintes passos:

Passo 1: Inicialização da rota- Escolha de um veículo  $k$  não utilizado.

Passo 2: Construção da rota- Partindo de um vértice não afetado que faz menor ângulo com o depósito, ir atribuindo vértices (clientes) ao veículo  $k$  sem que a sua capacidade ou o comprimento máximo da rota sejam excedidos. Se no final deste passo ainda existirem vértices por serem afetados a uma rota, repetir o Passo 1.

Passo 3: Otimização da rota- otimizar cada uma das rotas obtidas resolvendo o TSP.

d) *Multi-route Improvement*

Esta heurística consiste em transferir ou trocar clientes entre rotas de uma forma cíclica procurando obter melhores resultados (Gilbert Laporte & Semet, 2002).

Segundo Van Breedam (1994) existem quatro tipos de movimentos nas heurísticas de melhoria:

- *String cross* (SC): duas cordas de vértices são trocadas pelo cruzamento de duas arestas de duas rotas diferentes (Figura 10);

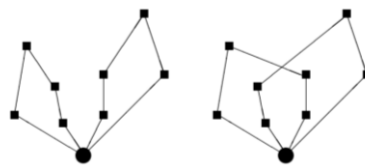
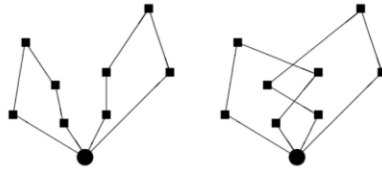


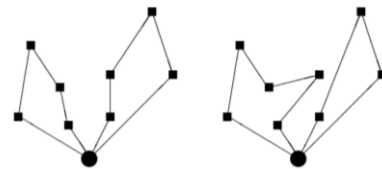
Figura 10 – Exemplo de *string cross* retirado de Van Breedam (1994)

- *String exchange* (SE): duas cordas de no máximo  $k$  vértices são trocadas entre duas rotas (Figura 11);



*Figura 11 – Exemplo de string exchange retirado de Van Breedam (1994)*

- *String relocation* (SR): uma cadeia de no máximo  $k$  vértices é movida de uma rota para outra, normalmente com  $k=1$  ou  $2$  (Figura 12).



*Figura 12 – Exemplo de string relocation retirado de Van Breedam (1994)*

- *String mix* (SM): o melhor movimento entre SE e SR é selecionado.

### 3. A EMPRESA

Neste capítulo é apresentada a JPZ Cartonagem S.A. explorando a sua história e os produtos que fabrica. Detém também um subcapítulo que descreve o setor de distribuição da empresa, contendo a caracterização da frota da JPZ, detalhes relativos à organização e planeamento da expedição e por fim são indicados alguns problemas identificados.

#### 3.1 JPZ Cartonagem, S.A.

Há cerca de 33 anos atrás, três irmãos ergueram a denominada Taipas Cartonagem, Lda e com a ajuda de apenas 2 funcionários começaram a trabalhar e a crescer de dia para dia. Contudo, ao fim de 10 anos a empresa fecha portas, mudam de instalações e nasce em 1996 a JPZ Cartonagem, S.A. com cerca de 30 funcionários. Na Figura 13 apresenta-se o logótipo da JPZ Cartonagem, S.A.



*Figura 13 - Logótipo da JPZ*

A JPZ surge assim por força de vontade da família Carvalho, com dois dos três irmãos fundadores da Taipas Cartonagem, Lda, uma família com o espírito empreendedor e inovador. Ainda hoje é esta raiz familiar que prevalece na liderança e no contínuo desenvolvimento da empresa. Com o desenvolvimento dos tempos e da própria empresa, esta foi acolhendo colaboradores de diversas áreas, para assim melhorar a capacidade de resposta, satisfazendo os seus clientes com os diversos desafios e projetos que foram surgindo nos *timings* certos. Atualmente a JPZ conta com cerca de 80 trabalhadores. As instalações têm cerca de 6000  $m^2$  e irão aumentar muito em breve dado estar a ser construído um novo armazém em anexo às instalações já existentes, para dar resposta à procura e ao desenvolvimento que a empresa tem tido ao longo dos anos. Devido às burocracias necessárias para construir o novo armazém, a empresa viu-se na necessidade, há cerca de 2 anos, de arrendar um espaço para assim conseguir armazenar matéria-prima e produto acabado. O armazém alugado tem o inconveniente de estar relativamente afastado da empresa.

A JPZ oferece as soluções em diversos ramos de atividade, como por exemplo, na indústria do calçado, sector têxtil, setor alimentar, através da diversificada gama de matérias-primas e produtos. Para tal tem ao seu dispor uma diversificada gama de cartolinas de diferentes gramagens, cartão canelado, microcanelados e contra colados. A par disto, a JPZ possui as mais diversas máquinas que a coloca em vantagem a fim de dar resposta aos seus clientes, independentemente do desafio, com a qualidade e quantidades desejadas nos prazos de entrega estabelecidos.

Como forma de reconhecimento da gestão eficiente e sustentada a JPZ Cartonagem S.A. em 2010 foi reconhecida com o prémio de PME Líder, pelo Governo Português e pelas instituições bancárias, sendo assim eleita como uma das empresas com melhores performances e com baixo nível de risco. Este foi um feito que se tem vindo a repetir desde então.

### 3.1.1 Produtos

A JPZ produz e distribui uma variedade de caixas de cartão, caixas litografadas e cartolinas. Todos os produtos são entregues aos clientes em paletes; a quantidade por palete varia em função da dimensão da palete, do tipo de artigo e das dimensões desse mesmo artigo.

Na empresa trabalha-se com 3 tipos diferentes de paletes:

- Palete de 1200x800 (a chamada euro palete);
- Palete de 1200x1000 (a palete americana);
- Palete sem medida (todas as paletes que não têm as medidas acima indicadas).

Uma palete com caixas de cartão canelado, dependendo da palete e das medidas da caixa, pode levar mais de 500 caixas por palete. O produto transportado em palete para o cliente não é uma caixa propriamente dita como se pode observar na Figura 14. As caixas possuem as dobras para no destino o cliente facilmente construir a caixa por dobragem dos lados da mesma.



*Figura 14 - Caixas desmontadas em paletes prontas para entregar ao cliente*

Neste tipo de caixas, o cartão é bastante grosso e quando têm impressões estas são impressas diretamente no cartão. Na Figura 15 são apresentados dois exemplos de caixas de cartão canelado.



*Figura 15 - Exemplo de caixas de cartão canelado*

Caixas litografadas presentes na Figura 16 diferem das anteriores no sentido em que todas contêm impressões, contudo a impressão é feita na cartolina e a cartolina é contra colada depois em microcartão.





Figura 16 - Exemplos de caixas litografadas

Mais uma vez, a quantidade de caixas por palete, depende da palete, das dimensões da caixa e se a caixa está ou não dividida em tampo e fundo.

A JPZ corta também cartolinas, dando origem a planos de cartolina com as mais diversas formas e gramagens ilustrados na Figura 17.

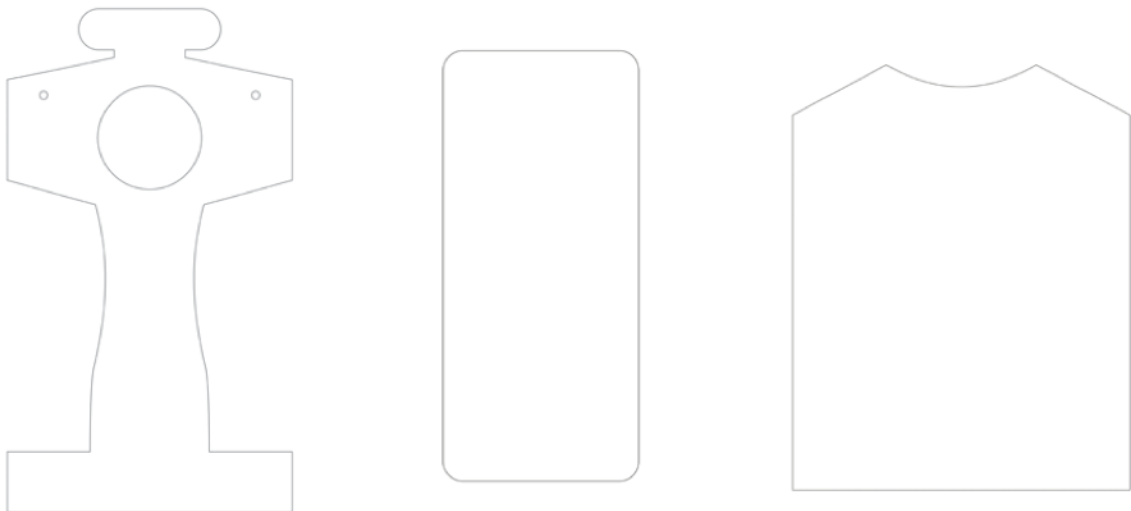


Figura 17 - Exemplos de planos de cartolina

Estas cartolinas são utilizadas por exemplo na indústria têxtil, para colocar nas camisas, de forma a facilitar o seu embalamento. Dependendo mais uma vez das dimensões da palete e dos planos de cartolina, numa palete é possível colocar até 35.000/50.000 planos.

## 3.2 Sistema de Distribuição da JPZ

### 3.2.1 Caracterização da frota

A JPZ Cartonagem realiza a distribuição exclusivamente por via terrestre, possuindo uma frota diversificada de veículos para proceder à entrega do produto acabado. A empresa tem também uma parceria com uma empresa transportadora que realiza entregas quando a frota própria não é suficiente. A JPZ possui 3 motoristas, sendo que destes, apenas 2 possuem carta de pesados. A frota de veículos própria é composta por 3 veículos, no entanto, existe uma quarta viatura na empresa que é usada excepcionalmente para entrega de mercadoria quando uma das principais viaturas está avariada e é necessário fazer entregas urgentes ou a quantidade a ser transportada não justifica utilizar nenhum dos 3 principais carros. Na Tabela 2 é caracterizada a frota de veículos da JPZ.

*Tabela 2 - Caracterização da frota da empresa*

Carros	Categoria	Marca	Ano	Dimensão da caixa (comp*larg*alt)	Capacidade	Observações
LT (maior) 	Pesado	MAN	2011	8,30*2,4*2,8 m	6000 kg	Fechado   Cortinas   Plataforma elevatória
AX 	Pesado	Toyota	2005	6*2,10*2,1 m	4000 kg	Fechado   Cortinas
PM 	Ligeiro	Renault	2015	4,20*1,7*1,6 m	1300 kg	Fechado   porta lateral
SM (utilizado excepcionalmente) 	Ligeiro	Renault	2017	1,70*1,10*1,07 m	600 kg	Fechado   porta lateral

Os veículos da empresa não estão equipados com GPS. Os motoristas quando não sabem onde se localizam os clientes, contactam com o vendedor responsável pelo cliente ou com outro colaborador que possa dar indicações acerca do local de descarga. São realizadas entregas, na grande maioria, para clientes localizados no norte de Portugal. Para locais mais longínquos é acordado com os clientes a entrega da mercadoria a transportadoras da preferência dos mesmos.

### 3.2.2 Organização da expedição

A empresa tem apenas uma pessoa responsável pela receção e expedição de mercadorias. Ou seja, essa pessoa tem de descarregar camiões, conferir quantidades e qualidade da mercadoria rececionada e, arrumar essa mesma mercadoria; em simultâneo, tem de planear cargas, prepará-las (localizar os artigos no armazém e deslocá-los para a zona de expedição) e carregar os veículos.

Relativamente à expedição, quase no fim do turno de trabalho, o responsável gera um pedido de informação, no *software* de gestão da empresa, de encomendas dos seus clientes que ainda estão pendentes. Por norma, independentemente do dia da semana, é feito o pedido de encomendas pendentes até sexta-feira dessa mesma semana, pois poderá ser útil analisar o conjunto das encomendas até ao final da semana para se proceder a possíveis agregações. A Figura 18 apresenta um exemplo de uma lista de encomendas pendentes.

Encomendas Pendentes							Data de entrega	
Ref	Dossier	Req	Designação	Qtde	Entregue	Preço	Data	Entrega
Nome :								
FX1802	26	19/1900030	Caixa ZARA Z-O 330x190x120	442			03.01.2019	16.01.2019
FX2006	26	19/1900030	Caixa 0201 B8 615x520x330	77			03.01.2019	16.01.2019
FX1979	33	19/1900040	Caixa ZARA K-BA 330x220x115	378			03.01.2019	16.01.2019
FX1977	33	19/1900040	Caixa ZARA Z-GG 330x205x115	645			03.01.2019	16.01.2019
FX1979	35	19/1900052	Caixa ZARA K-BA 330x220x115	378			03.01.2019	16.01.2019
Nome :								
FX2278	3915	1257	Caixa 0201 D1 Arcopedico (v2) 12P-NL 510x425x340	1.000			29.11.2018	18.12.2018
Nome :								
19833	4173	e-mail 17/12	Box 5	500			18.12.2018	15.01.2019
19838	4173	e-mail 17/12	Box 17	500			18.12.2018	15.01.2019
Nome :								
21017	88		Caixa 0201 D0 300x250x180 Ext - C/Ponto Verde	300			08.01.2019	14.01.2019
Nome :								
OF1537	4177	10048	Caixa 0207 6 Bot. 75cl Brinde Rosas	1.000			18.12.2018	14.01.2019
OF2384	54	10054	Caixa Angelo Parodi 2102051 12x2x90g 276x138x120	15.000			04.01.2019	14.01.2019
CHP.2178	54	10054	Chapa 795x1050 OF2384 Angelo Parodi 12x2x90g	1			04.01.2019	14.01.2019
OF2197	4	10071	Caixa ENCORE puppy 2101689 with Chiken 12x95g	2.000			03.01.2019	17.01.2019
OF2215	4203	10090	Caixa 0200-1 MAGIC BLOCK E07992 289x270x097	5.000			19.12.2018	17.01.2019
OF1180	4203	10090	Caixa 0200-1 MAGIC BLOCK E07909 270x198x246	3.000			19.12.2018	17.01.2019
OF2216	4203	10090	Caixa 0200-1 MAGIC BLOCK E07907 241x148x096	5.000			19.12.2018	17.01.2019

Figura 18 - Extrato da lista de encomendas pendentes fornecida pelo software

O documento gerado tem os clientes ordenados por ordem alfabética, a referência para a empresa dos artigos pedidos por cada cliente assim como uma descrição mais detalhada dos mesmos; tem também as respetivas quantidades a entregar e data de entrega. Caso tenha sido entregue parte das quantidades pedidas, essa informação também vem descrita no documento. Os clientes sabem que devido ao tipo de indústria da JPZ, existe alguma incerteza acerca das quantidades que serão produzidas que cumprem com todos os requisitos pois, estragam-se sempre algumas unidades. Assim, as encomendas estão sujeitas a uma entrega com mais ou menos 10% das quantidades requeridas.

Como forma de obter mais informação acerca das encomendas, o responsável pela expedição tem acesso às ordens de produção e notas de encomendas, onde poderá encontrar informação acerca das restrições do horário de descarga do cliente, modo de descarga, local de descarga e, caso o cliente queira apenas receber parte da mercadoria na data definida essa informação consta também nesses mesmos documentos. A Figura 19 tem exemplos dessa mesma informação.

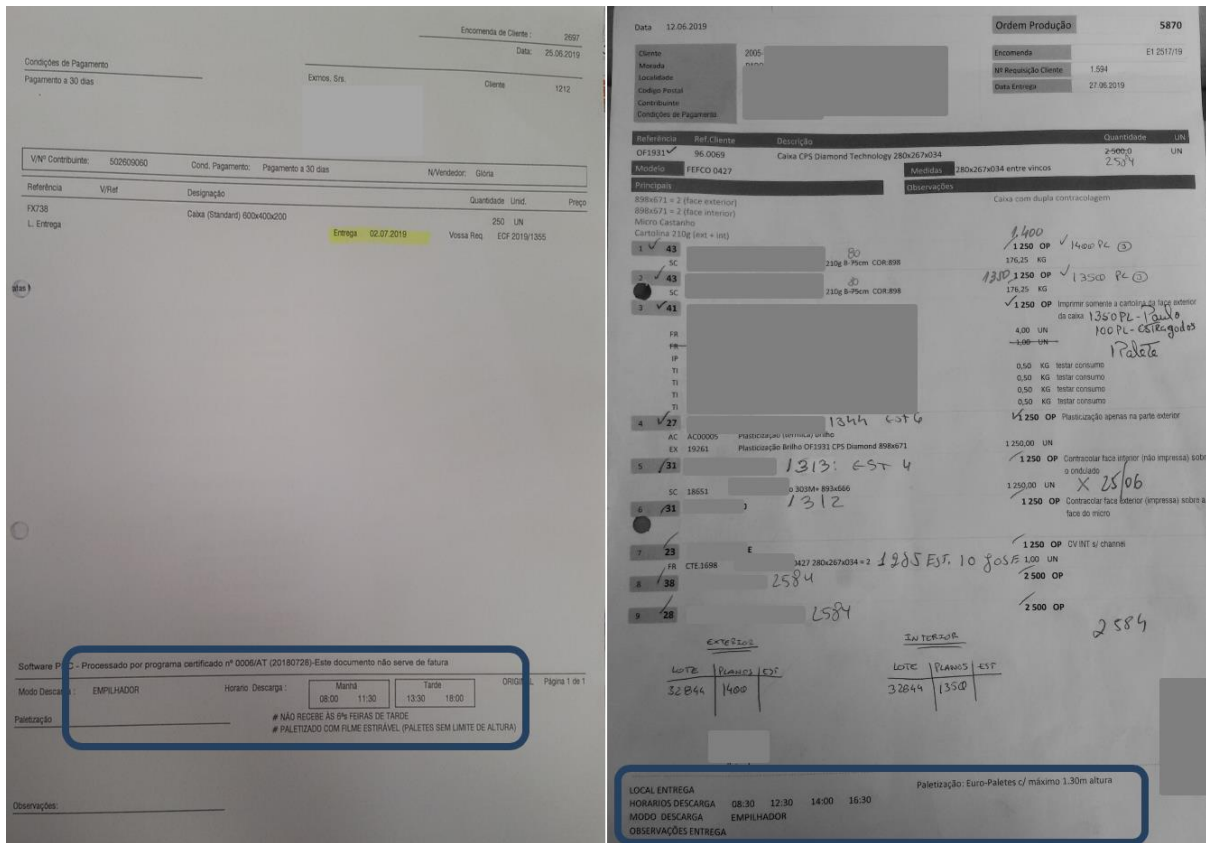


Figura 19 - Nota de encomenda e ordem de produção com informações acerca do cliente na parte inferior das mesmas

Na Figura 19 é possível do lado esquerdo ver um exemplo de uma nota de encomenda e do lado direito um exemplo de uma ordem de produção com informação, na parte inferior das mesmas, acerca do cliente (tempos de descargas, modo de descarga, entre outros)

As ordens de produção podem dirigir-se à empresa (JPZ) ou ao cliente final. A diferença deve-se à produção de produtos exclusivamente para determinado cliente (ordem de produção direcionada ao cliente final), e depois a JPZ tem encomendas de por exemplo caixas *standard* ou de caixas procuradas por vários clientes em que a empresa tem muitas encomendas. Neste caso a empresa junta as encomendas numa ordem de produção direcionada à própria JPZ, sendo a Figura 20 exemplo de uma dessas notas de encomenda.

Data 02.04.2019		<b>Ordem Produção</b> 4815		
Cliente 1513-J.P.Z. CARTONAGEM, S.A. Morada RUA DA DEVESA, 345 Localidade PONTE Código Postal 4805-253 PONTE GMR Contribuinte 504132091 Condições de Pagamento Pagamento a 30 dias		Encomenda E12 182/19 Nº Requisição Cliente Data Entrega 22.04.2019		
Referência	Ref.Cliente	Descrição	Quantidade	UN
OF1985			7 680,0	UN
<b>Modelo</b> Caixa TF c/ furos, abas laterais no tempo		<b>Medidas</b> 347x210x135/040		7639
<b>Principais</b>		<b>Observações</b> OBS: Caixa com alto relevo		
<del>1122x554(600)</del> (Mínimo Planeta 1122x600) Micro Cartolina 170g				
1	43	SC 21132 130g Bobine 60 cm COR:1122	7 680 OP	675,84 KG
2	32	FR CHP.1721 347x210x135	7 680 OP	3,00 UN
3	11	IP OF00003	7 680 OP	

Handwritten notes: 7.700 ✓, 7700 PC 30 DEF (3) 30 est, 7600, 100 EST

Figura 20 - Exemplo de ordem de produção direcionada a JPZ

Para este último caso, podemos encontrar as encomendas específicas de cada cliente nas notas de encomendas de cada um, como exemplifica a Figura 21.

Referência	V/Ref	Designação	Quantidade	Unid.	Preço
OF1985			2160	UN	
L. Entrega			Vossa Req.	2019/1560	
OF1985			3725	UN	
L. Entrega			Vossa Req.	2019/1561	
OF2007			1980	UN	
L. Entrega			Vossa Req.	2019/1561	

Referência	V/Ref	Designação	Quantidade	Unid.	Preço
OF1985	M902023001		440	UN	
L. Entrega			Vossa Req.	0327928	
OF2007	M902023006		1788	UN	
L. Entrega			Vossa Req.	0327928	

Figura 21 - Notas de encomenda: em cima para o cliente n°832 e em baixo para o cliente n°177

Analisando as notas de encomenda presentes na Figura 21 verifica-se que os dois clientes fizeram encomenda de um mesmo tipo de caixa. Nestes casos a JPZ opta por gerar ordens de produção, direcionadas à JPZ, em que junta os pedidos para uma mesma referência, como se pode constatar na Figura 20.

Tendo o documento de encomendas pendentes, o responsável seleciona os clientes com pedidos passados ou com encomendas para o dia para o qual é feito o planeamento (dia seguinte). A partir daí, analisa o que está pronto, planeia as primeiras cargas do dia, e é delineado as restantes cargas. Caso se saiba à partida que é necessário pedir ajuda externa (subcontratar o serviço de transporte), o pedido é feito ainda nesse dia. Ao longo do dia, se ocorrerem contratemplos, e surgir a necessidade de adiar entregas, numa primeira fase, o responsável analisa as notas de encomendas ou ordens de produção e vê se há flexibilidade na data de entrega e, se ainda assim, não se conseguir resolver o problema, o

responsável pede ajuda a vendedores ou aos responsáveis pela receção de encomendas para contactar os clientes em causa, para procederem assim ao pedido/aviso de atraso de entrega.

É importante referir que quando se aceitam encomendas na JPZ é tido em conta se a encomenda se refere a caixas *standard* (chamadas também de caixas de *stock*) ou não, em caso negativo, só é aceite se for possível produzir até à data pedida pelo cliente. Relativamente às caixas *standard*, o preço de cada referência difere de cliente para cliente e, para um mesmo cliente difere consoante quantidades pedidas. No preço de cada caixa entre outros aspetos é tido em conta os gastos com a expedição.

Relativamente ao planeamento das cargas propriamente dito (construção das rotas), o responsável pela expedição, normalmente, já sabe onde se localizam os clientes e respetivos locais de descargas. Assim, após identificar as entregas para o dia seguinte, planeia as cargas construindo uma solução baseada na sua experiência, consoante zonas de descarga e quantidades a expedir, tentando agrupar sempre que possível o máximo de clientes numa expedição para fazer uma só viagem a determinada zona. Por exemplo, num dado dia tem-se três entregas para diferentes clientes em Barcelos. Uma encomenda ainda não está pronta, mas cabe no carro a mercadoria para os três clientes e o carro fica cheio. O responsável opta por aguardar até que esteja pronta esta última encomenda para assim realizar a entrega da mercadoria dos três clientes, tendo sempre em atenção as possíveis restrições em termos de janelas horárias dos clientes. Todavia, acontece também os camiões irem com pouca carga, pois só existe aquela carga para aquela zona e não cabe num carro mais pequeno, não sendo assim aproveitada ao máximo a capacidade do camião.

Por norma na JPZ diariamente cada veículo realiza quatro rotas por dia, duas da parte da manhã e duas da parte da tarde. Contudo, se uma das rotas tiver como destinos clientes mais distantes da JPZ ou diversos clientes para satisfazer, o carro em questão poderá realizar somente três rotas nesse dia. O contrário também se aplica, caso um veículo tenha clientes relativamente perto da empresa, poderá realizar mais do que quatro rotas no mesmo dia. As rotas selecionadas têm de ser realizadas dentro do horário de trabalho do motorista.

### 3.2.3 Problemas identificados

O modo de expedição atual da JPZ apresenta alguns problemas:

- **Cientes insatisfeitos:** o facto de adiarem datas de entrega devido a não conseguirem produzir a tempo de expedir na data definida e, também devido a não conseguirem fazer a entrega por falta de capacidade dos veículos.



- **Exaustão por parte do responsável do armazém:** o responsável tem bastantes tarefas a seu cargo. Tem de rececionar encomendas (matéria-prima) com tudo o que isso implica, organizar os armazéns (o da sede e o alugado), planejar e preparar expedições. Planejar e preparar as expedições talvez seja o mais trabalhoso.
  - O planeamento, como já foi dito anteriormente, é delineado no dia anterior sabendo-se, à partida, que não será definitivo devido à aceitação de encomendas com entregas para o próprio dia.
  - Preparar as cargas é extremamente difícil devido à falta de espaço e a não existir uma metodologia para localizar as paletes com os artigos no armazém. O responsável sabe por norma onde estão mais ou menos as paletes com os artigos no armazém, contudo demora a conseguir alcançá-las dado ter que deslocar umas 10/15 paletes (perde 10 minutos para lá chegar e outros 10 minutos para voltar a colocar as paletes que não interessam novamente no lugar). Quando não sabe onde estão as paletes que de que precisa o responsável perde imenso tempo à procura, chegando mesmo a estar cerca de 1 hora à procura de determinada paleta. Todos estes percalços revelam-se muito desgastantes tanto fisicamente como psicologicamente para o colaborador responsável por todas estas tarefas.
- **Exaustão por parte dos motoristas:** em dias de muitas entregas, e com o intuito de dar resposta a todos os clientes, os motoristas entram mais cedo ao trabalho, e saem mais tarde, o que é extremamente cansativo. Para a empresa as horas extras de trabalho dos colaboradores representam custos.
- **Excesso de quilómetros percorridos e consequente desgaste dos veículos:** dado que os motoristas não têm GPS nos veículos, estes dirigem-se aos clientes pelo caminho que acham mais correto, acabando por percorrer mais quilómetros. Acontece também no caso de novos clientes, ou locais de descarga diferentes dos habituais, os motoristas perderem-se. Estes dois fatores levam a um maior número de quilómetros percorridos, que originam desgaste nos veículos e por consequente representam custos para a JPZ.
- **Capacidade dos veículos mal aproveitada:** os veículos realizam rotas em que a sua capacidade não é utilizada ao máximo ou com pelo menos uma taxa de ocupação de 70%.
- **Demasiados movimentos no armazém ou entre armazéns.**

- O armazém principal tem falta de espaço, assim, embora existam *racks* para colocar paletes, estas têm à sua frente, 3 ou 4 filas de colunas de paletes, como é possível comprovar na Figura 22 que, exigem por parte do responsável imensos movimentos com o empilhador para obter uma paleta que está eventualmente numa das *racks*.



*Figura 22 - Armazenagem do produto acabado*

- Dada a falta de espaço, a empresa possui um armazém alugado relativamente afastado da empresa. Esse armazém contém matéria-prima e produto acabado (por norma, caixas *standard*). O facto de o armazém alugado estar afastado origina imensos movimentos, ora para carregar/descarregar produto acabado, ora para ir descarregar ou buscar matéria-prima necessária à produção.
- **Receção de encomendas para o próprio dia, ou para o dia seguinte:** a empresa possui alguns clientes que são muito importantes para que esta se mantenha estável. Esses clientes foram-se habituando com o facto de poderem fazer encomendas de grandes

quantidades para determinado dia, e a que, consoante as suas necessidades, possam pedir a entrega de determinadas quantidades ao longo dos dias.

- Quando um destes clientes faz um pedido de entrega e caso já não exista um veículo disponível na transportadora, este pedido origina que surja um pedido de entrega para o dia seguinte a juntar a todas as outras encomendas de outros clientes, que enche um camião e que o mantém ocupado por duas a três horas, ficando a empresa impedida de responder a todos os outros clientes com pedidos para aquele mesmo dia.

Gera também que esses clientes se sintam na liberdade de realizarem vários pedidos de entrega ao longo de um dia, ou seja, de manhã faz-se uma entrega de 2 paletes pedidas, a meio da manhã é rececionado mais um pedido de entrega para esse mesmo cliente, tenta-se entregar ainda de manhã; a meio da tarde mais um pedido e assim sucessivamente. Estes factos trazem uma grande incerteza para o responsável em termos de planeamento e de cumprimento de todas as outras entregas planeadas para esse dia. Acima de tudo, traduz-se em desperdícios e custos para a JPZ, dado realizarem-se duas ou três viagens para um mesmo cliente num mesmo dia, quando muito possivelmente os vários pedidos de entrega para o mesmo dia, agrupados originariam uma única viagem.

- Outro fator importante é o facto de o stock desses clientes ficar a ocupar espaço no armazém da empresa, funcionando a JPZ como armazém para esses clientes. Para além do custo de posse que a JPZ fica a suportar, este stock ocupa espaço que deveria ou estar desocupado, ou estar ocupado com outros artigos de outros clientes. Provocando, por consequente, a realização de inúmeras movimentações desnecessárias de paletes dentro do armazém da JPZ.

Estes problemas acarretam inconvenientes e desperdícios para a empresa. Sendo que o que se pretende com esta dissertação é propor à JPZ a resolução dos problemas e a minimizar os inconvenientes e desperdícios associados nomeadamente à expedição.

## 4. ABORDAGEM DESENVOLVIDA

Neste capítulo é apresentado todo o estudo feito para a obtenção de rotas, sendo ao longo do mesmo realizadas comparações das rotas obtidas com o auxílio de diferentes *softwares* de otimização com as rotas efetivamente realizadas pela empresa. Os *softwares* a que se recorreu durante este processo foram o *NEOS Server* e o *MATLAB*.

### 4.1 Plataformas utilizadas

#### 4.1.1 *NEOS Server*

O *NEOS Server* é um serviço gratuito alicerçado na Internet e foi desenvolvido para resolver problemas de otimização numérica. A Figura 23 é a imagem representativa do *NEOS Server*.



Figura 23 - Logótipo representativo do *NEOS Server* presente no site oficial: <https://neos-server.org/neos/>

O *NEOS Server* tem como central o Wisconsin Institute for Discovery na Universidade de Wisconsin em Madison, e proporciona acesso a mais de 60 solucionadores de última geração em mais de uma dúzia de categorias relacionadas com problemas de otimização. O *NEOS Server* possui solucionadores hospedados pela Universidade de Wisconsin que trabalham com máquinas distribuídas de alto desempenho, habilitadas pelo *software HTCondor*. Os solucionares remotos trabalham a partir de máquinas na Universidade Estadual do Arizona, na Universidade de Klagenfurt na Áustria e na Universidade do Minho em Portugal. A página online *NEOS Guide* complementa o *NEOS Server*, disponibilizando estudos de caso de otimização, informações e recursos de otimização e fornecendo informações básicas acerca do *NEOS Server*.

#### 4.1.2 *MATLAB*

O *MATLAB* é um *software* de alto desempenho voltado para o cálculo numérico, desenvolvido por *MathWorks Inc.*, o logótipo do *MATLAB* está presente na Figura 24.

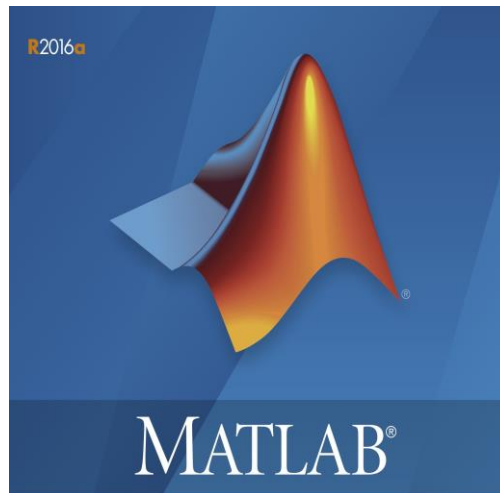


Figura 24 - Logótipo do MATLAB

O *MATLAB* é fácil de utilizar e incorpora análise numérica, cálculo de matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos. O *MATLAB* é um sistema interativo que permite a resolução de muitos problemas numéricos em pouco tempo, onde as soluções dos problemas são expressas para uma fácil leitura.

Quando se executa o *MATLAB* surge uma janela com diversos separadores e ferramentas e abre-se a Janela de Comando (*Command Window*). Através da utilização dos comandos certos é possível obter facilmente gráficos, que permitem visualizar os resultados e interpretá-los de uma forma clara e rápida. Os comandos podem ser digitados na Janela de Comandos. Quando uma única linha de comando é introduzida, é imediatamente processada. É possível executar uma sequência de comandos armazenados em arquivos no *MATLAB*. Estes arquivos (*scripts*) possuem funções para determinados problemas e têm de no seu nome conter no final “.m” para puderem ser executados (*run*) no *MATLAB*.

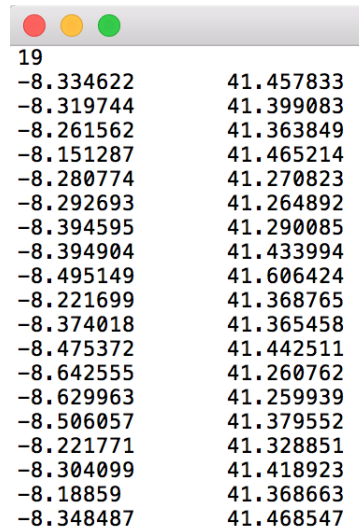
O *MATLAB* possui *toolboxes* desenvolvidas por uma comunidade de especialistas interessados no desenvolvimento da ferramenta, testadas rigorosamente e documentadas na totalidade. Neste projeto será utilizada uma *toolbox* designada *MATLOG*.

## 4.2 Problema do Caixeiro Viajante – estudo para um dia da semana (segunda-feira)

### 4.2.1 *NEOS Server*

Como forma de comparar as rotas realizadas pela empresa com as elaboradas por *softwares* de otimização, numa primeira fase foi escolhida uma semana de trabalho e listados os clientes que foram satisfeitos na segunda-feira, 18 clientes. Depois com recurso à ferramenta *Google Maps* foram retiradas

as coordenadas da JPZ e dos 18 clientes, sendo de seguida coladas num ficheiro de texto as mesmas como mostra a Figura 25.



A screenshot of a text file window with a standard macOS-style title bar (red, yellow, green buttons). The window contains 19 lines of text, each with two columns of floating-point numbers. The first line is '19', followed by 18 lines of coordinates. The first column contains negative values, and the second column contains positive values.

19	
-8.334622	41.457833
-8.319744	41.399083
-8.261562	41.363849
-8.151287	41.465214
-8.280774	41.270823
-8.292693	41.264892
-8.394595	41.290085
-8.394904	41.433994
-8.495149	41.606424
-8.221699	41.368765
-8.374018	41.365458
-8.475372	41.442511
-8.642555	41.260762
-8.629963	41.259939
-8.506057	41.379552
-8.221771	41.328851
-8.304099	41.418923
-8.18859	41.368663
-8.348487	41.468547

*Figura 25 - Coordenadas da localização da empresa e dos 18 clientes*

Com recurso ao site oficial do *NEOS Server* (<https://neos-server.org/neos/>) foi submetido o ficheiro anterior com as coordenadas, mais concretamente, na plataforma *NEOS Server* utilizou-se o *solver* designado por “*Concorde*” que é disponibilizado pelo *NEOS SERVER* para solucionar o problema do caixeiro viajante.

Deste passo resultou a rota presente na Figura 26 que aparenta não ser uma solução otimizada, dado que facilmente se consegue fazer ligações entre vértices com menos distâncias do que as que se observam na figura.

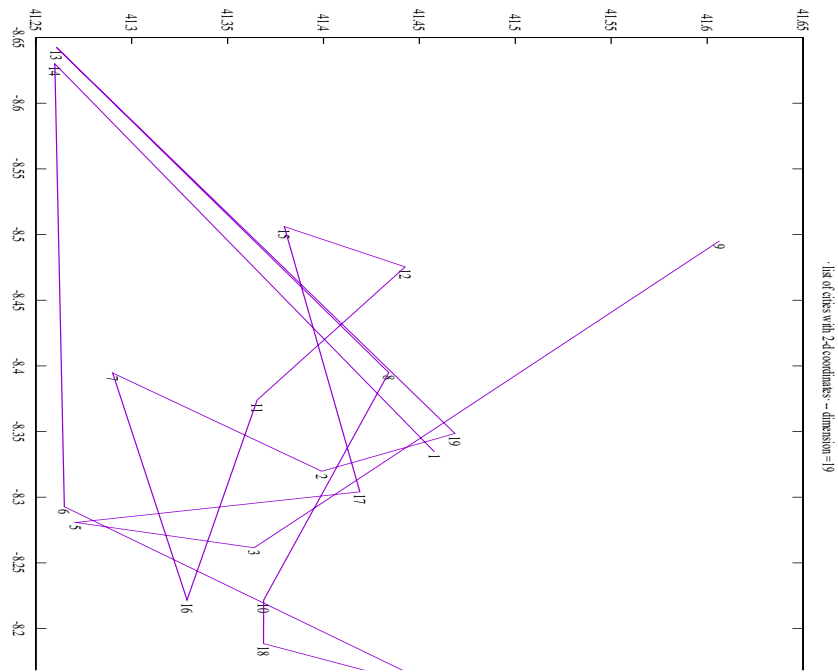


Figura 26 - Mapa resultante da instância da Figura 25 no NEOS Server

Como intenção de explicar o sucedido, pesquisou-se a forma como são trabalhados os dados inseridos no *Concorde*. Foi possível compreender que é utilizada uma função de arredondamento (“nint”), que arredonda os valores inseridos com casas decimais para um valor inteiro. Concluiu-se que as coordenadas X foram arredondadas para “-8” e as coordenadas Y para “41”. Na prática resultou na sobreposição dos vértices e conseqüentemente todas as distâncias entre os vértices foram assumidas como nulas. Deste modo a solução apresentada na Figura 26 é uma solução ótima alternativa porque todas as distâncias são nulas.

Para contornar a situação do arredondamento e tendo em conta que quer as coordenadas X, quer as Y diferiam apenas nas casas decimais, somou-se “8” a cada coordenada X e subtraiu-se “41” a cada coordenada Y dos 19 vértices ficando apenas com seis casas decimais. De seguida multiplicou-se cada valor por “10000” para que se pudesse diferenciar cada coordenada suficientemente bem para o *NEOS Server*. As coordenadas daqui resultantes estão presentes na Figura 27.

19	
-3346.22	4578.33
-3197.44	3990.83
-2615.62	3638.49
-1512.87	4652.14
-2807.74	2708.23
-2926.93	2648.92
-3945.95	2900.85
-3949.04	4339.94
-4951.49	6064.24
-2216.99	3687.65
-3740.18	3654.58
-4753.72	4425.11
-6425.55	2607.62
-6299.63	2599.39
-5060.57	3795.52
-2217.71	3288.51
-3040.99	4189.23
-1885.9	3686.63
-3484.87	4685.47

Figura 27 - Coordenadas da instância de 19 vértices modificadas

Pela análise da Figura 27 é possível verificar que mesmo após as coordenadas serem submetidas no *NEOS Server*, estas vão diferir bastante entre si não havendo o risco de o arredondamento para valores inteiros resultar em coordenadas iguais. A solução obtida é apresentada graficamente na Figura 28.

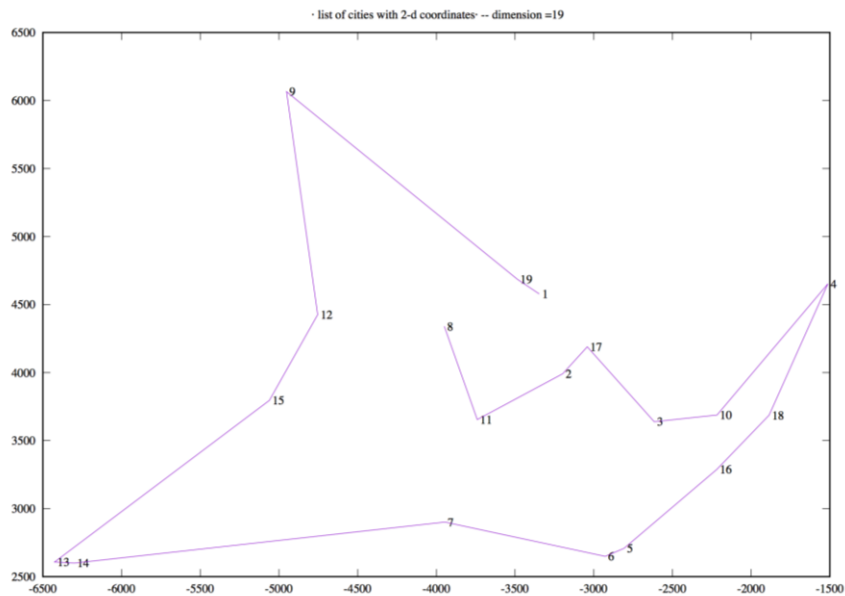


Figura 28 - Rota resultante da submissão das coordenadas dos 19 vértices modificadas.

Observando a Figura 28, conclui-se facilmente que é a rota otimizada. Todos os clientes são visitados e a distância total percorrida entre vértices aparenta ser a menor possível. O *NEOS Server* informa que a distância total da rota é 16958, que ao dividir-se pelos 10000 anteriormente multiplicados nas coordenadas, temos 1,6958.



Para calcular a distância entre vértices, o *Concorde* no *NEOS Server* utiliza a distância euclidiana simétrica. Embora não seja a distância real das estradas disponíveis, esta aproximação, permite obter em poucos segundos a solução da instância que irão ajudar a tirar algumas conclusões.

A fórmula utilizada para calcular a distância entre dois pontos é então a do Teorema de Pitágoras, sendo equivalente a (2).

$$d^2 = a^2 + b^2 \quad (2)$$

Tendo dois pontos e imaginando um terceiro, de forma a que os três formem um triângulo retângulo, o cálculo da distância entre os dois pontos reside em calcular o valor da hipotenusa do triângulo (Vitor Nunes, n.d.). Ao resolver o Teorema de Pitágoras em ordem à hipotenusa temos a fórmula para calcular a distância entre dois pontos (3). Sendo  $d$ , a distância entre os vértices  $a$  e  $b$  e as coordenadas dos vértices  $a$  e  $b$  representadas por  $(x_a, y_a)$  e  $(x_b, y_b)$ , respetivamente.

$$d = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (3)$$

Recorreu-se também ao *NEOS Server* para estudar o problema do caixeiro viajante múltiplo (mTSP) que deriva do problema do caixeiro viajante (TSP). Ou seja, é semelhante ao TSP mas em vez de se utilizar 1 caixeiro viajante são utilizados  $m$  caixeiros viajantes para se proceder à visita dos vértices (Oliveira, 2015).

Com base na instância dos 18 clientes satisfeitos na segunda-feira, apresentada anteriormente, e com o objetivo de modelar o 2-TSP (utilização de “dois caixeiros viajantes”), repetiu-se no final as coordenadas do armazém para assim se obter duas rotas como mostra a Figura 29 à esquerda.

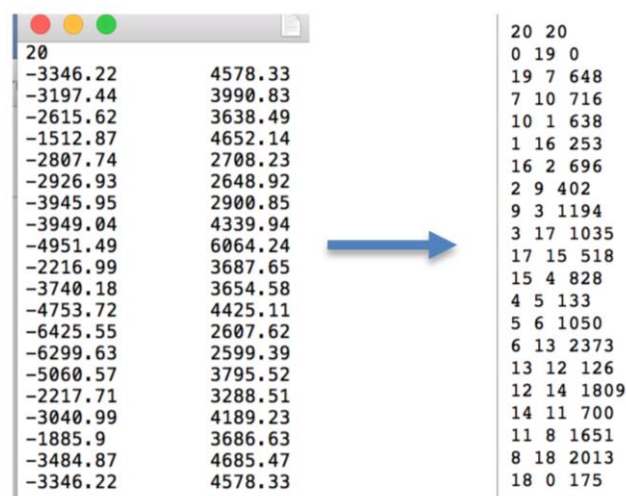


Figura 29 - Coordenadas inseridas no *NEOS Server* para o mTSP à esquerda e respetivo resultado à direita

Ainda na Figura 29 à direita é possível observar o resultado do problema MTSP submetido. Neste temos 3 colunas, a primeira corresponde ao vértice de partida de uma aresta, a segunda ao vértice de chegada e a terceira à distância dessa mesma aresta. Cada linha da solução obtida corresponde assim a uma aresta. O *NEOS Server* desconta uma unidade à numeração original dos vértices e, dado que a solução começa na segunda linha, a solução inicia então com a aresta “0 19” que corresponde a ir do vértice 1 ao 20.

O mTSP é conhecido por não balancear os comprimentos das rotas, o que origina a que não possa ser utilizado na sua maioria quando o objetivo é este. O resultado obtido não foi de agrado, pois o *NEOS Server* gerou duas rotas, em que a primeira no fundo se cinge a ir do armazém ao armazém (dado que o vértice 1 e 20 são os mesmos) e a segunda, que visita todos os clientes da instância. O expectável seria que o *NEOS Server* gera-se uma rota com os clientes mais a norte de Guimarães (ex.: Barcelos) e outra rota com os que estão mais a sul de Guimarães (ex.: Porto).

Este processo foi repetido algumas vezes, acrescentando de forma gradual as coordenadas do armazém. As soluções ótimas obtidas continuaram a não ser satisfatórias.

O propósito de recorrer ao m-TSP foi o de encontrar o valor mínimo de custo da instância em estudo para mais tarde se enquadrar/comparar com as soluções heurísticas do VRP.

Com o auxílio do *Google Maps* obteve-se o custo mínimo de partir do armazém da JPZ, visitar todos os clientes e regressar, ou seja, calculou-se a distância mínima para percorrer o caminho ótimo obtido para o problema do caixeiro viajante. A distância total é de 262,49 quilómetros, sendo necessárias 4 horas e 39 minutos para a viagem (sem contar com o tempo necessário para realizar as descargas de mercadoria nos respetivos clientes).

Após analisados os resultados apresentados pelo *NEOS Server* para o problema do Caixeiro Viajante para os 18 clientes (um dia de trabalho), era importante comparar estes mesmos resultados com os que se obteriam num outro programa de otimização.

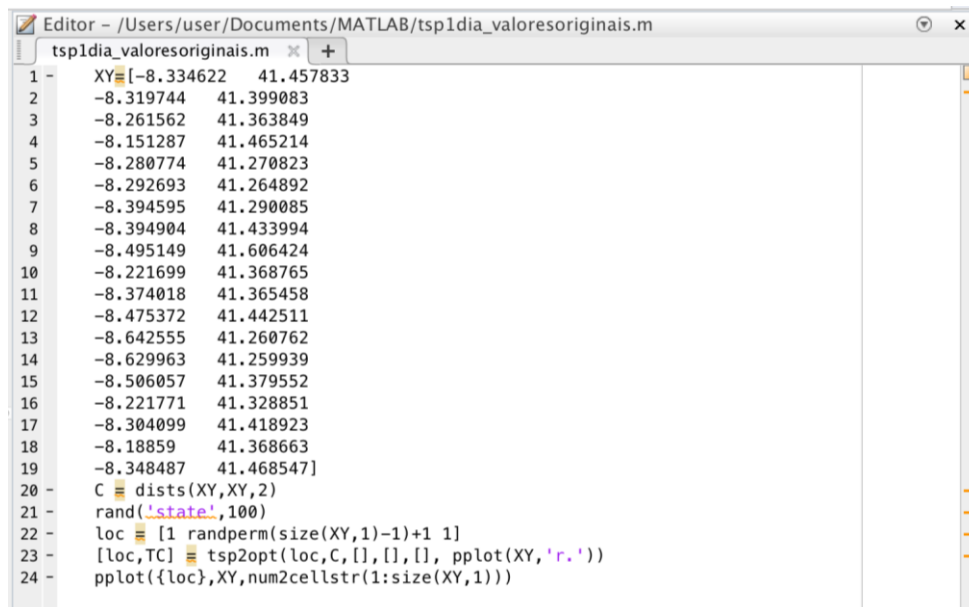
#### 4.2.2 *MATLAB*

O segundo programa utilizado foi o *MATLAB*, e recorreu-se a um conjunto de heurísticas construtivas disponíveis na *Toolbox MATLOG* para o problema do TSP.

A par do que foi realizado no *NEOS Server*, foi colocado a correr no *MATLAB* o problema com as coordenadas dos 18 clientes originais e as modificadas. O resultado só difere no sentido em que as coordenadas são multiplicadas por 10000, sendo o resultado também ele multiplicado por 10000

comparativamente com o resultado de utilizar as coordenadas originais. A solução é a mesma, ou seja, as ligações entre vértices são as mesmas.

O *MATLAB* possui uma biblioteca (*toolbox*) com linguagem de programação para determinados problemas de otimização. Assim, recorreu-se a essa linguagem para o problema do caixeiro viajante (TSP). Neste caso a função utilizada foi *TSP2OPT* e adaptou-se com as coordenadas dos 18 clientes como mostra a Figura 30.



```
Editor - /Users/user/Documents/MATLAB/tsp1dia_valoresoriginais.m
tsp1dia_valoresoriginais.m x +
1 - XY=[-8.334622 41.457833
2 - -8.319744 41.399083
3 - -8.261562 41.363849
4 - -8.151287 41.465214
5 - -8.280774 41.270823
6 - -8.292693 41.264892
7 - -8.394595 41.290085
8 - -8.394904 41.433994
9 - -8.495149 41.606424
10 - -8.221699 41.368765
11 - -8.374018 41.365458
12 - -8.475372 41.442511
13 - -8.642555 41.260762
14 - -8.629963 41.259939
15 - -8.506057 41.379552
16 - -8.221771 41.328851
17 - -8.304099 41.418923
18 - -8.18859 41.368663
19 - -8.348487 41.468547]
20 - C = dists(XY,XY,2)
21 - rand('state',100)
22 - loc = [1 randperm(size(XY,1)-1)+1 1]
23 - [loc,TC] = tsp2opt(loc,C,[],[],[], pplot(XY,'r.'))
24 - pplot({loc},XY,num2cellstr(1:size(XY,1)))
```

Figura 30 - Linguagem de programação no *MATLAB* para o Problema do Caixeiro Viajante com as coordenadas originais dos 18 clientes

Depois de colocar o programa a correr, é possível aceder a todos os valores que o *MATLAB* calculou, tais como: como a matriz de distâncias, as ligações entre vértices que foi construindo e o custo total da solução, assim como, um gráfico com a rota. Na Figura 31 temos a representação gráfica da rota.

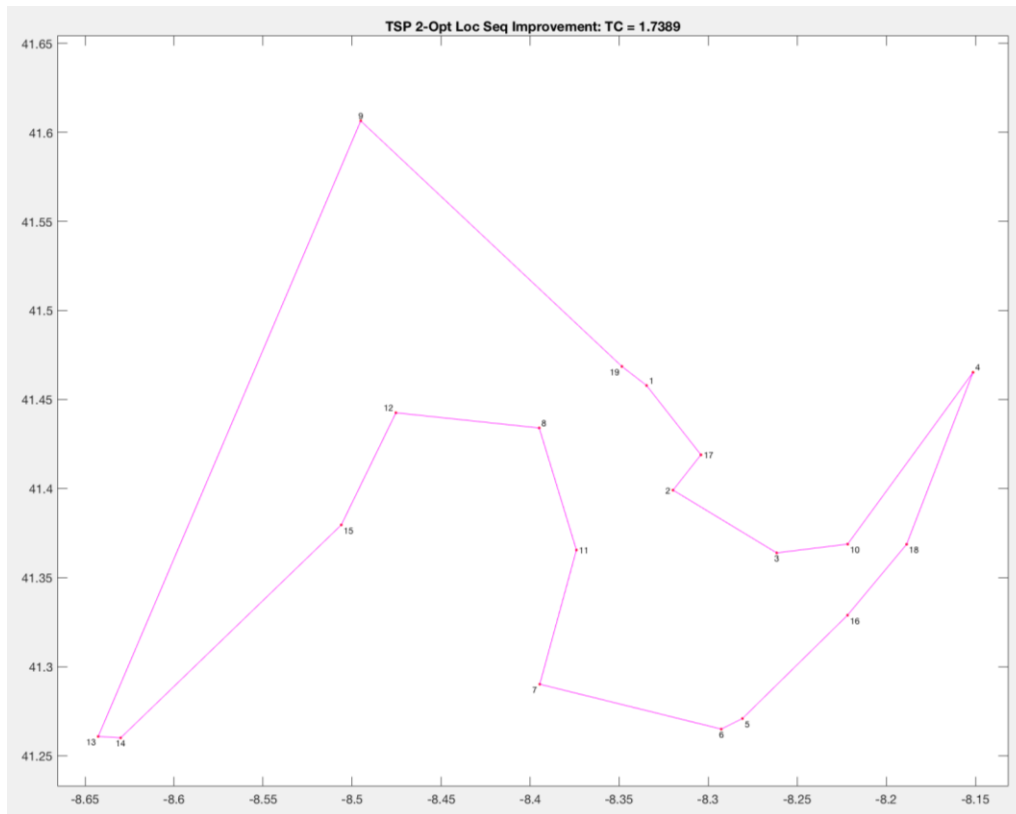


Figura 31 - Rota resultante da linguagem inserida no MATLAB da Figura 30

Na parte superior da Figura 31 tem o custo total da rota (1,7389) e comparando com o resultado obtido no *NEOS Server* (1,6958) é possível concluir que os custos totais das rotas são muito próximos, pois a sequência de vértices difere em algumas ligações entre vértices para os dois resultados obtidos (*NEOS Server* e *MATLAB*).

Recorreu-se de novo ao *Google Maps* com o intuito de recolher a distância real (aproximada) da solução heurística obtida da utilização da *script TSP2OPT* para o TSP presente na Figura 31. Assim a distância de percorrer a rota seria de cerca de 277,25 quilómetros, sendo precisas cerca de 5 horas apenas para realizar a trajetória.

Em modo de **conclusão**, inicialmente sem analisar os resultados sabe-se que o *NEOS Server* fornece sempre uma solução ótima, ao contrário do *TSP2OPT* no *MATLAB* e das suas heurísticas que fornecem soluções aproximadas. Logo, as soluções do *TSP2OPT* só podem ser piores ou iguais, nunca melhores que as obtidas no *NEOS Server*, tal como se pode verificar com as soluções obtidas para o TSP. A solução heurística do *TSP2OPT* segundo o *Google Maps* é pior que a obtida no *NEOS Server* em aproximadamente 15 quilómetros, representando cerca de 20 minutos no tempo necessário para o percurso.

### 4.3 VRP – Problema do Roteamento de Veículos

Tendo em consideração que o objetivo do estudo era obter uma melhoria para as rotas da JPZ foi necessário recorrer ao *MATLAB* e por consequência às suas heurísticas para obtermos uma solução para o problema do roteamento de veículos (VRP). O *NEOS Server* não possui um solucionador para o VRP, ao contrário do TSP, pois para o TSP existe o *Concorde* que fornece facilmente a solução ótima para instâncias simétricas euclidianas de razoável dimensão. No *MATLAB* pode ser utilizada a *toolbox: MATLOG* que contém heurísticas para solucionar o VRP.

#### 4.3.1 Considerações iniciais

Atendendo a que a empresa possui três veículos com capacidades diferentes, e que no *MATLOG* não estão implementadas funções para a resolução de problemas com frota heterógena (viaturas com diferentes capacidades) não foi possível usar diretamente as funções já disponíveis. Assim, recorreu-se ao *MATLOG*, mais propriamente à função *VRPSAVINGS*, para gerar rotas sabendo que seria tido em conta na mesma (função *VRPSAVINGS*) que a frota seria homogénea. De seguida, ao fim de cada iteração/submissão de informação na *VRPSAVINGS* eram selecionadas rotas para um dos veículos, alterando sempre que necessário a capacidade dos veículos na *script* para obter rotas para os 3 carros. Optou-se inicialmente por estudar as rotas para o carro maior e só depois para os restantes, por ordem decrescente de capacidade.

Foi tido em conta que não é possível colocar nos carros paletes sobrepostas pois entre outras razões, a mercadoria que fica nas paletes de baixo pode acabar danificada, não sendo entregue ao cliente com a qualidade desejada.

Não existe uma capacidade fixa do número de paletes que os camiões podem transportar, pois depende da dimensão da paleta e do facto de a mercadoria ultrapassar os limites da paleta, como se pode constatar na Figura 32.



*Figura 32 - Exemplo de uma paleta pronta a entregar ao cliente da JPZ em que os limites da mesma são ultrapassados pela mercadoria*

Quando são utilizadas as paletes de 1200\*800 e a mercadoria fica dentro da paleta, o carro maior pode transportar 20 paletes de base, ou seja, sem sobreposições. Se por outro lado forem consideradas as paletes 1200\*1000 é possível carregar 16 paletes no carro maior, caso a mercadoria não ultrapasse as dimensões da paleta. O AX (carro intermédio) à semelhança do carro maior, pode carregar 12 e 10 paletes caso estas sejam de 1200\*800 e de 1200\*1000, respetivamente e, a mercadoria não ultrapasse os limites das mesmas. Contudo, estes dados dependem de cliente para cliente, e para uma dada referência. A empresa possui, atualmente, centenas de referências diferentes. Dado não ser possível ter acesso aos dados de cada paleta para cada cliente, assumiu-se o uso das paletes de maior dimensão como capacidade máxima, tendo assim por exemplo o camião LT capacidade de 16 paletes para o que será estudado de seguida.

Na Tabela 3 estão presentes características da frota da empresa que foram utilizadas no estudo que foi feito, nomeadamente a designação utilizada para identificar os veículos, assim como as respetivas capacidades de cada um deles.

Tabela 3 - Características dos veículos que foram utilizadas no estudo

Carro	Designação atribuída	Capacidade	Designação da capacidade
Veículo pesado maior	LT	16 paletes	CAP = MAX
Veículo pesado intermédio	AX	10 paletes	CAP = MED
Veículo ligeiro	PM	4 paletes	CAP = MIN

Considerou-se uma aceitável utilização da capacidade dos carros quando a taxa de ocupação do mesmo é de pelo menos 70% e não deverão de ser aceites rotas com mais do que 6 clientes pois tornam-se rotas demasiado compridas e arriscadas, um pequeno imprevisto pode comprometer a rota e todo o planeamento.

Para proceder ao cálculo do tempo estimado por rota incluindo descargas, estipulou-se os seguintes tempos de descargas para a entrega de determinado número de paletes em cada cliente:

- de 1 a 4 paletes → 10 minutos;
- de 5 a 7 paletes → 15 minutos;
- de 8 a 10 paletes → 20 minutos;
- de 11 a 13 paletes → 25 minutos;
- de 14 a 16 paletes → 30 minutos.

Para cada cliente/encomenda inseridos na semana em estudo era necessário identificar cada um pelo seu número (atribuído pela JPZ no sistema informático), atribuir um vértice (de 2 a 89), obter as suas coordenadas e indicar a respetiva encomenda (em paletes). Esta mesma informação está organizada na Tabela 18 do Apêndice 1 – Dados utilizados dos clientes e das encomendas.

#### 4.3.2 Procedimento heurístico desenvolvido

Ao longo do estudo será utilizada a *toolbox MATLOG* que contém uma função: *VRPSAVINGS* com código apropriado para a obtenção de uma solução para o problema VRP. Esta solução deriva da utilização de heurísticas presentes na função, nomeadamente a heurística de *Clark and Wright* (1964). A função ao não ser alterada e adaptada ao problema tem algumas limitações, particularmente esta está preparada para resolver problemas com uma frota exclusivamente homogénea.

Optou-se pela definição de um procedimento heurístico baseado na utilização sucessiva da função *VRPSAVINGS* que permite obter soluções para o problema real da JPZ, nomeadamente a frota heterogénea.

Descrição dos passos para o procedimento heurístico desenvolvido:

1. Submissão da função *VRPSAVINGS* com as coordenadas dos clientes para o primeiro dia em estudo (segunda-feira) e a capacidade do veículo maior, ou seja, para o LT com  $CAP = MAX$ . Daqui resulta um conjunto de rotas.
2. Selecionar  $n$  rotas (por norma 4):
  - a. Identificar as rotas com  $procura(cliente) \geq MED$ , pois serão procuras que não poderão ser satisfeitas quer pelo AX, quer pelo PM.
  - b. Afetar essas mesmas rotas ao LT para segunda-feira.
  - c. Caso sejam mais de 4 rotas, selecionar as rotas com clientes de entregas obrigatórias para segunda-feira garantindo, sempre que possível, que a taxa de ocupação do veículo seja de 70% no mínimo. Ou seja, em que o cliente em que se verifique a condição  $procura(cliente) \geq MED$  pertença sempre que possível ao grupo de clientes de entrega obrigatória para segunda-feira.
  - d. Se ainda faltar afetar rotas ao LT para segunda-feira, selecionar rotas em que a capacidade seja maximizada, se possível contendo clientes de entrega obrigatória.
3. Com recurso ao *Google Maps* calcular o tempo esperado que será necessário para realizar as rotas, somando o tempo estipulado para as descargas, dependente do número de paletes a ser entregue por cliente (informação disponibilizada anteriormente na secção 4.3.1):
  - a. A soma do tempo necessário para realizar as rotas não deve de ultrapassar as 8 horas de trabalho diárias do motorista. Caso as 8 horas sejam excedidas, retirar uma rota em que a condição  $procura(clientes) \geq MED$  não esteja em causa. E, deve de ser selecionada de entre as rotas disponíveis uma outra que somando às restantes três não ultrapasse as 8 horas de trabalho.



4. Retirar da instância inicial os clientes que foram satisfeitos e os que ficaram por satisfazer de entrega obrigatória para segunda-feira. Adicionar apenas os de entrega obrigatória para terça-feira.
5. Resolver o VRP através do *VRPSA/INGS* para terça-feira para o LT. Repetir o passo 2. e o 3. para terça-feira.
6. Retirar da instância obtida no passo 4. os clientes das rotas afetadas para terça-feira e os que ficaram por satisfazer de entrega obrigatória para terça-feira. Adicionar apenas os de entrega obrigatória para quarta-feira.
7. Obter as rotas para o LT para os restantes dias da semana (quarta, quinta e sexta-feira).
8. Repetir todo o processo para a obtenção das rotas para uma semana para o AX com  $CAP = MED$ .
9. Com os restantes clientes, resolver o *VRPSAN/INGS* para o PM de  $CAP = MIN$ , obtendo rotas para todos os dias da semana, quando possível.

#### 4.3.3 Estudo para um dia da semana (segunda-feira)

O VRP assume que a procura de cada cliente nunca é superior à capacidade dos veículos. As coordenadas utilizadas foram as originais obtidas pelo *Google Maps*. A Figura 33 ilustra o código submetido para otimizar as rotas de um dia de trabalho (1º dia da semana em estudo).

```

VRPIDIA_CAPde14.m
1 - XY=[-8.334622 41.457833
2 -8.319744 41.399083
3 -8.261562 41.363849
4 -8.151287 41.465214
5 -8.280774 41.270823
6 -8.292693 41.264892
7 -8.394595 41.290085
8 -8.394904 41.433994
9 -8.495149 41.606424
10 -8.221699 41.368765
11 -8.374018 41.365458
12 -8.475372 41.442511
13 -8.642555 41.260762
14 -8.629963 41.259939
15 -8.506057 41.379552
16 -8.221771 41.328851
17 -8.304099 41.418923
18 -8.18859 41.368663
19 -8.348487 41.468547]
20
21 - q=[0 8 5 2 3 3 2 4 10 6 4 5 3 7 0.33 9 0.33 1 4]
22 - Q=16
23 - maxTC =inf
24 - ld=1
25 - C = dists(XY,XY,2)
26 - h = pplot(XY,'r.')
27 - pplot(XY,num2cellstr(1:size(XY,1)))
28 - [loc,TC] = vrpsavings(C,{q,Q},{ld},{ 'maxTCfeas',maxTC},[],h)
29 - loc{1,1}
30 - loc{1,2}
31 - loc{1,3}
32 - loc{1,4}
33 - loc{1,5}
34 - loc{1,6}

```

Figura 33 - Linguagem VRP submetida no MATLAB para obtenção da otimização de rotas para segunda-feira (LT)

Da solução encontrada resultaram seis rotas e o custo total de 20,727333. A linguagem inserida na *script* submetida no *MATLAB* não dá diretamente as rotas nos resultados, mas à medida que está a correr, enumera as ligações entre vértices que faz em cada rota e o custo por rota. Porém, para simplificar a obtenção das rotas, adicionou-se a partir da linha 29 (inclusive) da linguagem inserida na função presente na Figura 33 o seguinte código: “loc {1,1} loc {1,2} (...)”. Este código pede para ser dado nos resultados, a sequência das próprias rotas. Na Figura 34 é possível visualizar essas mesmas rotas.

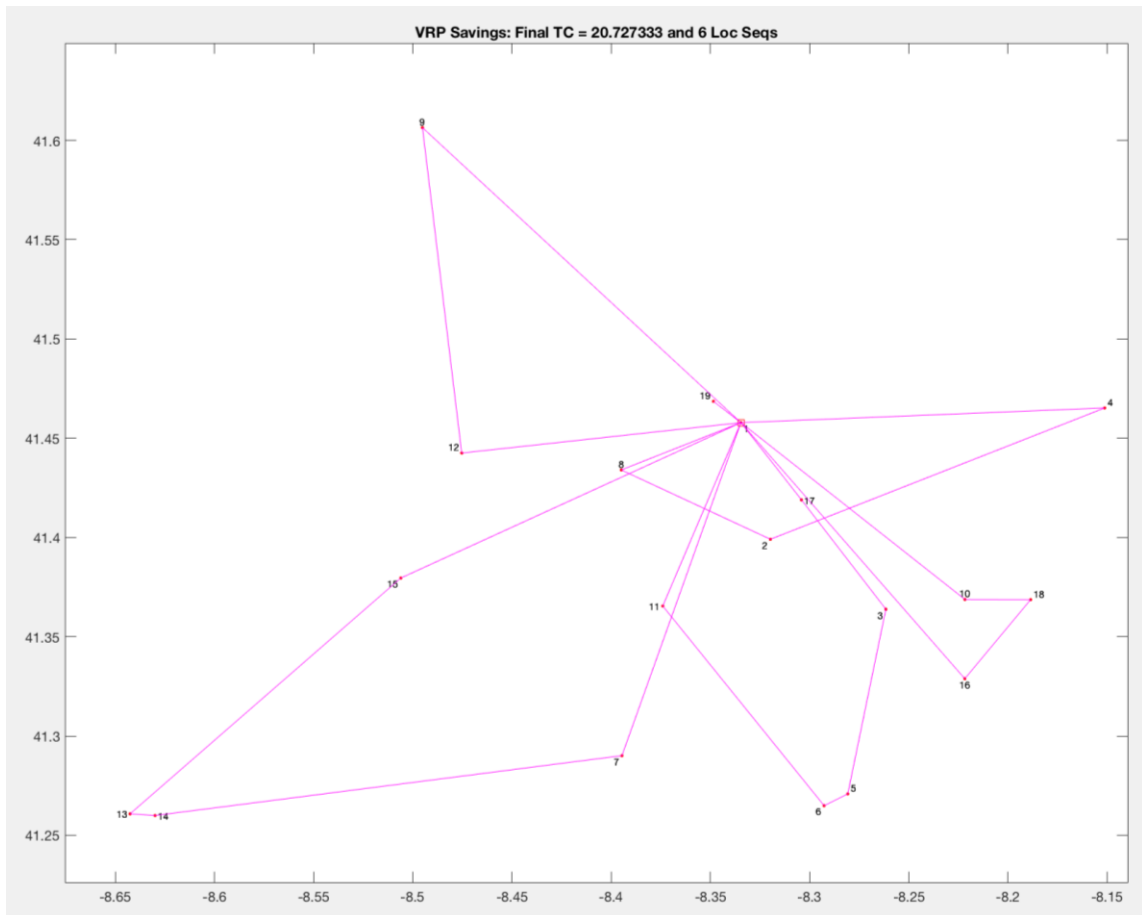


Figura 34 - Rotas resultantes da linguagem presente na Figura 33 submetida no MATLAB

Com o intuito de auxiliar a análise da figura anterior, apresentam-se de seguida as 6 rotas obtidas:

- Rota 1: 1 → 15 → 13 → 14 → 7 → 1 (capacidade utilizada:  $0+1/3+3+7+2+0=12+1/3$  paletes)
- Rota 2: 1 → 17 → 3 → 5 → 6 → 11 → 1 (capacidade utilizada:  $0+1/3+5+3+3+4+0=15+1/3$  paletes)
- Rota 3: 1 → 16 → 18 → 10 → 1 (capacidade utilizada:  $0+9+1+6+0=16$  paletes)
- Rota 4: 1 → 9 → 12 → 1 (capacidade utilizada:  $0+10+5+0=15$  paletes)
- Rota 5: 1 → 8 → 2 → 4 → 1 (capacidade utilizada:  $0+4+8+2+0=14$  paletes)
- Rota 6: 1 → 19 → 1 (capacidade utilizada:  $0+4+0=4$  paletes).

Analisando as rotas resultantes e a capacidade utilizada em cada uma delas, foi necessário seleccionar as 4 melhores rotas ou as mais adequadas a serem percorridas pelo veículo maior. Como foi referido anteriormente na secção 3.2.2, por norma, cada veículo realiza 4 rotas por dia. Na base desta

seleção esteve presente procedimento heurístico desenvolvido presente na anterior secção 4.3.2. adaptando ao facto de neste caso, estar-se apenas a estudar as rotas para um dia da semana (segunda-feira).

Com o intuito de ter o tempo necessário para efetuar cada uma das rotas e, com recurso à ferramenta *Google Maps* calculou-se o tempo de viagem médio entre vértices e adicionou-se uma estimativa do tempo de descarga que varia consoante o número de paletes a serem descarregadas.

Na Tabela 4 é apresentado em detalhe todos os tempos necessários para que cada rota seja satisfeita.

*Tabela 4 - Tempo necessário para percorrer cada uma das rotas para o LT*

Rotas	Desloc.	Descarga	Desloc.	Descarga	Desloc.	Descarga	Desloc.	Descarga	Desloc.	Descarga	Desloc.	Totais
1	1-15	1/3 palet.	15-13	3 paletes	13-14	7 paletes	14-7	2 paletes	7-1			118,96 km 2h32 min
	26,7 km 20 min	10 min	31 km 23 min	10 min	1,46 km 3 min	15 min	30,7 km 27 min	10 min	29,1 km 34 min			
2	1-17	1/3 palet.	17-3	5 paletes	3-5	3 paletes	5-6	3 paletes	6-11	4 paletes	11-1	78,58 km 2h18 min
	7,76 km 10 min	10 min	17,9 km 14 min	15 min	16,6 km 16 min	10 min	1,42 km 3 min	10 min	18,4 km 24 min	10 min	16,5 km 16 min	
3	1-16	9 paletes	16-18	1 paleta	18-10	6 paletes	10-1					59,54 km 1h43 min
	29,5 km 21 min	20 min	6,35 km 7 min	10 min	1,39 km 4 min	15 min	22,3 km 26 min					
4	1-9	10 palet.	9-12	5 paletes	12-1							92,9 km 1h55 min
	35,7 km 29 min	20 min	31,2 km 29 min	15min	26 km 22 min							
5	1-8	4 paletes	8-2	8 paletes	2-4	2 paletes	4-1					68,85 km 1h52 min
	8,45 km 13 min	10 min	12 km 17 min	20 min	26,3 km 22 min	10 min	22,1 km 20 min					
6	1-19	4 paletes	19-1									20 min
	2,3 km 5 min	10 min	2,9 km 5 min									

Analisando a Tabela 4 e, sabendo que em média no máximo só poderão ser seleccionadas 4 rotas, as rotas escolhidas, segundo o procedimento heurístico desenvolvido, para serem realizadas pelo motorista foram as rotas 2,3,4 e 5. Estas 4 rotas requerem 7 horas e 48 minutos, com uma margem de 12 minutos úteis para eventuais atrasos no trânsito ou nos clientes. Não se seleccionou a 1ª rota porque não poderiam ser seleccionadas mais 3 rotas. Também não era conveniente escolher a rota número 6

pois só seriam transportadas 4 paletes e, estas poderiam ser transportadas por um dos carros com menor capacidade.

As coordenadas dos clientes que não foram atendidos pelo carro maior, são de novo inseridos no código a submeter ao *MATLAB*, mas desta vez é pedido ao programa para gerar rotas utilizando as coordenadas dos clientes e respectivas procuras, tendo em conta a capacidade do AX (10 paletes). Os vértices dos clientes que não foram satisfeitos foram o 7, 13, 14, 15 e 19, que foram renomeados para 2, 3, 4, 5 e 6, sendo o vértice 1 o do armazém. O resultado está presente na Figura 35.

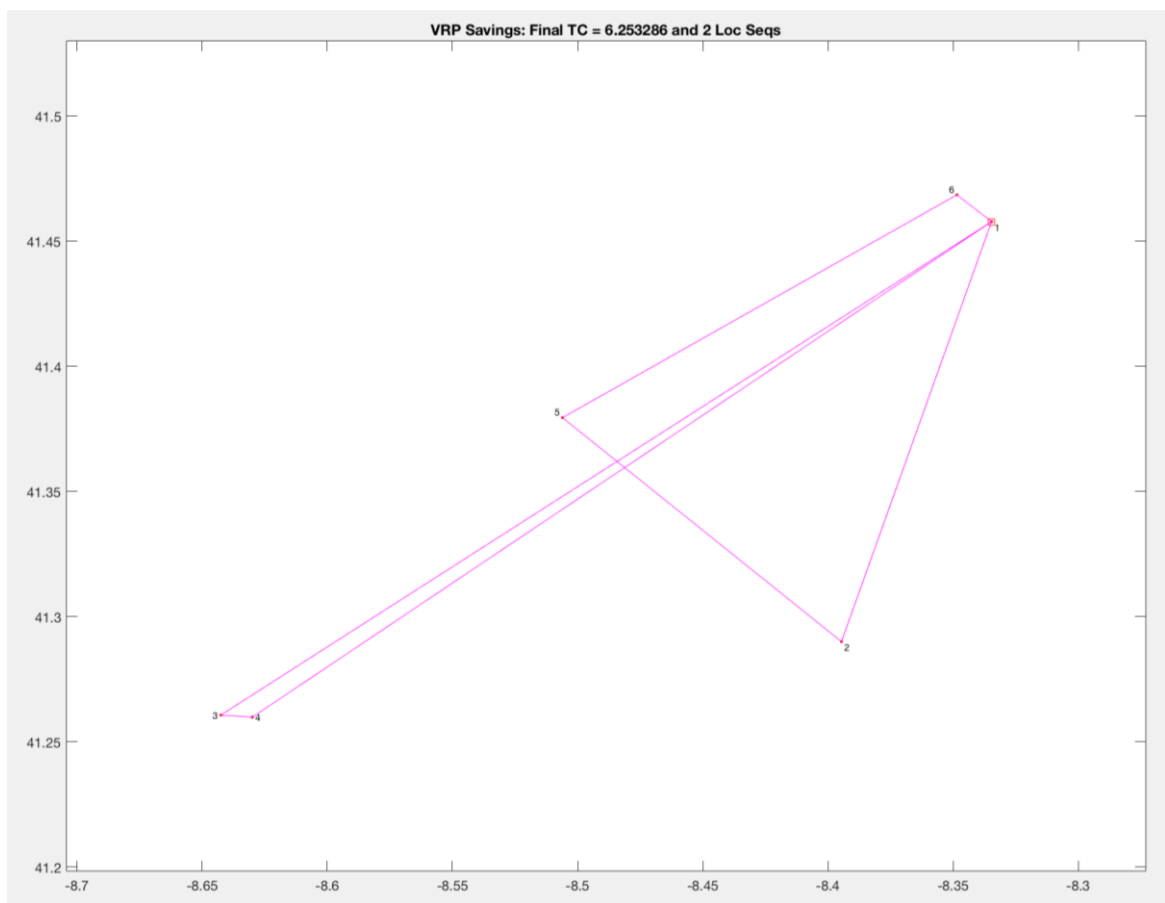


Figura 35 - Rotas resultantes da linguagem inserida no *MATLAB* para otimizar rotas de segunda-feira para o AX

Na Tabela 5 é possível encontrar detalhadamente todos os intervalos de tempo necessários para realizar cada uma das duas rotas presentes na Figura 35.

Tabela 5 - Tempo necessário para percorrer cada uma das rotas para o AX

Rotas	Desloc.	Descarga	Desloc.	Descarga	Desloc.	Descarga	Desloc.	Totais
1	1-3	3 paletes	3-4	7 paletes	4-1			99,76 km 1h37min
	49,4 km 34 min	10 min	1,46 km 3 min	15 min	48,9 km 35 min			
2	1-2	2 paletes	2-5	1/3 palet.	5-6	4 paletes	6-1	80,6 km 2h01min
	29,6 km 34 min	10 min	20,4 km 28 min	10 min	27,7 km 24 min	10 min	2,9 km 5 min	

Destes 5 clientes resultam então 2 rotas a serem realizadas pelo AX em que a totalidade da procura dos clientes é satisfeita. Pela análise da Tabela 5 verifica-se mais uma vez que não é ultrapassada as 8 horas de trabalho diárias do motorista, sendo necessárias 3 horas e 38 minutos de trabalho por parte do mesmo.

Caso fossem geradas rotas que não pudessem ser satisfeitas na totalidade pelo LT e pelo AX, seria necessário aquando da seleção das rotas a serem satisfeitas pelos mesmos, ter em atenção que não deveriam ficar por serem atendidos clientes com a procura superior a 4 paletes, ou seja  $procura(cliente) \geq MIN$ , pois o veículo que restaria para os satisfazer tem como capacidade máxima 4 paletes, tal como está descrito no procedimento heurístico desenvolvido presente na secção 4.3.2.

Assim sendo, o veículo PM da empresa estaria totalmente disponível e o AX estaria apenas parte do dia para realizar eventuais urgências ou entregas que possam ter sido adiadas para dias seguintes.

#### 4.3.4 Comparação dos resultados obtidos com o que a empresa fez para um dia de semana (segunda-feira)

Na Tabela 6 apresentam-se sucintamente as rotas do *VRPSA/INGS* selecionadas, no caso do LT como melhores rotas a serem percorridas, e as rotas do AX obtidas. Apresentam-se também os custos (distâncias) fornecidos pelo *MATLOG*, calculados no *Excel* e retirados do *Google Maps* pertencentes a cada uma das rotas.

Tabela 6 - Síntese das rotas para 1 dia resultantes do *MATLOG* e do procedimento heurístico desenvolvido com os respectivos custos

Rotas resultantes do <i>VRPSAVINGS</i> do <i>MATLOG</i> e do procedimento heurístico desenvolvido						
Carro	Rota	Características	Distância ( <i>MATLAB</i> )	Distância ( <i>Excel</i> )	Distância ( <i>Google Maps</i> )	Tempo necessário ( <i>Google Maps</i> + tempos de descargas)
LT	2	1→17→3→5→6→11→1	5,4571	0,4571	78,58 km	2h18min
	3	1→16→18→10→1	3,4001	0,4001	59,54 km	1h43min
	4	1→9→12→1	2,5254	0,5254	92,9 km	1h55min
	5	1→8→2→4→1	3,5122	0,5122	68,85 km	1h52min
	Total		14,8948	1,8948	299,87 km	7h48min
AX	1	1→3→4→1	2,7337	0,7337	99,76 km	1h37min
	2	1→6→8→1	3,5196	0,502	80,6 km	2h01min
	Total		6,2533	1,2357	180,36 km	3h38min
TOTALS - ROTAS DE 1 DIA			21,1481	3,1305	480,21 km	11h26min

Conferindo os resultados, nas distâncias dadas pelo *MATLOG* vemos que o que difere para o calculado no *Excel*/em cada rota não são as casas decimais, mas os valores inteiros. Após fazer alguns testes para se perceber de onde derivavam esses valores, chegou-se à conclusão de que a função *VRPSAVINGS* da *toolbox MATLOG* adiciona uma unidade à distância total por cada cliente que é satisfeito nessa mesma rota. Por exemplo, observando a Tabela 6, na rota 2 para o carro LT são satisfeitos 5 clientes, à distância calculada no *Excel* (0,4571) foram adicionadas 5 unidades obtendo assim a distância obtida no *MATLAB* (5,4571).

Na Figura 36 é possível visualizar todas as rotas resultantes do *MATLOG* juntamente com o procedimento heurístico desenvolvido para o LT (primeiras 4 rotas) e para o AX (últimas 2 rotas).

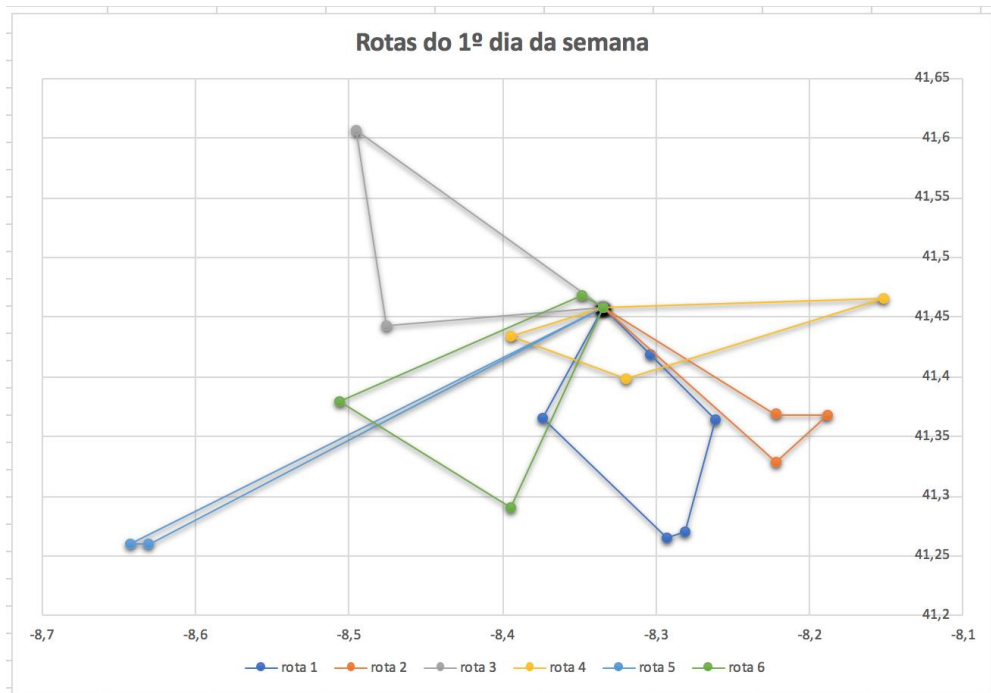


Figura 36 - Rotas resultantes para o 1º dia da semana

Com o intuito de comparar as rotas resultantes com as que a empresa fez na realidade, na Figura 37 está o mapa com as rotas realizadas pela empresa para o 1º dia da semana.

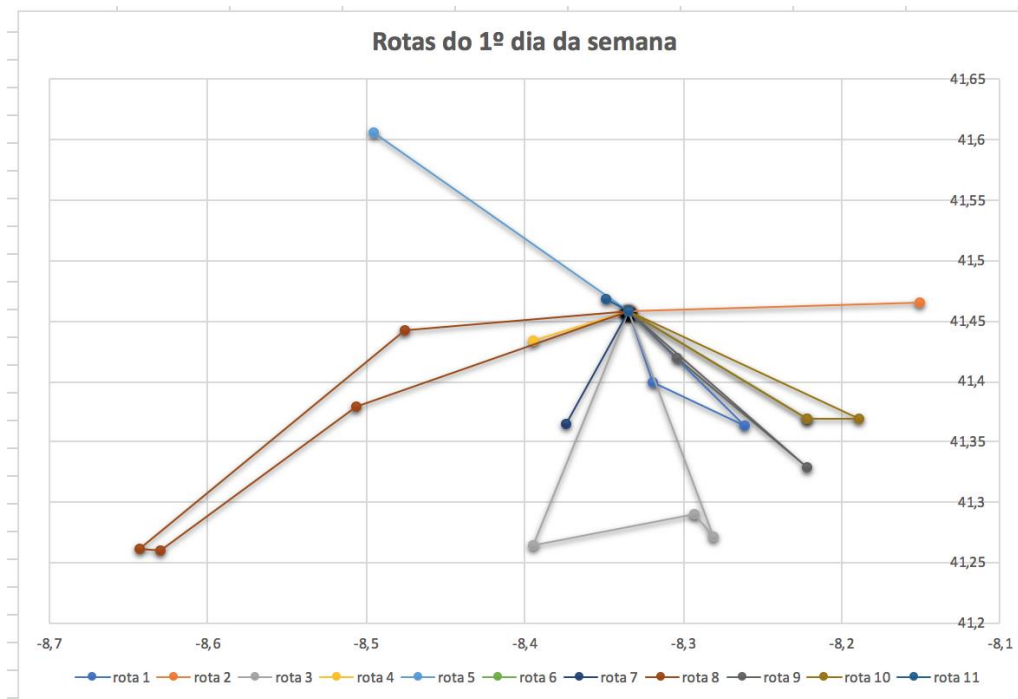


Figura 37 - Rotas realizadas pela empresa para o 1º dia da semana



Comparando as rotas obtidas no estudo para o 1º dia da semana (Figura 36) com as realizadas efetivamente pela empresa (Figura 37) verifica-se que as primeiras são rotas mais elaboradas que as segundas, ou seja, em cada uma das rotas são satisfeitos mais clientes. Sendo realizadas mais 5 rotas pela empresa do que as obtidas no estudo.

Na Tabela 7 está uma síntese das rotas realizadas pela empresa no 1º dia da semana em estudo assim como, as respectivas distâncias calculas com auxílio do *Excel* e das fórmulas anteriormente mencionas relacionadas com o Teorema de Pitágoras.

*Tabela 7 - Rotas realizadas pela empresa para o dia em estudo*

ROTAS REALIZADAS PELA EMPRESA					
Carro	Rota	Características	Distância ( <i>Excel</i> )	Distância ( <i>Google Maps</i> )	Tempo necessário com descarga ( <i>Google Maps</i> + tempo de descargas)
LT	1	1→2→3→1	0,2476	47,4 km	1h24min
	2	1→9→1	0,4374	70,4 km	1h18min
	3	1→12→13→14→15→1	0,7618	124,76 km	2h28min
	Total		1,4468	242,56 km	5h10min
AX	1	1→5→6→7→1	1,4468	81,52 km	1h52min
	2	1→11→1	0,2008	33,5 km	42min
	3	1→16→17→1	0,3429	58,8 km	1h15min
	Total		1,0347	173,82 km	3h49min
PM	1	1→4→1	0,367	44,9 km	51min
	2	1→8→1	0,1296	16,36 km	36min
	3	1→10→1	0,2876	44,9 km	1h04min
	4	1→18→10→1	0,348	57,39 km	1h16min
	5	1→19→1	0,035	4,81 km	20min
	Total		1,1672	168,36 km	4h07min
TOTALS - ROTAS DE 1 DIA			3,6487	584,74 km	13h06min

Analisando a Tabela 7 verifica-se que a empresa apenas realizou 3 rotas para o LT e 3 para o AX, tendo, contudo, feito com a viatura PM 5 rotas, que resultaram numa distância total do dia de 584,74 quilómetros segundo o *Google Maps*. Comparando com os resultados presentes na Tabela 6 a empresa

realizaria 4 rotas para o caminhão maior (LT) e 2 rotas para o segundo carro maior (AX), resultando numa distância total de 480,21 quilómetros segundo o *Google Maps*. Ou seja, tal como esperado as rotas obtidas da utilização do *MATLOG - VRPSAVINGS* com o procedimento heurístico desenvolvido resultariam numa menor distância a ser percorrida, cerca de 104,53 quilómetros.

#### 4.3.5 Estudo para uma semana (segunda a sexta-feira)

Após ter sido verificada uma melhoria das rotas para um dia de trabalho, pretendeu-se estudar para uma semana de trabalho, para se proceder, caso se justifique, à junção de clientes de uma mesma zona, representando algum tipo de poupança para a empresa. Para tal, mais uma vez recorreu-se à recolha das coordenadas dos clientes com recurso à ferramenta *Google Maps*.

Na função *VRPSAVINGS* colocou-se as coordenadas e a procura dos clientes. Contudo dado que ao longo da semana se fazem várias entregas para um mesmo cliente, se pedisse ao *MATLAB* para fazer uma otimização das rotas através do *VRPSAVINGS*, o que aconteceria era que dentro da capacidade do carro utilizado, seriam aglomeradas algumas entregas para um único dia desse mesmo cliente. Se existem várias encomendas ao longo da semana para um mesmo cliente existe um fundamento para tal, como é o caso de alguns clientes que têm falta de espaço nas suas instalações e não podem receber as encomendas de uma semana num mesmo dia.

Com o intuito de contornar a situação do *VRPSAVINGS* vir a juntar encomendas de mais do que um dia numa única expedição, foi feito um levantamento dos clientes que possuem encomendas múltiplas ao longo da semana em estudo. Na Tabela 8 está presente uma síntese dessa mesma informação.

*Tabela 8 - Clientes com encomendas com entregas obrigatórias em determinados dias da semana*

<b>Nº dos clientes no sistema da JPZ – vértice na instância considerada</b>	<b>Segunda</b>	<b>Terça</b>	<b>Quarta</b>	<b>Quinta</b>	<b>Sexta</b>
1027 - 2 e 85	X				X
1090 - 6 e 72	X			X	
280 - 8 e 80	X				X
2200 - 9 e 61	X			X	
2192 - 10, 20, 44, 65 e 84	X	X	X	X	X
1819 - 15 e 48	X		X		
363 - 18 e 74	X			X	
660 - 19, 27, 35, 66 e 76	X	X	X	X	X
2184 - 24 e 47		X	X		
941 - 30 e 78		X			X
2263 - 32 e 38		X	X		
2154 - 34, 60 e 88			X	X	X
1922 - 42 e 83			X		X
519 - 45, 68 e 86			X	X	X
2033 - 64 e 77				X	X
2155 - 67 e 87				X	X
2080 - 70 e 89				X	X

Na Tabela 9 estão presentes os clientes/encomendas para a semana em estudo.

Tabela 9 – Esquema da distribuição das encomendas/clientes ao longo da semana

Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
1027 (2)	2192 (20)	2154 (34)	2154 (60)	660 (76)
1090 (6)	2184 (24)	660 (35)	2200 (61)	2033 (77)
280 (8)	660 (27)	2263 (38)	2033 (64)	941 (78)
2200 (9)	941 (30)	1922 (42)	2192 (65)	280 (80)
2192 (10)	2263 (32)	2192 (44)	660 (66)	1922 (83)
1819 (15)		519 (45)	2155 (67)	2192 (84)
363 (18)		2184 (47)	519 (68)	1027 (85)
660 (19)		1819 (48)	2080 (70)	519 (86)
			1090 (72)	2155 (87)
			363 (74)	2154 (88)
				2080 (89)
211 (3)	2254 (4)	1910 (5)	271 (7)	2156 (11)
2248 (12)	2221 (13)	2221 (14)	347 (16)	1806 (17)
2280 (21)	1397 (22)	1972 (23)	1479 (25)	2161 (26)
1455 (28)	1665 (29)	2151 (31)	1322 (33)	2276 (36)
1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	2307 (41)	2263 (43)
1822 (46)	2264 (49)	2257 (50)	2151 (51)	2150 (52)
1093 (53)	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)
1893 (58)	2269 (59)	1183 (62)	1942 (63)	2268 (69)
1918 (71)	2032 (73)	2240 (75)	1906 (79)	867 (81)
1041 (82)				

Nesta mesma Tabela 9 estão, na parte de cima, distribuídos os clientes ao longo dos dias da semana nos casos das encomendas obrigatórias para determinados dias da semana, na zona inferior da tabela estão os clientes com encomendas que embora tenham sido entregues num dado dia da semana pela empresa, existe a possibilidade de haver alguma flexibilidade de entrega, podendo no estudo ser atribuídos a qualquer rota ao longo da semana.

### Segunda-feira – LT

Numa primeira fase optou-se por melhorar as rotas para o LT (veículo maior) e também por fazer o estudo primeiro, para segunda-feira. Assim foram mantidos os clientes todos da semana em estudo com

encomendas, retirando-se apenas as encomendas presentes na Tabela 8 que não são para segunda-feira. Na Tabela 10 todos os clientes/encomendas que estão dentro dos dois retângulos de cor de laranja são os que foram submetidos na função *VRPSAVINGS* para gerar rotas para o LT para segunda-feira.

*Tabela 10 – Clientes que foram tidos em conta no VRPSAVINGS para gerar rotas para segunda-feira*

Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira																																																		
1027 (2)	2192 (20)	2154 (34)	2154 (60)	660 (76)																																																		
1090 (6)	2184 (24)	660 (35)	2200 (61)	2033 (77)																																																		
280 (8)	660 (27)	2263 (38)	2033 (64)	941 (78)																																																		
2200 (9)	941 (30)	1922 (42)	2192 (65)	280 (80)																																																		
2192 (10)	2263 (32)	2192 (44)	660 (66)	1922 (83)																																																		
1819 (15)		519 (45)	2155 (67)	2192 (84)																																																		
363 (18)		2184 (47)	519 (68)	1027 (85)																																																		
660 (19)		1819 (48)	2080 (70)	519 (86)																																																		
			1090 (72)	2155 (87)																																																		
			363 (74)	2154 (88)																																																		
				2080 (89)																																																		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>211 (3)</td> <td>2254 (4)</td> <td>1910 (5)</td> <td>271 (7)</td> <td>2156 (11)</td> </tr> <tr> <td>2248 (12)</td> <td>2221 (13)</td> <td>2221 (14)</td> <td>347 (16)</td> <td>1806 (17)</td> </tr> <tr> <td>2280 (21)</td> <td>1397 (22)</td> <td>1972 (23)</td> <td>1479 (25)</td> <td>2161 (26)</td> </tr> <tr> <td>1455 (28)</td> <td>1665 (29)</td> <td>2151 (31)</td> <td>1322 (33)</td> <td>2276 (36)</td> </tr> <tr> <td>1051 (37)</td> <td>2263 (39)</td> <td>2201 (40)</td> <td>2307 (41)</td> <td>2263 (43)</td> </tr> <tr> <td>1822 (46)</td> <td>2264 (49)</td> <td>2257 (50)</td> <td>2151 (51)</td> <td>2150 (52)</td> </tr> <tr> <td>1093 (53)</td> <td>1504 (54)</td> <td>2285 (55)</td> <td>1373 (56)</td> <td>2227 (57)</td> </tr> <tr> <td>1893 (58)</td> <td>2269 (59)</td> <td>1183 (62)</td> <td>1942 (63)</td> <td>2268 (69)</td> </tr> <tr> <td>1918 (71)</td> <td>2032 (73)</td> <td>2240 (75)</td> <td>1906 (79)</td> <td>867 (81)</td> </tr> <tr> <td>1041 (82)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					211 (3)	2254 (4)	1910 (5)	271 (7)	2156 (11)	2248 (12)	2221 (13)	2221 (14)	347 (16)	1806 (17)	2280 (21)	1397 (22)	1972 (23)	1479 (25)	2161 (26)	1455 (28)	1665 (29)	2151 (31)	1322 (33)	2276 (36)	1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	2307 (41)	2263 (43)	1822 (46)	2264 (49)	2257 (50)	2151 (51)	2150 (52)	1093 (53)	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)	1893 (58)	2269 (59)	1183 (62)	1942 (63)	2268 (69)	1918 (71)	2032 (73)	2240 (75)	1906 (79)	867 (81)	1041 (82)				
211 (3)	2254 (4)	1910 (5)	271 (7)	2156 (11)																																																		
2248 (12)	2221 (13)	2221 (14)	347 (16)	1806 (17)																																																		
2280 (21)	1397 (22)	1972 (23)	1479 (25)	2161 (26)																																																		
1455 (28)	1665 (29)	2151 (31)	1322 (33)	2276 (36)																																																		
1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	2307 (41)	2263 (43)																																																		
1822 (46)	2264 (49)	2257 (50)	2151 (51)	2150 (52)																																																		
1093 (53)	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)																																																		
1893 (58)	2269 (59)	1183 (62)	1942 (63)	2268 (69)																																																		
1918 (71)	2032 (73)	2240 (75)	1906 (79)	867 (81)																																																		
1041 (82)																																																						

A instância submetida no *VRPSAVINGS* continha assim 55 vértices (54 clientes+JPZ) e, foi utilizada a linguagem na função para o problema apresentado onde se solicitava uma solução de um conjunto de rotas, onde os 54 vértices eram visitados e que em cada rota fosse respeitada a capacidade máxima do veículo (16 paletes). Daqui resultaram 17 rotas que não podiam ser satisfeitas em 8 horas de trabalho do motorista do LT. Para tal, era necessário seleccionar rotas a serem percorridas pelo motorista no 1º dia da semana, entrando em prática o procedimento heurístico desenvolvido.

As 4 primeiras rotas selecionadas foram as que tinham os clientes com procura superior a 10. Para percorrer estas 4 rotas eram necessárias 9 horas. Assim, de entre as rotas selecionadas, retirou-se a mais demorada, com cerca de 3 horas e 16 minutos e selecionou-se de entre as rotas que possuíam clientes de entrega obrigatória para 2ª feira, a que tinha maior procura. Ou seja, foram selecionadas as rotas 6, 7, 15 e 17. Seriam percorridos 288,71 quilómetros e necessárias 7 horas e 33 minutos, restando 27 minutos para eventuais imprevistos. Mantendo a numeração de 1 a 89 dos vértices todos da semana em estudo, as rotas selecionadas das 17 para serem realizadas pelo LT para a segunda-feira da semana em estudo foram as seguintes:

- Rota 6) 1→26→9→62→1 (capacidade utilizada:  $0+4+10+2+0=16$  paletes → 1h49min)
- Rota 7) 1→18→41→1 (capacidade utilizada:  $0+1+14+0=15$  paletes → 2h01min)
- Rota 15) 1→33→53→19→1 (capacidade utilizada:  $0+11+2/3+4+0=15+2/3$  paletes → 2h13min)
- Rota 17) 1→58→1 (capacidade utilizada:  $0+16+0=16$  paletes → 1h30min).

#### Terça-feira - LT

O estudo das rotas para uma semana do carro com maior capacidade prosseguiu sendo que, agora se repetiu todo o processo para determinar as rotas para o segundo dia da semana, terça-feira. Da lista dos 88 vértices iniciais retirou-se os que foram satisfeitos com as rotas anteriormente selecionadas para segunda-feira tal como descreve a heurística descrita na secção 4.3.2. E, recorrendo novamente à Tabela 8, foram excluídas todas as entregas obrigatórias que não fossem para terça-feira (informação essa sintetizada na seguinte Tabela 11), resultando assim numa instância de 46 vértices (45 clientes) a serem submetidos na função *VRPSAVINGS*.

Tabela 11 - Clientes inseridos na função VRPSAVINGS para gerar rotas para o LT para terça-feira

Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira																																																		
1027 (2)	2192 (20)	2154 (34)	2154 (60)	660 (76)																																																		
1090 (6)	2184 (24)	660 (35)	2200 (61)	2033 (77)																																																		
280 (8)	660 (27)	2263 (38)	2033 (64)	941 (78)																																																		
<del>2200 (9)</del>	941 (30)	1922 (42)	2192 (65)	280 (80)																																																		
2192 (10)	2263 (32)	2192 (44)	660 (66)	1922 (83)																																																		
1819 (15)		519 (45)	2155 (67)	2192 (84)																																																		
<del>363 (18)</del>		2184 (47)	519 (68)	1027 (85)																																																		
<del>660 (19)</del>		1819 (48)	2080 (70)	519 (86)																																																		
			1090 (72)	2155 (87)																																																		
			363 (74)	2154 (88)																																																		
				2080 (89)																																																		
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>211 (3)</td> <td>2254 (4)</td> <td>1910 (5)</td> <td>271 (7)</td> <td>2156 (11)</td> </tr> <tr> <td>2248 (12)</td> <td>2221 (13)</td> <td>2221 (14)</td> <td>347 (16)</td> <td>1806 (17)</td> </tr> <tr> <td>2280 (21)</td> <td>1397 (22)</td> <td>1972 (23)</td> <td>1479 (25)</td> <td><del>2161 (26)</del></td> </tr> <tr> <td>1455 (28)</td> <td>1665 (29)</td> <td>2151 (31)</td> <td><del>1322 (33)</del></td> <td>2276 (36)</td> </tr> <tr> <td>1051 (37)</td> <td>2263 (39)</td> <td>2201 (40)</td> <td><del>2307 (41)</del></td> <td>2263 (43)</td> </tr> <tr> <td>1822 (46)</td> <td>2264 (49)</td> <td>2257 (50)</td> <td>2151 (51)</td> <td>2150 (52)</td> </tr> <tr> <td><del>1093 (53)</del></td> <td>1504 (54)</td> <td>2285 (55)</td> <td>1373 (56)</td> <td>2227 (57)</td> </tr> <tr> <td><del>1893 (58)</del></td> <td>2269 (59)</td> <td><del>1183 (62)</del></td> <td>1942 (63)</td> <td>2268 (69)</td> </tr> <tr> <td>1918 (71)</td> <td>2032 (73)</td> <td>2240 (75)</td> <td>1906 (79)</td> <td>867 (81)</td> </tr> <tr> <td>1041 (82)</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					211 (3)	2254 (4)	1910 (5)	271 (7)	2156 (11)	2248 (12)	2221 (13)	2221 (14)	347 (16)	1806 (17)	2280 (21)	1397 (22)	1972 (23)	1479 (25)	<del>2161 (26)</del>	1455 (28)	1665 (29)	2151 (31)	<del>1322 (33)</del>	2276 (36)	1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	<del>2307 (41)</del>	2263 (43)	1822 (46)	2264 (49)	2257 (50)	2151 (51)	2150 (52)	<del>1093 (53)</del>	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)	<del>1893 (58)</del>	2269 (59)	<del>1183 (62)</del>	1942 (63)	2268 (69)	1918 (71)	2032 (73)	2240 (75)	1906 (79)	867 (81)	1041 (82)				
211 (3)	2254 (4)	1910 (5)	271 (7)	2156 (11)																																																		
2248 (12)	2221 (13)	2221 (14)	347 (16)	1806 (17)																																																		
2280 (21)	1397 (22)	1972 (23)	1479 (25)	<del>2161 (26)</del>																																																		
1455 (28)	1665 (29)	2151 (31)	<del>1322 (33)</del>	2276 (36)																																																		
1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	<del>2307 (41)</del>	2263 (43)																																																		
1822 (46)	2264 (49)	2257 (50)	2151 (51)	2150 (52)																																																		
<del>1093 (53)</del>	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)																																																		
<del>1893 (58)</del>	2269 (59)	<del>1183 (62)</del>	1942 (63)	2268 (69)																																																		
1918 (71)	2032 (73)	2240 (75)	1906 (79)	867 (81)																																																		
1041 (82)																																																						

Daqui resultaram 13 rotas para o LT, sendo que apenas uma rota incluía um cliente com procura superior a 10 paletes, a rota 13. Esta rota foi automaticamente selecionada. Das restantes 12 rotas foram selecionadas 3 de acordo com o procedimento heurístico desenvolvido:

- Rota 6) 1→11→5→16→1 (capacidade utilizada: 0+4+3+9+0=16 paletes → 1h57min)
- Rota 9) 1→24→73→1 (capacidade utilizada: 0+10+6+0=16 paletes → 1h48min)
- Rota 12) 1→27→59→1 (capacidade utilizada: 0+8+8+0=16 paletes → 1h05min)
- Rota 13) 1→46→1 (capacidade utilizada: 0+15+0=16 paletes → 2h34min)

Seriam necessárias 7 horas e 24 minutos ao motorista para realizar as 4 rotas, restando 36 minutos. Neste dia o LT percorreria 383,84 quilómetros.

O processo para os restantes 3 dias da semana é semelhante ao que foi realizado para segunda e terça-feira.

#### Quarta-feira – LT

Repetindo o processo, as rotas decorrentes para quarta-feira foram as seguintes:

- Rota 1) 1→48→28→13→14→1 (capacidade utilizada:  $0+1+5+3+7+0=16$  paletes → 2h29min)
- Rota 2) 1→31→79→1 (capacidade utilizada:  $0+10+6+0=16$  paletes → 2h05min)
- Rota 10) 1→35→1 (capacidade utilizada:  $0+11+0=11$  paletes → 35min)
- Rota 11) 1→45→1 (capacidade utilizada:  $0+16+0=16$  paletes → 1h15min)

Para realizar as 4 rotas, seriam necessárias 6 horas e 24 minutos, incluindo descargas nos clientes, sendo percorridos no final 293,5 quilómetros.

#### Quinta-feira – LT

Para quinta-feira e repetindo todos os passos anteriormente descritos, as rotas obtidas foram:

- Rota 2) 1→75→29→52→1 (capacidade utilizada:  $0+2+4+10+0=16$  paletes → 2h06min)
- Rota 4) 1→49→72→1 (capacidade utilizada:  $0+9+7+0=16$  paletes → 2h02min)
- Rota 7) 1→23→22→51→66→1 (capacidade utilizada:  $0+3+6+3+4+0=16$  paletes → 1h33min)
- Rota 10) 1→68→1 (capacidade utilizada:  $0+16+0=16$  paletes → 1h15min)

O motorista para percorrer as 4 rotas necessitaria de cerca de 6 horas e 56 minutos incluindo descargas, correspondendo a cerca de 308,46 quilómetros.

#### Sexta-feira – LT

Rotas a realizar na sexta-feira originariam 6 horas e 35 minutos de tempo necessário (incluindo descargas) e 198,9 quilómetros a serem percorridos, sendo elas:

- Rota 3) 1→25→3→84→1 (capacidade utilizada:  $0+7+5+4+0=16$  paletes → 1h54min)
- Rota 5) 1→12→81→80→1 (capacidade utilizada:  $0+5+3+8+0=16$  paletes → 1h43min)
- Rota 6) 1→21→17→85→88→76→1 (capacidade utilizada:  $0+3+(1/3)+8+2+2+0=15+1/3$  paletes → 1h43min)



- Rota 7) 1→86→1 (capacidade utilizada: 0+16+0=16 paletes → 1h15min)

Após determinadas as rotas a serem percorridas pelo LT, a próxima etapa passaria por repetir todo este processo para o AX, com os restantes clientes, tal como está descrito no procedimento heurístico desenvolvido.

### Segunda-feira – AX

Do processo anterior, ou seja, da determinação das rotas para uma semana para o LT, ficariam por satisfazer 41 clientes. No *MATLAB* foi submetida a função *VRPSAVINGS* do *MATLOG* com as coordenadas dos restantes clientes, retirando-se contudo todos os clientes com entregas obrigatórias que não são para segunda-feira, informação essa presente na Tabela 8, informação essa presente na Tabela 12. Na função foi alterada a capacidade do veículo, pois o AX tem como capacidade 10 paletes.

*Tabela 12 - Clientes inseridos na script VRPSAVINGS para gerar rotas para o AX para segunda-feira*

Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
1027 (2)	2192 (20)	2154 (34)	2154 (60)	<del>660 (76)</del>
1090 (6)	<del>2184 (24)</del>	<del>660 (35)</del>	2200 (61)	2033 (77)
280 (8)	<del>660 (27)</del>	2263 (38)	2033 (64)	941 (78)
<del>2200 (9)</del>	941 (30)	1922 (42)	2192 (65)	<del>280 (80)</del>
2192 (10)	2263 (32)	2192 (44)	<del>660 (66)</del>	1922 (83)
1819 (15)		<del>519 (45)</del>	2155 (67)	<del>2192 (84)</del>
<del>363 (18)</del>		2184 (47)	<del>519 (68)</del>	<del>1027 (85)</del>
<del>660 (19)</del>		<del>1819 (48)</del>	2080 (70)	<del>519 (86)</del>
			1090 (72)	2155 (87)
			363 (74)	<del>2154 (88)</del>
				2080 (89)
<hr/>				
211 (3)	2254 (4)	<del>1910 (5)</del>	271 (7)	<del>2156 (11)</del>
<del>2248 (12)</del>	<del>2221 (13)</del>	<del>2221 (14)</del>	<del>347 (16)</del>	<del>1806 (17)</del>
<del>2280 (21)</del>	<del>1397 (22)</del>	<del>1972 (23)</del>	<del>1479 (25)</del>	<del>2161 (26)</del>
<del>1455 (28)</del>	<del>1665 (29)</del>	<del>2151 (31)</del>	<del>1322 (33)</del>	<del>2276 (36)</del>
1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	<del>2307 (41)</del>	2263 (43)
<del>1822 (46)</del>	<del>2264 (49)</del>	2257 (50)	2151 (51)	<del>2150 (52)</del>
<del>1093 (53)</del>	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)
<del>1893 (58)</del>	<del>2269 (59)</del>	<del>1183 (62)</del>	1942 (63)	2268 (69)
1918 (71)	<del>2032 (73)</del>	<del>2240 (75)</del>	<del>1906 (79)</del>	<del>867 (81)</del>
1041 (82)				

As 3 rotas selecionadas, de entre as 6 obtidas, resultaram numa distância total de 208,63 quilómetros e em 4 horas e 59 minutos de trabalho por parte do motorista restando cerca de 3 horas para eventuais imprevistos. Foram escolhidas apenas 3 rotas porque 2 das 3 que não foram escolhidas não cumpriam com determinadas indicações dadas na secção 4.3.1 e com o procedimento heurístico desenvolvido. As rotas a serem percorridas são as seguintes:

- Rota 2) 1→7→54→6→1 (capacidade utilizada:  $0+2+5+3+0=10$  paletes → 2h29min)
- Rota 4) 1→10→36→1 (capacidade utilizada:  $0+6+3+0=9$  paletes → 1h29min)
- Rota 5) 1→2→63→1 (capacidade utilizada:  $0+8+(1+1/3)+0=9+1/3$  paletes → 1h01min)

#### Terça-feira – AX

Para terça-feira da instância submetida no *MATLAB* foram obtidas 4 rotas. A rota 3 apenas ocupava 65% da capacidade do AX, e dado que a condição *procura(clientes) ≥ MIN* não se verificava, foram apenas selecionadas as rotas 1, 2 e 4:

- Rota 1) 1→56→50→55→57→1 (capacidade utilizada:  $0+1+3+4+1+0=9$  paletes → 3h10min)
- Rota 2) 1→71→32→39→4→37→1 (capacidade utilizada:  $0+0,2+3+0,1+2+3,1+0=8,4$  paletes → 1h44min)
- Rota 4) 1→20→1 (capacidade utilizada:  $0+9+0=9$  paletes → 1h15min)

Estas 3 rotas resultam em 6 horas e 9 minutos de viagem incluindo as descargas de mercadoria nos clientes e em 271,15 quilómetros a serem percorridos pelo motorista.

#### Quarta-feira – AX

Da instância de 9 clientes adicionados à função *VRPSA/INGS* obtiveram-se as seguintes duas rotas:

- Rota 1) 1→42→82→43→69→40→38→47→1 (capacidade utilizada:  $0+2+1+0,5+1+2+0,1+1+0=7,6$  paletes → 3h16min)
- Rota 2) 1→34→44→1 (capacidade utilizada:  $0+2+7+0=9$  paletes → 1h31min)

A **rota 1** é constituída por 7 clientes/7 entregas o que acarreta demasiados riscos pois, um cliente mais inicial pode comprometer a entrega de todos os outros para além de que, esta rota aglomera muitas zonas. E, dado que a condição *procura(clientes) ≥ MIN* não se verifica em nenhum dos clientes

de entrega obrigatória para quarta-feira na **rota 1**, esta rota **não será afetada ao veículo AX para quarta-feira**.

O veículo AX realizaria assim uma única rota numa hora e 31 minutos (63,75 quilómetros), ficando disponível no restante dia para realizar eventuais serviços urgentes.

#### Quinta-feira – AX

Rotas obtidas para a instância de 11 clientes:

- Rota 1) 1→60→65→74→40→1 (capacidade utilizada:  $0+2+4+1+2+0=9$  paletes → 2h06min)
- Rota 2) 1→61→69→70→43→82→64→1 (capacidade utilizada:  $0+4+1+3+0,5+1+0,2+0=9,7$  paletes → 2h34min)
- Rota 3) 1→67→1 (capacidade utilizada:  $0+10+0=10$  paletes → 56min)

As rotas representam 5 horas e 36 minutos de trabalho por parte do motorista do AX, sendo percorridos cerca de 200,66 quilómetros no total.

Da instância submetida e das rotas afetadas para quinta-feira para o AX, não restam mais clientes para serem atendidos, a não ser alguns de entrega obrigatória para determinados dias da semana

#### Sexta-feira – AX

As rotas obtidas de submeter as coordenadas dos 5 clientes que restavam ser atendidos com entrega obrigatória para sexta-feira foram as seguintes:

- Rota 1) 1→83→78→89→87→1 (capacidade utilizada:  $0+2+2+3+3+0=10$  paletes → 2h45min)
- Rota 2) 1→77→1 (capacidade utilizada:  $0+1+0=1$  paletes → 20min)

A **rota 2 não justifica ser realizada pelo AX**, pois só é transportada uma paleta num veículo com capacidade para 10 paletes. Dado não haver mais clientes para este dia, o melhor seria este cliente ser visitado pelo PM que tem capacidade de 4 paletes. A taxa de ocupação será de apenas 25%, contudo é melhor que os 10% se fosse realizada a entrega pelo AX.

Das rotas obtidas com auxílio do *MATLAB (VRPSA VINGS)* e selecionadas segundo o procedimento heurístico desenvolvido para serem realizadas pelos camiões LT e AX restam cerca de 7 clientes para

serem atendidos que têm entregas obrigatórias para determinados dias da semana tal como se pode comprovar analisando a Tabela 13.

*Tabela 13 - Clientes que ainda faltam ser satisfeitos para a semana em estudo e que serão satisfeitos pela PM*

Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
1027 (2)	2192 (20)	2154 (34)	2154 (60)	660 (76)
1090 (6)	2184 (24)	660 (35)	2200 (61)	2033 (77)
280 (8)	660 (27)	2263 (38)	2033 (64)	941 (78)
2200 (9)	941 (30)	1922 (42)	2192 (65)	280 (80)
2192 (10)	2263 (32)	2192 (44)	660 (66)	1922 (83)
1819 (15)		519 (45)	2155 (67)	2192 (84)
363 (18)		2184 (47)	519 (68)	1027 (85)
660 (19)		1819 (48)	2080 (70)	519 (86)
			1090 (72)	2155 (87)
			363 (74)	2154 (88)
				2080 (89)
211 (3)	2254 (4)	1910 (5)	271 (7)	2156 (11)
2248 (12)	2221 (13)	2221 (14)	347 (16)	1806 (17)
2280 (21)	1397 (22)	1972 (23)	1479 (25)	2161 (26)
1455 (28)	1665 (29)	2151 (31)	1322 (33)	2276 (36)
1051 (37)	2263 (39)	2201 (40)	2307 (41)	2263 (43)
1822 (46)	2264 (49)	2257 (50)	2151 (51)	2150 (52)
1093 (53)	1504 (54)	2285 (55)	1373 (56)	2227 (57)
1893 (58)	2269 (59)	1183 (62)	1942 (63)	2268 (69)
1918 (71)	2032 (73)	2240 (75)	1906 (79)	867 (81)
1041 (82)				

### Segunda-feira – PM

Na segunda-feira da semana em estudo restam dois clientes serem satisfeitos que resultam em duas rotas:

- Rota 1) 1→8→1 (capacidade utilizada: 0+4+0=4 paletes → 35min)
- Rota 2) 1→15→1 (capacidade utilizada: 0+(1/3)+0=1/3 paletes →50min)

Dado que na rota 2 não é utilizado  $\frac{1}{4}$  da capacidade da carrinha PM, a empresa deveria contactar o cliente em questão e analisar a opção de adiar a entrega desta mercadoria.

### Terça-feira - PM

Para terça-feira restava um cliente receber a sua encomenda:

- Rota 1) 1→30→1 (capacidade utilizada:  $0+2+0=2$  paletes → 1h05min)

A rota só contém um cliente com uma encomenda de 2 paletes, sendo a taxa de ocupação da PM de 50%, não é o desejável, mas como para terça-feira não há mais encomendas pendentes, a empresa poderia optar por entregar as 2 paletes ao cliente ou se possível adiar a entrega.

### Quarta-feira – PM

Na quarta-feira restariam 3 clientes para satisfazer, sendo estes atendidos na seguinte rota:

- Rota 1) 1→42→38→47→1 (capacidade utilizada:  $0+2+0,1+1+0=3,1$  paletes → 2h07min)

A rota representaria cerca de 2 hora e 7 minutos de trabalho por parte do motorista do PM, sendo percorridos 109,69 quilómetros.

### Sexta-feira – PM

Na sexta-feira a rota a realizar seria a que ficou de sexta-feira-AX pois, não se justificava fazer com o camião a deslocação com apenas 1 palete se a viatura ligeira PM estivesse disponível para o fazer:

- Rota 1) 1→77→1 (capacidade utilizada:  $0+1+0=1$  paletes → 20min)

A carrinha PM realizaria assim uma única rota na sexta-feira ficando disponível no restante dia para realizar eventuais serviços que possam surgir. A rota seria feita em apenas 20 minutos, sendo percorridos apenas 7,35 quilómetros.

Com esta última rota, todos os clientes e todas as encomendas desta semana de estudo estariam satisfeitos.

#### 4.3.6 Comparação dos resultados obtidos com o que foi efetivamente realizado pela empresa durante a semana em estudo

Para se proceder a uma adequada avaliação dos resultados obtidos, foram primeiro analisadas as rotas realizadas pela empresa de seguida, as obtidas através da utilização do *MATLAB*, mais concretamente da função *VRPSAVINGS*, juntamente com o procedimento heurístico desenvolvido aplicado, tendo sido no final comparados os resultados.

Iniciando a análise pelas rotas realizadas pela empresa, na Tabela 14 estão presentes todas as rotas identificadas pelo dia da semana e pelo carro que as efetuou. Tem também a taxa de ocupação do veículo utilizado por rota assim como, o tempo necessário e a distância percorrida.

*Tabela 14 - Rotas realizadas pela empresa durante a semana em estudo*

<b>Rotas</b>	<b>Taxa de ocupação do veículo</b>	<b>Tempo</b>	<b>Distância</b>
<u>Segunda-feira</u>			
LT: 1) 1→2→3→1	81,25%	1h24min	47,4km
5) 1→9→1	62,5%	1h18min	70,4km
8) 1→12→13→14→15→1	95,83%	2h28min	124,56km
AX: 3) 1→5→6→7→1	80%	1h52min	81,52km
7) 1→11→1	40%	42min	33,5km
9) 1→16→17→1	93,33%	1h15min	58,8km
PM: 2) 1→4→1	50%	51min	42,7km
4) 1→8→1	100%	36min	16,36km
6) 1→10→1	100%	1h04min	44,9km
10) 1→18→10→1	75%	1h16min	57,39km
11) 1→19→1	100%	20min	5,2km
<b>Total</b>	<b>em média 79,81%</b>	<b>13h06min</b>	<b>582,73km</b>
<u>Terça-feira</u>			
LT: 2) 1→21→22→1	56,25%	55min	21,94km
4) 1→24→1	62,5%	1h18min	80,5km
9) 1→29→30→31→1	100%	2h31min	113,2km
AX: 5) 1→25→1	70%	34min	13,99km
8) 1→28→1	50%	1h42min	85km
PM: 1) 1→20→1	100%	1h05min	44,9km
3) 1→23→20→1	100%	1h22min	58,63km
6) 1→26→1	100%	46min	44,7km
7) 1→27→1	100%	20min	5,2km
10) 1→32→1	75%	46min	36,3km
11) 1→20→1	100%	1h05min	44,9km
12) 1→27→1	100%	20min	5,2km
<b>Total</b>	<b>em média 84,48%</b>	<b>12h44min</b>	<b>554,46km</b>

<u>Quarta-feira</u> LT: 1) 1→33→1 5) 1→40→41→1 11) 1→48→49→50→1 AX: 2) 1→34→35→1 7) 1→44→1 13) 1→52→1 PM: 3) 1→36→1 6) 1→42→43→1 10) 1→37→47→1 12) 1→51→1 14) 1→35→1 15) 1→53→35→1 JV*: 4) 1→37→38→39→1 Serviço Externo**: 8) 1→45→1 9) 1→46→1	68,75% 100% 81,25% 70% 70% 100% 75% 62,5% 100% 75% 100% 66,67% - - -	45min 2h05min 2h09min 47min 1h10min 1h21min 29min 1h18min 1h39min 35min 20min 1h40min 1h18min 1h15min 2h34min	15,79km 70,9km 112,11km 13,1km 44,9km 84,6km 14,35km 50,09km 103,5km 27,1km 5,2km 57,21km 44,31km 53,5km 206km
Total	em média 80,76%	19h25min	902,66km
<u>Quinta-feira</u> LT: 1) 1→56→54→55→57→1 11) 1→68→1 15) 1→73→1 AX: 3) 1→59→1 5) 1→61→62→1 10) 1→67→1 14) 1→72→1 PM: 4) 1→60→1 6) 1→63→1 8) 1→65→1 9) 1→66→1 12) 1→69→70→1 13) 1→71→1 16) 1→74→1 Serviço Externo**: 2) 1→58→1 JV*: 7) 1→64→1	68,75% 100% 37,5% 80% 60% 100% 70% 50% 33,33% 100% 100% 100% 5% 25% - -	3h24min 1h15min 46min 38min 1h23min 56min 1h13min 28min 22min 1h05min 20min 1h04min 44min 1h02min 1h30min 20min	194,1km 53,5km 22,7km 12,37km 73,95km 31,3km 80,6km 10,93km 7,02km 44,9km 5,2km 35,56km 30,8km 67,3km 71,4km 7,16km
Total	em média 66,4%	16h30min	748,79km
<u>Sexta-feira</u> LT: 2) 1→77→80→81→1 6) 1→85→1 7) 1→86→1 AX: 3) 1→78→79→1 9) 1→88→1 PM: 1) 1→75→76→1 4) 1→82→83→1 5) 1→84→1 8) 1→87→1 10) 1→89→1	75% 50% 100% 80% 20% 100% 75% 100% 75% 75%	1h23min 48min 1h15min 2h13min 28min 31min 50min 1h05min 46min 52min	34,89km 22,3km 53,5km 147,9km 10,93km 4,94km 20,23km 44,9km 31,3km 35,5km
Total	em média 75%	10h11min	406,39km
Tota da semana	em média 76,96%	70h56min	3195,03km

JV\* - carro de um vendedor (entregou caixas de urgência a determinados clientes).

Serviço Externo\*\*- JPZ contratou uma empresa de transportes para realizar o transporte da mercadoria aos clientes.

Pela observação da Tabela 14 é possível verificar que cada rota, no geral, é constituída por um único cliente, sendo que algumas são compostas por dois vértices ou mais. O camião maior (LT) e o mediano (AX) raramente realizaram as 4 rotas que em média a empresa diz tentar efetuar por dia, na realidade nesta semana em média realizaram apenas 3. Pelo contrário, a carrinha (PM) fez, no mínimo por dia, 5 rotas chegando a fazer na quinta-feira 7 rotas. Os principais resultados obtidos com o método de determinação das rotas pela empresa são:

- Número de rotas feitas:  $11+12+15+16+10=64$  rotas
- Taxa de ocupação dos veículos: em média foi de 76,96%
- Tempo necessário: 70h56min
- Número de quilómetros: 3195,03km.

Analisando agora as rotas obtidas pela utilização do *MATLOG: VRPSAVINGS* e do procedimento heurístico desenvolvido, é apresentado primeiramente a Tabela 15 que contém toda a informação acerca das rotas.

*Tabela 15 - Rotas obtidas do MATLAB e do procedimento heurístico desenvolvido aplicado*

Rotas	Taxa de ocupação	Tempo	Distância
<u>Segunda-feira</u>			
LT: 6) 1→26→9→62→1	100%	1h49min	77,75km
7) 1→18→41→1	93,75%	2h01min	78,2km
15) 1→33→53→19→1	97,92%	2h13min	61,36km
15) 1→58→1	100%	1h30min	71,4km
AX: 2) 1→7→54→6→1	100%	2h29min	136,8km
4) 1→10→36→1	90%	1h29min	49,14km
5) 1→2→63→1	93,33%	1h01min	22,69km
PM: 1) 1→8→1	100%	35min	15,76km
2) 1→15→1	8,33%	50min	53,5km
Total	em média 87,04%	12h57min	566,6km
<u>Terça-feira</u>			
LT: 6) 1→11→5→16→1	100%	1h57min	74,5km
9) 1→24→73→1	100%	1h48min	86,6km
12) 1→27→59→1	100%	1h05min	16,74km
13) 1→46→1	93,75%	2h34min	206km
AX: 1) 1→56→50→55→57→1	90%	3h10min	180,41km
2) 1→71→32→39→4→37→1	84%	1h44min	45,84km
4) 1→20→1	90%	1h15min	44,9km
PM: 1) 1→30→1	50%	1h05min	58,7km
Total	em média 88,47%	14h38min	713,69km



<u>Quarta-feira</u> LT: 1) 1→48→28→13→14→1 2) 1→31→79→1 12) 1→35→1 13) 1→45→1 AX: 2) 1→34→44→1 PM: 1) 1→42→38→47→1	100% 100% 68,75% 100% 90% 77,5%	2h29min 2h05min 35min 1h15min 1h31min 2h07min	103,79km 131,4km 4,81m 53,5km 63,75km 109,69km
Total	em média 89,38%	10h02min	466,94km
<u>Quinta-feira</u> LT: 2) 1→75→29→52→1 4) 1→49→72→1 7) 1→23→22→51→66→1 10) 1→68→1 AX: 1) 1→60→65→74→40→1 2) 1→61→69→70→43→82→64→1 3) 1→67→1	100% 100% 100% 100% 90% 97% 100%	2h06min 2h02min 1h33min 1h15min 2h06min 2h34min 56min	94,16km 128,9km 31,9km 53,5km 77,52km 91,84m 31,3km
Total	em média 98,14%	12h32min	509,12km
<u>Sexta-feira</u> LT: 3) 1→25→3→84→1 5) 1→12→81→80→1 6) 1→21→17→85→88→76→1 7) 1→86→1 AX: 1) 1→83→78→89→87→1 PM: 1) 1→77→1	100% 100% 95,83% 100% 100% 25%	1h54min 1h43min 1h43min 1h15min 2h45min 20min	63,41km 52,13km 29,86km 53,5km 100,29km 7,35km
Total	em média 86,81%	9h40min	306,54km
Tota da semana	em média 89,87%	59h49min	2562,89km

Pela análise da Tabela 15 é possível verificar que para o carro LT seriam realizadas as 4 rotas por dia, e sabe-se que não seria ultrapassado em nenhum dos dias o tempo de trabalho diário do motorista. Para os restantes carros, as rotas obtidas na maioria dos casos não completam o horário do motorista, contudo ele ficaria disponível para realizar ou trabalhos urgentes, ou para auxiliar por exemplo o Senhor responsável na preparação das cargas entre outras tarefas. Assim, os principais resultados obtidos com o método de determinação com auxílio do *VRPSA VINGS* e do procedimento heurístico desenvolvido são:

- Número de rotas a realizar:  $9+8+6+7+6=36$  rotas
- Taxa de ocupação dos veículos: em média foi de 89,87%
- Tempo necessário: 59h49min
- Número de quilómetros: 2562,89km.

Comparando os dois resultados, o da empresa e o obtido com o estudo, claramente o resultado obtido com a utilização do *MATLOG: VRPSAVINGS* e do procedimento heurístico desenvolvido seria muito mais vantajoso para a JPZ. Mantendo a instância das 89 encomendas correspondentes aos 89 vértices em estudo e a utilização do *MATLAB* e de um procedimento heurístico desenvolvido, seriam realizadas menos 28 rotas correspondendo a uma diminuição de 632,14 quilómetros percorridos e 11 horas e 07 minutos de trabalho por parte dos motoristas na estrada.

A empresa recorreu 3 vezes à subcontratação de um serviço externo e, com a utilização do *MATALAB: VRPSAVINGS* e do procedimento heurístico desenvolvido para além de não ser necessário a empresa pedir ajuda externa, o número de rotas obtidas foram substancialmente menores. Estas diminuições devem-se em grande parte ao *VRPSAVINGS* procurar em cada rota obter a menor distância possível, maximizando a capacidade do veículo utilizado.

A taxa de ocupação dos veículos também aumentou. Em média, a taxa de ocupação dos carros com as rotas realizadas pela empresa foi de 76,96% e a taxa de ocupação com as rotas obtidas no estudo seria de 89,87%, representando um aumento de cerca de 13% na taxa de ocupação dos veículos. Analisando com maior detalhe as taxas de ocupação, verifica-se que cerca de **37,5% das rotas realizadas pela empresa** partiram da mesma com uma **taxa de ocupação maior ou igual a 90%**. Das **rotas obtidas no estudo** resultantes da utilização do *VRPSAVINGS* e da heurística desenvolvida, teriam início com uma **taxa de ocupação maior ou igual a 90%, cerca de 83,3% das rotas**, ou seja, uma percentagem significativamente superior comparativamente com o que foi realizado pela empresa.

#### Poupança nos custos com combustível

Com a intenção de tornar palpável a poupança que a JPZ poderia ter utilizando a metodologia desenvolvida no subcapítulo 4.3 procedeu-se ao cálculo de um dos custos variáveis que a JPZ acarreta com a distribuição de mercadorias, ou seja, as despesas com os combustíveis das 3 viaturas pertencentes à frota da empresa.

Com recurso a informação disponibilizada por Gomes et al. (2011) no relatório: “*Anexo 8: Custos internos e Externos de Mobilidade em Portugal*” e em “COMBUSTIVEL.app” (n.d.)\* foi possível obter uma estimativa dos consumos médios dos 3 veículos pertencentes à frota da JPZ. Os **consumos considerados** dizem respeito aos **consumos normais dos veículos** da JPZ. Essa mesma informação está encontra-se na seguinte Tabela 16.

Tabela 16 – Consumo médio de cada uma das viaturas da frota da JPZ

Viatura	Ano	Tipo de Combustível	Consumo (l/100km)
LT	2011	Gasóleo	38,21833
AX	2005	Gasóleo	45,63469
PM	2015	Gasóleo	10*
JV	-	Gasóleo	5,316827

Segundo os autores Gomes et al. (2011) o consumo de combustível das viaturas está sujeito a um aumento à medida que a idade dos veículos aumenta.

Os custos por veículo que a empresa teve e os que teria se fosse adotada a metodologia desenvolvida na secção 4.3, ou seja, utilização do *VRPSAVINGS* juntamente com o procedimento heurístico desenvolvido na obtenção de rotas de distribuição estão presentes na Tabela 17.

Tabela 17 – Comparação dos custos com o combustível

Viatura	Consumo médio (l/100km)	Preço do combustível (€/l)	Empresa		Metodologia desenvolvida	
			Quilómetros percorridos (km)	Custos com combustível (€)	Quilómetros percorridos (km)	Custos com combustível (€)
LT	38,21833	1,362	1037,79	1 413,47	1473,41	2 006,78
AX	45,63469	1,362	772,46	1 052,09	844,48	1 150,18
PM	10	1,362	1002,41	1 365,28	245	333,69
Outros (JV)	5,316827	1,362	51,47	70,10	0	0
Totais	-	-	2864,13	3 900,95	2562,89	3 490,66

Analisando a Tabela 17 os quilómetros totais percorridos pela metodologia adotada pela empresa não coincide com os que estão na Tabela 14 pois nesta última foram contados os quilómetros realizados pela empresa contratada para realizar o serviço externo de executar as 3 rotas presentes Tabela 14. A empresa ao contratar o serviço externo paga por cada rota um determinado valor, mantido em confidencialidade pela mesma, este depende entre muitos outros fatores, do número de clientes que a rota possui. Assim, se esses quilómetros fossem considerados nos percorridos pela empresa a diferença

de custos seria bastante superior, ainda assim, a diferença é considerável, rondando os **410,29€** numa única semana.

Se multiplicássemos pelas 48 semanas (52 semanas menos as 4 normalmente destinadas para férias em que a empresa encerra as instalações) a poupança ao fim de um ano de trabalho da JPZ, só em combustíveis, rondaria quase os **20 000€**, uma quantia considerável para qualquer empresa, em particular para uma pequena e média empresa como é o caso da JPZ Cartonagem SA.

Adotando a metodologia desenvolvida não seria só nos combustíveis que a JPZ poderia obter poupanças, teria também:

- na manutenção dos veículos;
- nas horas extras de trabalho que tem de pagar aos motoristas;
- não recorreria ao serviço externo de transporte de mercadorias, ou pelo menos, recorreria menos;
- o serviço ao cliente seria melhorado, pois o cliente teria a mercadoria encomendada no prazo de entrega pedido, sem atrasos;
- a empresa teria capacidade para aceitar mais encomendas dentro da capacidade de resposta da área de produção da empresa e do espaço do armazém para receber mais matéria-prima e organizar o produto acabado.

## 5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

Neste último capítulo são apresentadas as conclusões resultantes da realização desta dissertação, assim como algumas limitações e sugestões para o futuro da empresa.

### 5.1 Conclusões

A logística e o transporte de um modo particular representam uma das grandes fontes de despesa de uma empresa. Em qualquer empresa que preste o serviço de transporte, deter de uma gestão logística eficiente é importante para que esta possa ser competitiva e diferenciadora no mercado.

O grande objetivo desta dissertação passava por otimizar as rotas de distribuição da empresa de cartonagem - JPZ, levando a que consequentemente a empresa reduzisse os seus custos logísticos.

Foi efetuada uma revisão bibliográfica que incidiu nos temas mais importantes relacionados com o objetivo principal delineado com o intuito de perceber os estudos que têm vindo a ser feitos relacionados com a temática em estudo: o TSP e o VRP. Com esta revisão bibliográfica foi possível compreender as variantes do VRP assim como os modelos que existem e são utilizados como forma de obtenção de solução para problemas de roteamento de veículos. De seguida foi descrito o sistema de distribuição da JPZ que permitiu obter uma caracterização da frota, saber como é a organização na hora da expedição (planeadas as rotas). Adicionalmente foi realizado um levantamento de alguns problemas que se foram identificando.

Tendo toda a base necessária relativamente ao tema e à empresa, foi selecionada uma semana de trabalho da empresa e com a ajuda do *NEOS SERVER* e do *MATLAB* foram realizados estudos para obtenção de rotas tendo em conta o TSP e o VRP. No caso do VRP, mais propriamente do CVRP, que era a realidade do problema em questão, devido ao facto de a frota da JPZ ser heterógena e o *VRPSAVINGS*, utilizado no *MATLAB*, ter sido desenvolvido para uso exclusivo com frotas homogéneas, surgiu a necessidade de desenvolver um procedimento heurístico adaptado à JPZ e à função *VRPSAVINGS*. Este procedimento heurístico desenvolvido permite perante os resultados obtidos na função *VRPSAVINGS* selecionar rotas para afetar a um veículo respeitando sempre a realidade da empresa e as características dos veículos.

Os resultados obtidos da aplicação do *VRPSAVINGS* no *MATLAB* juntamente com o procedimento heurístico desenvolvido foram bastante satisfatórios. O *VRPSAVINGS* baseia-se na utilização de heurísticas nomeadamente na heurística *Clark and Wright* de 1964. Esta gera rotas em que a junção de

clientes é feita tendo em conta o fator de proximidade e de consequente poupança, respeitando contudo, o facto de os veículos possuírem uma capacidade máxima, característica de uma das variantes do VRP, o CVRP. A heurística desenvolvida permitiu afetar rotas aos 3 veículos com diferentes capacidades para os vários dias da semana em estudo de uma forma o mais realista possível. O procedimento heurístico desenvolvido informa como deve de ser conduzido o *VRPSAVINGS*, em termos de inserção correta dos dados necessários para obter rotas adaptadas ao veículo e ao dia da semana, assim como, quais os passos a seguir para se proceder à seleção das rotas a afetar ao veículo.

Após realizado o estudo foi possível comparar os resultados obtidos com o que a empresa efetivamente realizou e, para além das poupanças (estimadas) consideráveis no que respeita a combustíveis, mais de 400€/semana, o aumento da taxa de ocupação dos veículos em aproximadamente 13% é um fator muito importante a ser tido em conta. Contudo, as poupanças para a empresa poderiam ser maiores caso fosse desenvolvida uma heurística mais complexa, nomeadamente uma meta-heurística, para gerar rotas adequadas à realidade da empresa. A empresa não teria a necessidade de pagar horas extras a motoristas e também não recorreria, ou pelo menos, um menor número de vezes, à ajuda externa para efetuar as entregas de encomendas.

A empresa se recorresse ao VRP e consequentemente a um método de obtenção de solução, conseguiria ter inúmeras poupanças e aumentaria a satisfação dos seus clientes, o que perante o mercado competitivo existente, estes, são fatores cruciais para a sobrevivência de qualquer empresa.

Todavia, além da grande importância de um roteamento de veículos eficaz e eficiente para as empresas, existe também a relevância macroeconómica do roteamento de veículos que não deve de ser negligenciada. A prevenção de rotas desnecessárias ou desnecessariamente longas, com baixa utilização da capacidade dos veículos, origina um melhor fluxo de tráfego, ajuda a reduzir as emissões de  $CO_2$  e contribui de forma sustentada para a diminuição dos efeitos nocivos dos transportes.

## 5.2 Limitações

A metodologia adotada na presente dissertação, investigação-ação, impele a que a dado momento da investigação, haja implementação das ferramentas delineadas para resolver o problema. Neste caso, seria necessário realizar o teste do *VRPSAVINGS* e do procedimento heurístico desenvolvido no início de uma semana e consequente avaliação do desempenho da ferramenta pela empresa. Contudo, tal não foi possível por questões temporais e financeiras da empresa. Em termos financeiros, a empresa não possuía verbas para comprar um *software*, nomeadamente o *MATLAB*, para gerar rotas adaptado às

suas necessidades, dado ter realizado um grande investimento na construção da extensão do armazém. Devido ao espaço de tempo disponível foi possível desenvolver a metodologia desenvolvida presente neste documento adaptada à empresa, ficando por aplicar na empresa esta mesma metodologia e avaliar os resultados obtidos, assim como, efetuar eventuais ajustes na metodologia para que esta se aproxime ao máximo da realidade da empresa.

### 5.3 Sugestões para o futuro da JPZ

A JPZ é uma pequena média empresa (PME) que apresenta um notório crescimento, quer em termos de instalações, que têm vindo a ser alvo de múltiplas expansões, quer a nível de colaboradores e da necessidade de cada vez mais aumentar a equipa com colaboradores formados nas mais diversas áreas.

A área da logística e da distribuição desta empresa necessita de adquirir ferramentas que assegurem o controlo e a eficiência de todos os processos envolventes.

- Uma ferramenta essencial para ajudar o colaborador responsável pela expedição seria um *software* adaptado às necessidades da empresa, que perante as encomendas, gerasse rotas para os vários veículos. Esta ferramenta passaria por, na realidade, dar continuidade ao trabalho desenvolvido presente nesta dissertação. Ou seja, passaria pela implementação em *software* de um algoritmo adequado à realidade da empresa, ou então, através da compra de um *software* existente no mercado que proceda ao planeamento de rotas e que responda às necessidades da JPZ.

Esta ferramenta permitiria diminuir a exaustão que o colaborador apresenta pois, as rotas não teriam de ser planeadas pelo próprio. Diminuiria substancialmente o número de clientes insatisfeitos, reduziria bastante os custos que a empresa apresenta na área da distribuição (cargas mal aproveitadas, rotas planeadas para que os veículos percorram o menor número possível de quilómetros).

- Outra ferramenta importante seria a implementação de um sistema de localização de artigos no armazém, dado que, quer o responsável pela receção/expedição, quer os colaboradores que abastecem as máquinas perdem imenso tempo à procura de artigos/matérias-primas.

Cada artigo/matéria-prima que entra na empresa, entra no sistema (*software* de gestão da JPZ) através da picagem de um código de barras, que é colocado pela JPZ e que identifica

o que é e a quantidade. O problema ocorre quando se guarda esse artigo, pois a única pessoa que sabe onde ficou guardado, quando o sabe, é o responsável pela receção/expedição. Na hora de abastecer perde-se imenso tempo (às vezes 1 hora) à procura de determinada matéria-prima.

Para que tal não aconteça uma forma de contornar o problema passaria por uma atualização do *software* de gestão implementado na JPZ. Essa atualização permitiria ao responsável pela receção/expedição aquando da entrada no sistema de determinado artigo, o preenchimento de um campo em que destina o artigo para uma determinada zona do armazém.

Para tal seria necessário mais uma vez um investimento financeiro por parte da empresa nesta atualização do *software* de gestão da JPZ. Dada a impossibilidade imediata do investimento por parte da mesma, uma forma de contornar a situação temporariamente implementada na empresa, passou pela divisão do armazém por zonas (Figura 38 do Apêndice 2 – Localização de artigos no armazém, e pela anotação de artigos guardados nessas zonas num quadro (Figura 39 do Apêndice 2 – Localização de artigos no armazém.

Esta ferramenta, dada a sua precariedade, foi só aplicada à matéria-prima, contudo pensando na eventualidade de a empresa comprar a atualização e expandir a localização para o produto acabado. Esta atualização livraria o responsável pela receção/expedição de alguma da sua atual exaustão, pois a tarefa de preparação das cargas estaria um pouco mais facilitada para o mesmo.

- Por fim, uma sugestão seria a empresa de alguma forma só permitir a receção de encomendas para dado dia até uma certa hora do início da tarde do dia anterior, e deixar de aceitar encomendas para o próprio dia, a não ser em casos muito excecionais (como por exemplo, um carro totalmente disponível, ou capacidade de inserir essa encomenda numa rota existente).

A aceitação de encomendas fora dos termos mencionados anteriormente leva a uma grande incerteza por parte do responsável pela receção/expedição de encomendas no que diz respeito ao planeamento das rotas e, muitas das vezes a clientes insatisfeitos pelo não cumprimento de prazos estipulados antecipadamente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahão, F., & Soares, N. (2006). Estratégia de terceirização de serviços de transporte, 1–10. Retrieved from [http://www.prologbr.com.br/arquivos/documentos/estrategia\\_de\\_terceirizacao\\_de\\_servicos\\_de\\_transporte\\_\\_\\_parte\\_1.pdf](http://www.prologbr.com.br/arquivos/documentos/estrategia_de_terceirizacao_de_servicos_de_transporte___parte_1.pdf)
- Areias, V. M. da R. (2017). *Modelação do sequenciamento de preparação e expedição de cargas num armazém como um problema de otimização*. Universidade do Minho.
- Beamon, B. M. (1998). Supply Chain Design and Analysis : Models and Methods. *International Journal of Production Economics*, 55, 281–294. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=49B40C957F62482812D0FD701FE8F981?doi=10.1.1.129.9440&rep=rep1&type=pdf>
- Buller, L. S. (2008). *Logística Empresarial*. (L. S. Buller, Ed.). IESDE Brasil S.A. Retrieved from [https://www.academia.edu/32353958/Fundação\\_Biblioteca\\_Nacional\\_LOGÍSTICA\\_EMPRESARIAL](https://www.academia.edu/32353958/Fundação_Biblioteca_Nacional_LOGÍSTICA_EMPRESARIAL)
- Cabral, J. F. R. C. S. (2012). *Análise e conceção de modelos para o melhoramento da distribuição de uma empresa do setor agroalimentar*. Universidade do Minho.
- Cao, E., & Lai, M. (2010). The open vehicle routing problem with fuzzy demands. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2405–2411. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.07.021>
- Carvalho, J. C. (Coordenador), Guedes, A. P., Arantes, A. J. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., ... Ramos, T. (2017). Logística e Gestão Logística. In M. Robalo (Ed.), *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento (2ª)*. Lisboa: Edições Sílabo. Retrieved from [www.silabo.pt](http://www.silabo.pt)
- Casal, J. A. V. (2012). *Vehicle Routing Problems - Investigação e construção de um Sistema de Informação Geográfico*. Universidade do Minho.
- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & Vidal, T. (2014). A memetic algorithm for the Multi Trip Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 833–848. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.012>
- Coelho, L. C., & Laporte, G. (2015). Classification, models and exact algorithms for multi-compartment delivery problems. *European Journal of Operational Research*, 242(3), 854–864. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.059>
- COMBUSTIVEL.app. (n.d.). Retrieved September 10, 2019, from <https://combustivel.app/master/c>
- CSCMP. (n.d.). Council of Supply Chain Management Professionals. Retrieved August 19, 2019, from [https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921)
- Drexl, M. (2012). Rich vehicle routing in theory and practice. *Logistics Research*, 5(1–2), 47–63. <https://doi.org/10.1007/s12159-012-0080-2>
- Fernandes, A. J. S. (2012). *Aplicação de métodos heurísticos no planeamento de rotas: o caso da Tecniwood-Soluções*. Universidade do Minho.
- Ferreira, F. A. A. (2013). *Optimização de rotas dos veículos de uma empresa revendedora de materiais de construção*. Universidade do Minho.

- Gomes, P. (relator), Lopes, M. (coordenação da tarefa), Martins, H., Carvalho, J., Silva, J. V. (coordenador), & Teixeira, P. (coordenador). (2011). *Anexo 8: Custos internos e externos de Mobilidade em Portugal*. Aveiro. Retrieved from [https://ria.ua.pt/bitstream/10773/8870/1/Anexo 8 - Custos internos e externos de mobilidade em Portugal..pdf](https://ria.ua.pt/bitstream/10773/8870/1/Anexo%208%20Custos%20internos%20e%20externos%20de%20mobilidade%20em%20Portugal.pdf)
- Hurkens, C. A. J., & Woeginger, G. J. (2004). On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem. *Operations Research Letters*, *32*(1), 1–4. [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(03\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(03)00093-2)
- Kang, K. H., Lee, B. K., Lee, Y. H., & Lee, Y. H. (2008). A heuristic for the vehicle routing problem with due times. *Computers & Industrial Engineering*, *54*(3), 421–431. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.08.004>
- Kramer, R. H. F. R., Subramanian, A., & Penna, P. H. V. (2015). Problema de roteamento de veículos assimétrico com frota heterogênea limitada: um estudo de caso em uma indústria de bebidas. *Gestão & Produção*, *23*(1), 165–176. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1442-14>
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, *7*(4–5), 285–300. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00200.x>
- Laporte, Gilbert, & Semet, F. (2002). Classical Heuristics for the Capacitated VRP. In P. Toth & D. Vigo (Eds.), *The Vehicle Routing Problem* (pp. 109–128). Bologna: Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515.ch5>
- Liu, R., Jiang, Z., & Geng, N. (2014). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot open vehicle routing problem. *OR Spectrum*, *36*(2), 401–421. <https://doi.org/10.1007/s00291-012-0289-0>
- Liu, S., Huang, W., & Ma, H. (2009). An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *45*(3), 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.10.003>
- Louro, M. L. (2012). *Avaliação e otimização da rede de abastecimento de longa distância: estudo de um caso*. Universidade do Minho.
- Lysgaard, J. (1997). Clarke & Wright 's Savings Algorithm, 1–7.
- Melo, A. G. L. R. T. (2015). *A aplicação de heurísticas para melhoramento de rotas de recolha de RSU no Barreiro*. Técnico Lisboa.
- Mendoza, J. E., Castanier, B., Guéret, C., Medaglia, A. L., & Velasco, N. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, *37*(11), 1886–1898. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.06.015>
- Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2009). *Purchasing and Supply Chain Management*. (South-Western Cengage Learning, Ed.) (Fourth Edi). United States of America. Retrieved from [http://www.mim.ac.mw/books/Purchasing And Supply Chain Management 4th edition.pdf](http://www.mim.ac.mw/books/Purchasing%20And%20Supply%20Chain%20Management%204th%20edition.pdf)
- Mota, S. D. (2011). *Modelo para a gestão e controlo da entrega na distribuição logística da empresa Transbase*. Instituto Politécnico de Leiria.
- Moura, B. do C. (2006). *Logística: Conceitos e Tendências*. (B. do C. Moura, Ed.) (1ª edição). Vila Nova de Famalicão: Centro Atlântico. Retrieved from [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=ulReFI6gzugC&oi=fnd&pg=PA11&dq=moura+2006+logistica&ots=Ury00uTcG4&sig=WFRDHymu5XxByrXQrHdy1cv2fj0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=moura 2006 logistica&f=false](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=ulReFI6gzugC&oi=fnd&pg=PA11&dq=moura+2006+logistica&ots=Ury00uTcG4&sig=WFRDHymu5XxByrXQrHdy1cv2fj0&redir_esc=y#v=onepage&q=moura%202006%20logistica&f=false)

- O'Brien, R. (1998). *An Overview of the Methodological Approach of Action Research*. *Action Research*. Retrieved from [http://web.net/~robrien/papers/xx\\_ar\\_final.htm](http://web.net/~robrien/papers/xx_ar_final.htm)
- Oliveira, A. F. M. de A. (2015). *Extensões do Problema do Caixeiro Viajante*. Coimbra.
- Osman, I. H., & Laporte, G. (1996). Metaheuristics: A bibliography. *Annals of Operations Research*, 63(5), 511–623. <https://doi.org/10.1007/bf02125421>
- Pena, C. M. (2017). *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão num processo de distribuição de combustíveis*. Universidade do Minho.
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2403–2435. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.09.012>
- Reason, P., & Bradbury, H. (2001). *Handbook of Action Research: Participative Inquiry & Practice*. London: SAGE Publications. Retrieved from [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=v5TQfaZqZxEC&oi=fnd&pg=PR9&dq=handbook+of+action+research+participative+inquiry+and+practice&ots=TvOIGdE\\_Im&sig=yYIALHHvMSgBjOon167S6GtTgl&redir\\_esc=y#v=onepage&q=handbook of action research participa](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=v5TQfaZqZxEC&oi=fnd&pg=PR9&dq=handbook+of+action+research+participative+inquiry+and+practice&ots=TvOIGdE_Im&sig=yYIALHHvMSgBjOon167S6GtTgl&redir_esc=y#v=onepage&q=handbook%20of%20action%20research%20participa)
- Reis, A. R. F. (2018). *Implementação de Práticas de Melhoria Contínua numa Empresa do Setor de Transportes de Mercadorias*. Universidade do Minho.
- Rizzoli, A. E., Montemanni, R., Lucibello, E., & Gambardella, L. M. (2007). Ant colony optimization for real-world vehicle routing problems. *Swarm Intelligence*, 1(2), 135–151. <https://doi.org/10.1007/s11721-007-0005-x>
- Silva, E. F. dos S. (2016). *Otimização de custos e processos logísticos numa empresa de distribuição de bebidas*. Universidade do Minho.
- Sousa, A. S., & Asada, E. N. (2012). Uma nova abordagem branch and cut aplicada ao problema de planeamento da expansão de redes de transmissão de grande porte. *Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica*, 23(1), 108–119. <https://doi.org/10.1590/S0103-17592012000100009>
- Souza, V. A. A. de. (2013). *Algoritmos para o problema de roteamento de veículos capacitado com restrições de carregamento bidimensional*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Spoorendonk, S. (2008). *Cut and Column Generation*. *Nature*. University of Copenhagen. <https://doi.org/10.1038/332676b0>
- Sultana, T., Akhand, A. H., & Rahman, M. M. H. (2017). A Variant Fisher and Jaikumar Algorithm to Solve Capacitated Vehicle Routing Problem. In *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)* (pp. 710–716). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSCITA.2017.8066555>
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582–603. <https://doi.org/10.2118/169428-MS>
- Toth, Paolo, & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. (Paolo Toth & D. Vigo, Eds.). Bologna: Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9780898718515>
- Van Breedam, A. (1994). *An Analysis of the Behavior of Heuristics for the Vehicle Routing Problem for a selection of problems with Vehicle-related, Customer-related, and Tie-related Constraints*. *Mathematical Programming*. Antwerp.
- Vitor Nunes. (n.d.). [matematica.pt](http://matematica.pt). Retrieved June 10, 2019, from

<https://www.matematica.pt/geogebra/10-ano-distancia-pontos.php>

## APÊNDICE 1 – DADOS UTILIZADOS DOS CLIENTES E DAS ENCOMENDAS PARA O ESTUDO

Tabela 18 – Informação considerada dos 88 clientes da semana em estudo

Nº do cliente	Vértice	Coordenadas		Encomenda (paletes)	Nº do cliente	Vértice	Coordenadas		Encomenda (paletes)
		X	Y				X	Y	
1027	2	-8,319744	41,399083	8	1822	46	-8,621872	42,133458	15
211	3	-8,261562	41,363849	5	2184	47	-8,169864	41,412186	1
2254	4	-8,151287	41,465214	2	1819	48	-8,506057	41,379552	1
1910	5	-8,280774	41,270823	3	2264	49	-8,546779	41,238499	9
1090	6	-8,292693	41,264892	3	2257	50	-8,592939	41,23169	3
271	7	-8,394595	41,290085	2	2151	51	-8,37972	41,39211	3
280	8	-8,394904	41,433994	4	2150	52	-8,676805	41,500953	10
2200	9	-8,495149	41,606424	10	1093	53	-8,285707	41,458283	0,67
2192	10	-8,221699	41,368765	6	1504	54	-8,532737	41,204158	5
2156	11	-8,374018	41,365458	4	2285	55	-8,611981	41,221984	4
2248	12	-8,475372	41,442511	5	1373	56	8,430959	41,420444	1
2221	13	-8,642555	41,260762	3	2227	57	-8,536472	40,879248	1
2221	14	-8,629963	41,259939	7	1893	58	-8,562786	41,419639	16
1819	15	-8,506057	41,379552	0,33	2269	59	-8,354746	41,423666	8
347	16	-8,221771	41,328851	9	2154	60	-8,366545	41,43983	2
1806	17	-8,304099	41,418923	0,33	2200	61	-8,495149	41,606424	4
363	18	-8,18859	41,368663	1	1183	62	-8,456446	41,609499	2
660	19	-8,348487	41,468547	4	1942	63	-8,306425	41,448009	1,33
2192	20	-8,221699	41,368765	9	2033	64	-8,329932	41,475094	0,2
2280	21	-8,30555	41,43068	3	2192	65	-8,221699	41,368765	4
1397	22	-8,356239	41,394442	6	660	66	-8,348487	41,468547	4
1972	23	-8,334628	41,424443	3	2155	67	-8,20403	41,458182	10
2184	24	-8,169864	41,412186	10	519	68	-8,273331	41,370088	16
1479	25	-8,299377	41,420686	7	2268	69	-8,278479	41,548134	1
2161	26	-8,462446	41,535427	4	2080	70	-8,268131	41,565703	3
660	27	-8,348487	41,468547	8	1918	71	-8,210256	41,446596	0,2
1455	28	-8,642275	41,30987	5	1090	72	-8,292693	41,264892	7
1665	29	-8,582586	41,550196	4	2032	73	-8,289224	41,400904	6
941	30	-8,270554	41,542807	2	363	74	-8,18859	41,368663	1
2151	31	-8,683616	41,533484	10	2240	75	-8,349954	41,466459	2
2263	32	-8,178104	41,449247	3	660	76	-8,348487	41,468547	2
1322	33	-8,266863	41,455855	11	2033	77	-8,329932	41,475094	1
2154	34	-8,366545	41,43983	2	941	78	-8,270554	41,542807	2
660	35	-8,348487	41,468547	11	1906	79	-8,77003	41,641417	6
2276	36	-8,280406	41,479551	3	280	80	-8,394904	41,433994	8
1051	37	-8,1515881	41,464829	3,1	867	81	-8,401494	41,42148	3
2263	38	-8,178104	41,449247	0,1	1041	82	-8,308167	41,499541	1
2263	39	-8,178002	41,449593	0,1	1922	83	-8,334318	41,510006	2
2201	40	-8,20071	41,459034	2	2192	84	-8,221699	41,368765	4
2307	41	-8,094499	41,366335	14	1027	85	-8,319744	41,399083	8
1922	42	-8,334318	41,510006	2	519	86	-8,273331	41,370088	16
2263	43	-8,306083	41,513155	0,5	2155	87	-8,20403	41,458182	3
2192	44	-8,221699	41,368765	7	2154	88	-8,366545	41,43983	2
519	45	-8,273331	41,370088	16	2080	89	-8,268131	41,565703	3

## APÊNDICE 2 – LOCALIZAÇÃO DE ARTIGOS NO ARMAZÉM

Para localizar os artigos no armazém, numa primeira fase optou-se por apenas aplicar este princípio à matéria-prima. Para tal dividiu-se primeiro o armazém por zonas, estando o esquema representante dessa divisão na Figura 38.

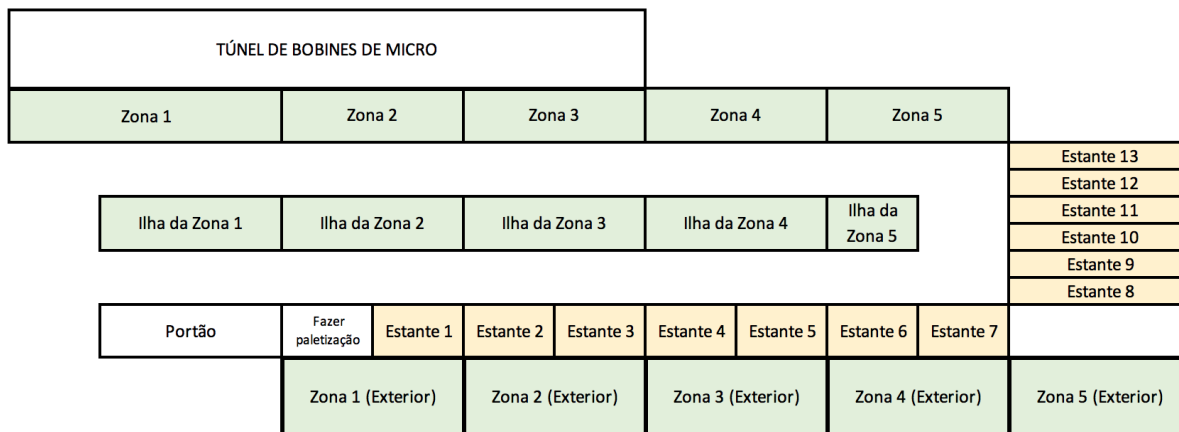


Figura 38 - Divisão do armazém

As zonas representadas pela cor verde no esquema da Figura 38 são as zonas em que por norma é armazenada matéria-prima, a amarelo estão as estantes que armazenam o produto acabado. Para anotar as localizações da matéria-prima utilizou-se um quadro inutilizado pelos responsáveis da receção/expedição e da produção Figura 39.

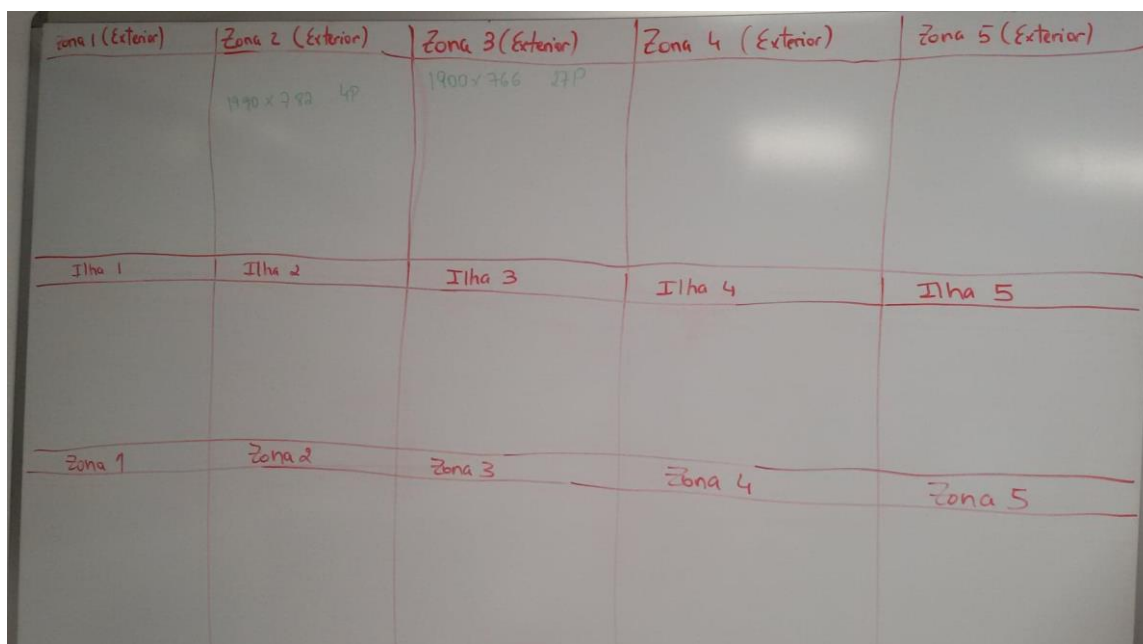


Figura 39 - Quadro destinado à anotação das localizações da matéria-prima