



Marília Marques Caiano

# Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante numa empresa de distribuição

A Heurística de Lin-Kernighan

Relatório de Estágio apresentado à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra  
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão

fevereiro de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA





FEUC FACULDADE DE ECONOMIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

**Marília Marques Caiano**

# **Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante numa empresa de distribuição**

**A Heurística de Lin-Kernighan**

Relatório de Estágio apresentado à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra para  
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão

Orientador Académico: Professor Doutor Pedro Manuel Cortesão Godinho

Supervisor Profissional: Fátima Martiniano

Entidade de Acolhimento: *Fozpost, Lda*

Coimbra, fevereiro de 2018



## Agradecimentos

Um enorme e sincero obrigada:

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Godinho pelas opiniões, conselhos e disponibilidade de tempo.

À Fátima Martiniano, que contribuiu diariamente para que eu evoluísse como profissional.

Aos meus colegas de trabalho da *Fozpost, Lda*, especialmente à Cristina e à Lina que me ajudaram a compreender melhor todo o trabalho neste setor.

A todo o pessoal docente e não docente da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra.

À Andreia, à Filipa, à Carolina e à Adriana as colegas com quem estudei, trabalhei e com quem partilhei pequenas grandes vitórias.

À Diana e ao David, os grandes companheiros com quem vivi durante quatro anos e partilhei momentos fantásticos minimizando as saudades de casa.

Aos amigos que levo de Coimbra para toda a vida.

Vocês foram determinantes para o meu sucesso!

À minha família. Aos meus pais, à Raquel e ao meu mais que tudo, o Renato, pelo apoio incondicional, pelo carinho, pelos conselhos e pela paciência.

**Muito obrigada a todos!**



## Resumo

O presente relatório diz respeito ao meu estágio curricular integrado no plano de estudos do Mestrado em Gestão da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra (FEUC). O estágio, que se enquadrou na área de Logística, decorreu de 1 de setembro de 2016 a 24 de janeiro de 2017 na *Fozpost, Lda*.

O problema do caixeiro viajante (TSP) tem como principal objetivo determinar a ordem pela qual devem ser percorridos os diversos clientes, por um veículo que sai do ponto inicial, o armazém, e regressa a este no final, de modo a minimizar a distância total percorrida. Um dos algoritmos melhor sucedidos para a resolução deste problema é o algoritmo de Lin-Kernighan, que consiste num procedimento heurístico. Esta heurística foi publicada em 1973 por Lin e Kernighan, sendo considerada um dos métodos mais eficazes para obter soluções ótimas ou quase ótimas. Atendendo a estes factos, este é o algoritmo utilizado para a obtenção de rotas ótimas ou quase ótimas neste relatório.

Os objetivos gerais do trabalho são apresentar o TSP, apresentar a entidade de acolhimento e dar conta da minha experiência enquanto estagiária da *Fozpost, Lda*. Este trabalho tem ainda o objetivo de analisar o contributo que o TSP pode dar para o quotidiano das organizações que necessitam de definir rotas para veículos e aplicar a resolução deste problema a um caso real. Fica a expectativa de que este relatório de estágio possa contribuir para incentivar as PME portuguesas deste sector a recorrer ao TSP para alcançarem melhores desempenhos. A obtenção de rotas ótimas ou próximas do ótimo poderá permitir às empresas uma poupança, no que diz respeito a: distâncias percorridas; ao consumo de gasóleo; a perdas de tempo; desgaste de carros; entre outras coisas, conduzindo a melhores desempenhos no que concerne a entregas e recolhas de encomendas bem como dos próprios estafetas uma vez que conseguem atender da melhor forma a todos os pedidos.

No estudo de caso presente neste relatório verificam-se algumas diferenças entre a rota utilizada pelo estafeta e a rota obtida pela aplicação. É de realçar que as diferenças se verificam, essencialmente, pelo facto do estafeta optar pela lógica de efetuar todas as entregas e recolhas de determinada cidade e, apenas após o cumprimento dessa lógica, mudar de cidade.

Resumo

**Palavras – chave:** Problema do caixeiro viajante; Heurística; Lin-Kernighan; minimizar a distância; rotas; soluções ótimas ou quase ótimas



## Abstract

This report concerns my curricular internship integrated in the study program of the Master of Management of the Faculty of Economics of the University of Coimbra (FEUC). The internship took place in the Logistics area of *Fozpost, Lda*, from September 1, 2016 to January 24, 2017.

The Traveling Salesman Problem (TSP) has as main objective to determine the order in which various customers are to be visited, by a vehicle that leaves the initial point, the warehouse, and returns to this point in the end, in order to minimize the total distance traveled. One of the best algorithms to solve this problem is the Lin Kernighan algorithm, which consists of a heuristic procedure. This heuristic was published in 1973 by Lin and Kernighan and is considered one of the most effective methods to obtain optimal or near optimal solutions for this problem. Given these facts, this is the algorithm used to obtain optimal or near optimal routes in this report.

The general objectives of the work are to present the TSP, present the host entity and report my experience as a trainee of *Fozpost, Lda*. This work also has the objective of analyzing the contributions that the TSP can give to the daily life of the organizations that need to define routes for vehicles and to apply the resolution of this problem to a real case. I hope that this traineeship report may help to encourage Portuguese SMEs in this sector to use the TSP to achieve better performance. Obtaining routes that are optimal or close to optimal can allow companies to achieve savings in terms of: distances traveled; fuel consumption; loss of time; car wear; among other things, leading to better performance regarding delivery and collection of orders, and also help the couriers, since they may be able to attend all requests more easily.

In the case study presented in this report there are some differences between the route used by the courier and the route obtained by the application. It should be noted that the differences are essentially due to the fact that the courier opts for the logic of visiting all clients in each city and, only after this, to travel to the next city.

**Keywords:** Traveling salesman problem; Heuristic; Lin Kernighan; minimize distance; routes; optimal or near-optimal solution



## **Lista de Siglas e Abreviaturas**

ADR – *Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route* (Acordo Europeu Relativo a Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada)

CTT – Correios de Portugal, S.A (o significado da sigla vem da antiga designação da empresa, Correios, Telégrafos e Telefones)

FEUC – Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Lda – Limitada

MRW – Mensajeros Radio Worldwide

PDA – Personal Digital Assistant

PME – Pequenas e Médias Empresas

TSP – Travelling Salesman Problem (Problema de Caixeiro Viajante)

UPS – United Parcel Service

VBA – Visual Basic for Application



# Índice de Figuras e Tabelas

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Matriz de Distâncias .....	28
<b>Figura 2</b> – Elementos da matriz de distâncias a utilizar no <i>Concorde</i> .....	30
<b>Figura 3</b> – Ficheiro TSP .....	31
<b>Figura 4</b> – Código VBA retirado da seguinte fonte – <a href="http://analystcave.com/excel-calculate-distances-between-addresses/">http://analystcave.com/excel-calculate-distances-between-addresses/</a> .....	46
<b>Figura 5</b> – Matriz de Distâncias .....	48
<b>Figura 6</b> – Matriz de Distâncias .....	49
<b>Figura 7</b> – Matriz de Distâncias .....	51

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> – Tabela de Coordenadas .....	26
<b>Tabela 2</b> – Diferença em quilómetros entre a rota do estafeta e a rota oferecida pelo <i>Concorde</i> .....	32
<b>Tabela 3</b> – Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias .....	33
<b>Tabela 4</b> – Tabela de Coordenadas .....	47
<b>Tabela 5</b> – Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias .....	48
<b>Tabela 6</b> – Tabela de Coordenadas .....	49
<b>Tabela 7</b> – Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias .....	50
<b>Tabela 8</b> – Tabela de Coordenadas .....	51
<b>Tabela 9</b> – Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias .....	52



## Sumário

<b>Introdução</b> .....	1
<b>Definição de rotas para um veículo – Problema do Caixeiro Viajante</b> .....	5
<b>2.1. Problema do Caixeiro Viajante</b> .....	6
<b>2.2. Formulação como Problema de Programação Matemática</b> .....	7
<b>2.3. Métodos Exatos ou Heurísticas</b> .....	9
<b>2.4. Heurística de Lin-Kernighan</b> .....	12
<b>Entidade de Acolhimento e Estágio</b> .....	15
<b>3.1 Apresentação da Entidade de Acolhimento</b> .....	16
<b>3.2. Estágio</b> .....	19
<b>3.3. Análise Crítica ao Estágio</b> .....	21
<b>Estudo de caso: Determinação de rotas ótimas através da aplicação <i>Concorde</i></b> .....	24
<b>Conclusão</b> .....	36
<b>Lista de Referências Bibliográficas</b> .....	41





# **Capítulo 1**

## **Introdução**

A realização de um estágio curricular, integrado no Mestrado em Gestão, corresponde a uma das iniciativas da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, cujo principal objetivo é a promoção do contacto entre os alunos e o mercado de trabalho.

O presente relatório de estágio resulta do meu estágio curricular que decorreu entre 1 de setembro de 2016 e 24 de janeiro de 2017, na empresa *Fozpost, Lda*. A *Fozpost, Lda* é uma pequena empresa localizada no concelho de Pombal com vinte funcionários, que tem como atividade a entrega e recolha de encomendas. Este estágio tinha como objetivo adquirir um conhecimento sobre a organização e a sua dinâmica de trabalho e, principalmente, sobre as suas atividades na área da gestão de rotas.

No que diz respeito às tarefas e responsabilidades, comecei por me integrar na organização e por tomar conhecimento de todos os serviços que a empresa oferece. Foram-me delegadas algumas funções diárias, tais como: registo dos reembolsos recebidos em numerário ou em cheque; identificação dos reembolsos dos clientes e proceder ao seu pagamento; pagamento dos reembolsos que pertencem a outras agências à central; elaboração dos *dossiers* para a contabilidade; arquivar documentos; documentação de envios e de recolhas; separação dos envios por zonas; análise das incidências existentes e informar os clientes dos motivos para os quais os seus envios não foram entregues; elaboração de faturas/recibo; elaboração de recibos; apoio ao departamento financeiro.

Hoje em dia, num mundo cada vez mais competitivo, torna-se cada vez mais importante para uma organização reunir todos os esforços para alcançar vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes. Dessa forma, devido ao aumento da competitividade entre empresas, são cada vez maiores as preocupações no que concerne à gestão das mesmas e qualidade dos produtos e/ou serviços prestados. A determinação de rotas ótimas ou quase ótimas tem um papel fundamental neste processo, uma vez que estas permitem à empresa uma maior rapidez nas suas entregas bem como maiores poupanças, no que diz respeito a consumo de gasóleo, tempo e desgaste de carro.

O problema de definição de uma rota para um veículo, que neste relatório será tido em conta, é conhecido como problema do caixeiro viajante (TSP). Atendendo à atividade desenvolvida pela empresa decidi optar pelo tema de determinação de rotas ótimas ou quase

ótimas através da aplicação denominada por *Concorde*, uma vez que este estudo de caso poderá culminar numa ótima vantagem para a empresa com a sua aplicação no quotidiano da mesma. A aplicação *Concorde*, cujo algoritmo para a resolução do problema é o do Lin-Kernighan, foi a escolhida pois é gratuita, pela facilidade de utilização, e tendo em conta o problema que pretende resolver, pois tal como se poderá verificar a literatura refere que se trata de um algoritmo que permite obter bons resultados.

(Baldacci et al., 2007), afirmam que o TSP é um problema clássico que tem várias aplicações, sendo o problema de otimização combinatória mais divulgado e conhecido. Tal como indica (Helsgaun, 2000), este problema tem como principal objetivo determinar a ordem pela qual devem ser percorridos os diversos clientes, por um veículo que sai do ponto inicial, o armazém, e regressa a este no final, de modo a minimizar a distância percorrida.

(Karapetyan e Gutin, 2010) comprovam que um dos algoritmos que permite uma melhor solução para o problema do caixeiro viajante é o algoritmo de Lin-Kernighan, proposto em (Lin e Kernighan, 1973). Atendendo a estes factos, este é o algoritmo utilizado para a obtenção de rotas ótimas ou quase ótimas neste relatório de estágio, sendo que o principal objetivo deste relatório é determinar rotas ótimas ou próximas disso para posterior comparação com as rotas escolhidas pelo estafeta.

O presente relatório divide-se em três capítulos essenciais. No primeiro capítulo irei apresentar alguma literatura referente ao problema do caixeiro viajante e sua resolução. No que diz respeito ao segundo capítulo passarei a apresentar a entidade de acolhimento, a explicação das tarefas desenvolvidas no estágio e, ainda, uma análise crítica à empresa onde realizei o estágio. No último capítulo irei apresentar um estudo de caso por mim realizado, analisando de que forma se poderá determinar rotas ótimas ou quase ótimas através da aplicação denominada *Concorde*, e as vantagens que a empresa pode obter através da determinação das rotas pela aplicação.



## **Capítulo 2**

# **Definição de rotas para um veículo – Problema do Caixeiro Viajante**

Neste capítulo, irei descrever o problema do caixeiro viajante, bem como algumas formas de resolução deste. Inicialmente, o problema do caixeiro viajante será descrito e, apresentada sua formulação matemática. De seguida, serão brevemente referidos alguns dos métodos usados para a sua resolução. Um desses métodos é a heurística de Lin-Kernighan, heurística utilizada na aplicação prática deste relatório.

## 2.1. Problema do Caixeiro Viajante

O problema de definição de uma rota para um veículo, que neste relatório será tido em conta, é conhecido como problema do caixeiro viajante. (Helsgaun, 2000) indica que este problema tem como principal objetivo determinar a ordem pela qual devem ser percorridos os diversos clientes, por um veículo que sai do ponto inicial, o armazém, e regressa a este no final, de modo a minimizar a distância total percorrida.

De acordo com (Matai et al., 2010) o problema do caixeiro viajante (Travelling Salesman Problem, TSP) foi estudado no século dezoito por dois matemáticos William Rowan Hamilton e Thomas Penyngton Kirkman. O trabalho destes matemáticos foi, posteriormente, apresentado e discutido no livro “Graph Theory” (Biggs et al., 1976). De acordo com estes autores, a forma geral do problema do caixeiro viajante foi estudada pela primeira vez por Karl Menger em Viena e Harvard. No entanto, o problema apenas foi apresentado posteriormente por Hassler, Whitney & Merrill. Este problema é um problema clássico que tem várias aplicações, sendo o problema de otimização combinatória mais divulgado e conhecido, (Rego et al., 2010).

O problema do caixeiro viajante é importante uma vez que existem vários problemas práticos que podem ser modelizados desta forma. Existem duas formas de resolução deste problema, algoritmos exatos e métodos aproximados. A abordagem à resolução do problema do caixeiro viajante visa encontrar uma solução ótima ou próxima do ótimo.

Primeiramente, é necessário verificar quais as características do problema em concreto que se está a analisar, pois existem dois tipos de problemas: simétricos e assimétricos, podendo

o problema do caixeiro viajante, em muitos dos casos, ser visto como um problema simétrico. Considera-se um problema simétrico quando a distância a percorrer é exatamente igual se a ligação entre duas cidades for feita num sentido ou no sentido inverso, pelo que não é necessário fazer uma distinção entre um sentido e o seu inverso. No caso de o problema ser assimétrico, as distâncias podem ser distintas.

## 2.2. Formulação como Problema de Programação Matemática

(Ropke, 2005) afirma que um dos problemas de roteamento mais simples, é provavelmente o problema do caixeiro viajante, embora seja considerado um problema “*NP-Hard*”, ou seja um problema que não pode ser resolvido em tempo polinomial.

No problema do caixeiro viajante é dado um conjunto de clientes e uma forma de medir a distância entre cada par de clientes. Desta forma, é necessário encontrar o caminho mais curto que visita todos os clientes exatamente uma vez e retorna ao nó inicial.

Segundo (Mo, 2010), considera-se  $n$  o número de clientes, e deve ter-se em conta que o ponto de partida e os clientes são nós de uma rede. O ponto de partida é identificado como nó 0, e denominado nó origem, e os nós que dizem respeito aos clientes são identificados por números de 1 a  $n$ . Deste modo, o conjunto de nós do problema é  $N = \{0; 1; \dots; n\}$ . De seguida, entre cada dois nós é definido um arco, cuja principal função é definir a distância entre dois nós.

Desta forma, conforme (Costa et al., 2010) o passo inicial na resolução deste problema deve incidir na determinação das distâncias entre cada par de nós. Pressupondo que este passo inicial já foi realizado, sendo conhecidas as distâncias  $d_{ij}$  entre todos pares de nós ( $i, j$ ) significa que, para quaisquer três nodos  $i, j, k \in N$ :

$$d_{ik} \leq d_{ij} + d_{jk}$$

Esta desigualdade deverá verificar-se se se assumir que cada arco  $(i,j)$  representa o caminho mais curto entre  $i$  e  $j$ .

Na literatura existente sobre o TSP a formulação matemática é geralmente definida usando a distância total como função a minimizar.

Função Objetivo:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} x_{ij}$$

Sujeito a:

(i)

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n, i \neq j$$

(ii)

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n, j \neq i$$

(iii)

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad S \subset \{1, \dots, n\}, 2 \leq |S| \leq n - 2$$

(iv)

$$x_{ij} = 0 \text{ ou } 1, i, j \in \{1, \dots, n\}$$

Segundo (Mo, 2010),  $d_{ij}$  corresponde à distância entre o cliente  $i$  e o cliente  $j$  e a variável inteira  $x_{ij}=1$  indica que o cliente  $j$  é visitado logo após a visita ao cliente  $i$ , caso contrário  $x_{ij}=0$ . A função objetivo corresponde à minimização do custo total do transporte. As restrições (i) e (ii) têm como principal objetivo garantir que para cada cliente  $i \in n$ , existe uma ligação de chegada e uma ligação partindo para outro cliente. A restrição (iii) serve para garantir a não existência de rotas incompletas, ou seja, rotas que não incluam todos os  $n$  clientes, e a restrição (iv) define  $x_{ij}$  como variável binária.

### 2.3. Métodos Exatos ou Heurísticas

Segundo (Karapetyan e Gutin, 2010) está provado que o problema do caixeiro viajante pertence ao conjunto de problemas NP-completos, ou seja, pertence, a uma classe de problemas difíceis cuja evolução do tempo é provavelmente exponencial. Portanto, qualquer tentativa de construir um algoritmo geral para oferecer soluções ótimas para o TSP em tempo polinomial deve, provavelmente, falhar. Deste modo, os algoritmos para resolver o problema do caixeiro viajante podem ser divididos em duas classes: algoritmos exatos e métodos aproximados.

(Helsgaun, 2000) afirma que existem muitos algoritmos para resolver o problema do caixeiro viajante, afirmando que se dividem nestes dois grandes grupos.

Os algoritmos exatos são utilizados para garantir uma solução ótima num número limitado de etapas. Como exemplos de algoritmos exatos temos: a resolução da formulação descrita na secção anterior e a programação dinâmica.

Segundo (Mo, 2010) a programação dinâmica diz respeito ao paradigma aplicado na construção de algoritmos para resolver uma determinada classe de problemas de otimização. Na programação dinâmica um dos conceitos básicos e essenciais é o conceito de estágio. Conforme

(Moura, 2000) este termo indica os instantes de tempo representativos da evolução do processo em análise. A programação dinâmica tem como principal objetivo solucionar problemas de otimização com múltiplas restrições e variáveis. De modo a que seja possível alcançar este objetivo, o problema é dividido numa sequência de estágios, fazendo-se uma otimização de dimensão menor e procurando-se uma sequência de pontos ótimos, de forma a obter uma função. A programação dinâmica ajusta o problema da seguinte forma, segundo (Moura, 2000):

A abordagem programação dinâmica molda um problema dentro da seguinte estrutura: as variáveis de decisão com as suas restrições correspondentes são agrupadas em estágios e os estágios são considerados de uma forma sequencial; as únicas informações sobre os estágios anteriores que são relevantes para selecionar valores ótimos para as variáveis de decisão correntes são guardadas em variáveis de estado; a decisão corrente, dado o estado atual do sistema, tem uma consequência previsível sobre o estado do próximo estágio; a decisão corrente é considerada ótima de acordo com o impacto previsto no estágio corrente e em todos os estágios subsequentes. (Moura, 2000)

Para determinar a solução ótima de um problema de  $n$  variáveis, a programação dinâmica divide o problema em  $n$  estágios com uma variável cada. Esta divisão em problemas com uma variável é uma vantagem uma vez que as variáveis são otimizadas uma a uma e não todas em simultâneo. Ainda assim, este algoritmo nem sempre é o melhor para resolver problemas de grande escala, tal como o problema do caixeiro viajante.

De acordo com (Ropke, 2005), os métodos aproximados obtêm boas soluções, mas não garantem que as soluções encontradas sejam ótimas. Este autor divide os métodos aproximados usados para resolver o problema do caixeiro viajante em duas classes: as heurísticas; e os algoritmos aproximativos.

As heurísticas correspondem a métodos de solução que tipicamente podem encontrar uma solução viável e com qualidade razoável. Ainda assim, não há garantias sobre a qualidade da solução. Geralmente as heurísticas são usadas para resolver problemas da vida real devido à sua velocidade e capacidade de lidar com problemas de grande dimensão.

Para (Ropke, 2005), os algoritmos aproximativos correspondem a uma classe especial das heurísticas, que se distingue por fornecerem limites para o erro máximo. Estes algoritmos permitem garantir que a solução obtida é no máximo um número determinado de vezes mais dispendiosa do que a melhor solução que se pode obter. Os algoritmos aproximativos são geralmente associados a problemas “*NP-Hard*”, uma vez que estes problemas não podem ser resolvidos em tempo polinomial, por algoritmos exatos.

A heurística do vizinho mais próximo é um exemplo das heurísticas mais conhecidas para o problema do caixeiro viajante. Esta heurística possui como regra principal o caixeiro viajante visitar sempre a localização mais próxima e que ainda não tenha sido visitada. A heurística do vizinho mais próximo consiste num algoritmo simples em que a rota a percorrer é determinada através da introdução de novos pontos, sendo que a rota inicia e termina no ponto de partida e insere os pontos a visitar consoante se encontram mais próximos. No entanto, as soluções obtidas através desta heurística nem sempre são muito boas, uma vez que, segundo (Costa et al., 2010):

Por forma a percorrer inicialmente distâncias pequenas, muitas vezes os últimos nodos a serem incluídos no caminho são muito distantes entre si e distantes do nodo origem. Assim, os últimos arcos adicionados ao caminho representam, frequentemente, distâncias grandes, conduzindo desta forma a um comprimento total do caminho relativamente elevado. Esta distância penaliza o comprimento total do caminho obtido, levando a uma solução que, não é a mais eficiente. (Costa et al., 2010)

Por fim, no que diz respeito ao algoritmo Lin-Kernighan, este é considerado um dos mais eficazes para a obtenção de rotas ótimas ou quase ótimas, tal como será referido na próxima secção.

Cada vez mais são utilizados métodos aproximados em vez de métodos exatos, devido ao aumento do número de variáveis e do número de restrições pois estes factos dificultam a resolução do problema para obtenção de uma solução ótima.

## 2.4. Heurística de Lin-Kernighan

Segundo (Helsgaun, 2000) a heurística de Lin Kernighan foi proposta em 1973, (Lin e Kernighan, 1973) sendo, de acordo com (Karapetyan e Gutin, 2010) uma das heurísticas mais bem-sucedidas para o problema do caixeiro viajante, e tendo, também sido provada a sua eficiência na sua aplicação para outros problemas.

O algoritmo de Lin-Kernighan define um conjunto de trocas ou movimentos que permitem converter uma rota noutra mais favorável. Ou seja, dada uma rota viável, o algoritmo realiza repetidamente trocas que reduzem a distância percorrida nessa rota, até chegar a uma rota para a qual nenhuma troca produz uma melhoria. Este processo pode ser repetido muitas vezes a partir de rotas obtidas de forma aleatória.

Por este motivo (Helsgaun, 2000) afirma que o algoritmo Lin-Kernighan pertence à classe dos chamados algoritmos de pesquisa local.

O algoritmo de Lin e Kernighan baseia-se num método, usado noutros problemas de grafos, que começa por dividir o conjunto de arcos em dois subconjuntos: os arcos que pertencem à solução e os que não pertencem. Nalguns problemas o procedimento seguido por este método consiste na troca de um número fixo de elementos entre estes subconjuntos, em cada iteração. O algoritmo de Lin-Kernighan generaliza esta lógica, permitindo que o número de arcos a trocar não seja definido à partida.

Até à data, ninguém encontrou um algoritmo de tempo polinomial para o problema do caixeiro viajante, segundo (Helsgaun, 2000). O Concorde, um software criado por D. Applegate, R.E. Bixby, V. Chvátal e W.J. Cook (Applegate et al., 1995, 2006), tem vindo a ser usado para resolver várias instâncias do problema do caixeiro viajante.

Atendendo à literatura analisada, o algoritmo de Lin e Kernighan parece, até agora, ser o mais eficaz em termos de qualidade da solução obtida, em particular com uma variante proposta por (Helsgaun, 2000). Esta variante proposta por (Helsgaun, 2000) foi capaz de encontrar, pela primeira vez, a solução ideal, embora na altura sem uma garantia de qualidade,

de várias instâncias do TSPLIB, uma conhecida biblioteca de problemas do caixeiro viajante descrita em (Reinelt 1991).

O algoritmo original de Lin e Kernighan tem-se mostrado razoavelmente eficaz, para problemas até 50 clientes, uma vez que a probabilidade de obter soluções ótimas numa única execução do algoritmo é próxima de 100%. Para problemas com 100 clientes, esta probabilidade diminui para entre 20% e 30%.

Atendendo a estes factos, este é o algoritmo utilizado para a obtenção de rotas ótimas ou quase ótimas neste relatório de estágio, uma vez que o principal objetivo deste relatório é determinar rotas ótimas ou próximas disso para posterior análise com as rotas escolhidas pelo estafeta.



## **Capítulo 3**

# **Entidade de Acolhimento e Estágio**

Neste capítulo, proponho-me apresentar a empresa em que estagiei, os objetivos do estágio e descrever as tarefas que me foram propostas. Posto isto, irei demonstrar e analisar a minha contribuição para o desenvolvimento das atividades inerentes à rotina da *Fozpost, Lda* e o seu contributo para o meu desenvolvimento quer pessoal quer profissional.

### 3.1 Apresentação da Entidade de Acolhimento

A *Fozpost, Lda* é uma empresa de entregas e recolhas de encomendas, que surgiu em 2003, sediada na Figueira da Foz, com apenas três funcionários, sendo dois deles os sócios gerentes. Esta ideia de negócio surgiu na sequência do retorno a Portugal do casal de sócios, a D. Fátima e o Sr. António, que eram emigrantes. Depois de voltar a Portugal, a D. Fátima teve como primeiro emprego a distribuição de correios, nos *CTT*. Após a passagem por essa ocupação profissional, ela decidiu enveredar por esse sector, optando por um *franchising* com a empresa de distribuição de encomendas, *MRW*.

Este *franchising* terminou após seis anos, uma vez que possuía algumas desvantagens para a *Fozpost*, tais como: os *royalties* a pagar à transportadora eram excessivamente altos, não permitindo aos sócios obter lucros que permitissem ter uma almofada financeira; as tabelas de preços eram fixas, não possibilitando, por exemplo, conceder descontos aos melhores clientes; apenas ser permitida a atuação da empresa no concelho da Figueira da Foz; e a obrigatoriedade de a sede se localizar na cidade da Figueira da Foz (localização muito distante da residência dos sócios) e não nos arredores.

Como forma de combater estas desvantagens, os sócios optaram por um *franchising* com outra transportadora, a *Enviália*. Esta transportadora pretendia lançar-se em Portugal, e o contrato oferecido possuía muitas vantagens para a *Fozpost Lda*, como por exemplo: permitir a flexibilização de preços; a empresa poderia obter o monopólio em várias regiões; *royalties* baixos; entre outras.

Assim, com este novo *franchising*, em fevereiro de 2009, a empresa mudou a sua sede para a Guia e passou a ter monopólio nos seguintes concelhos: Figueira da Foz, Leiria, Marinha Grande

e Ourém. Dois anos depois, a *Enviália* propôs à *Fozpost, Lda* o monopólio no concelho de Coimbra.

Com esta parceria, a *Fozpost, Lda* teve necessidade de aumentar o seu número de funcionários para quatro elementos, possuindo, nessa altura, quatro viaturas para distribuição. Devido ao aumento de trabalho, que se tem verificado desde que a empresa optou por este *franchising*, esta teve necessidade de: contratar mais funcionários, tendo, em média, contratado dois funcionários por ano; aumentar a sua frota de carros; e mudar de instalações para o Cariço, devido à falta de espaço, no ano 2012.

Neste momento, a *Fozpost, Lda*, mantém a parceria com a *Enviália*, possuindo atualmente vinte funcionários e oito carros para distribuição. Quanto aos funcionários, estes dividem-se da seguinte forma: onze distribuidores – efetuam entregas e recolhas; um plataformista – responsável pela gestão do local onde são entregues as encomendas a serem distribuídas por outras delegações *Enviália*; duas funcionárias no departamento de logística – encarregam-se de responder a *e-mails* e atendimento de chamadas com pedidos de recolhas e/ou cotação, e do seguimento de envios e de recolhas; duas comerciais – visitam os clientes, efetuando, por exemplo, questionários de satisfação; uma responsável pelo departamento de reembolsos – elabora a listagem de envios que seguiram com cobrança, regista as cobranças recebidas e efetua os respetivos pagamentos; uma funcionária no departamento financeiro – responsável por toda a faturação da empresa; e, por fim, dois gerentes.

No que diz respeito ao volume de negócios, no ano de 2016, este foi de 610.000€, sendo importante realçar que no primeiro ano deste *franchising* o volume de negócios foi de 100.000€, pelo que se conclui que está a existir um aumento significativo do volume de negócios. Embora a *Fozpost, Lda* seja considerada uma pequena empresa, verifica-se uma excelente evolução, possuindo uma carteira de clientes com mais de 1500 clientes.

Atualmente a *Fozpost Lda*, devido ao seu *franchising* com a *Enviália* e parcerias com a *UPS* e *DSV*, efetua entregas e recolhas de encomendas, possuindo soluções para qualquer parte do mundo.

A *Fozpost, Lda* possui vários tipos de serviços: 10 Horas, 13 Horas, 19 Horas, 72 Horas, 100, 200 e Entregas Sábado. No que concerne aos serviços 10, 13, 19 e 72 Horas, estes correspondem a serviços cujas entregas deverão ser efetuadas até às 10, 13 e 19 horas do dia útil

seguinte ao do despacho e 72 horas após o dia da recolha, respetivamente. Quanto ao serviço 100 – que corresponde ao serviço de avião – e 200 – que diz respeito ao serviço de camião –, estes consistem nos envios para todos os países, exceto Portugal e Espanha – uma vez que para estes países os serviços existentes são os correspondentes às modalidades anteriores. O serviço 100 garante um tempo de trânsito mais rápido e o serviço 200 pode ter um tempo de trânsito mais lento.

A *Enviália*, empresa com a qual a *Fozpost, Lda* mantém o seu *franchising* é “uma empresa que opera no setor dos transportes e serviços de mensagens urgentes especializados em *e-commerce*, logística e distribuição.”<sup>1</sup>

A *Enviália* possui algumas regras, no que diz respeito aos envios tais como: um volume não poderá exceder os cinquenta quilos, a soma das medidas do volume não poderá exceder os três metros e uma expedição não poderá ter mais do que dois metros cúbicos. A *Enviália* não tem carta *ADR* (ou seja, carta para o transporte de mercadorias perigosas e que necessitem de condições especiais), pelo que existem algumas mercadorias que não podem circular na rede tais como: matérias corrosivas ou inflamáveis; matérias explosivas; matérias venenosas; matérias radioativas; carnes, peixes, mariscos frescos, refrigerados ou congelados, e mercadorias que necessitem de frio para a sua conservação; flores, entre outros...

De forma a satisfazer os clientes e ultrapassar algumas adversidades que estas regras poderão acarretar, a *Fozpost, Lda* possui parcerias com a *UPS* – essencialmente para envios de carácter muito urgente e fora da União Europeia – e com a *DSV* – geralmente para volumes com mais de cinquenta quilos e paletes.

---

<sup>1</sup> Retirado de: <http://www.envialia.pt/envialia-servicos-de-transporte-e-servico-de-mensagens-urgentes.html> [07 de março de 2017]

## 3.2. Estágio

O estágio curricular visava a obtenção do grau de Mestre em Gestão pela Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra e decorreu sob a supervisão do próprio sócio gerente, a D. Fátima Martiniano.

Para além disso, este estágio tinha como objetivo adquirir um conhecimento sobre a organização e a sua dinâmica de trabalho e, principalmente, sobre as suas atividades na área da gestão de rotas.

Os objetivos definidos pela *Fozpost, Lda* para este estágio foram (de acordo com plano de estágio definido pela entidade de acolhimento):

- ✓ 1ª Fase: Introdução à Atividade da Empresa: Acompanhamento durante um dia, de cada função distinta na empresa;
- ✓ 2ª Fase: Introdução ao Sistema de Informação da Empresa: *software* específico do negócio; *software* de Gestão Comercial; e Arquivo Documental;
- ✓ 3ª Fase: Apoio direto à Gerência na monitorização da atividade global da empresa e na relação com a contabilidade;
- ✓ 4ª Fase: Apoio direto à Gerência na monitorização dos objetivos, no que diz respeito às rotas efetuadas e a efetuar, possíveis incertezas e respetivas medidas corretivas.

No que diz respeito às tarefas e responsabilidades por mim assumidas, comecei por me integrar na organização e por tomar conhecimento de todos os serviços que a empresa oferece.

Posto isto, foram-me delegadas algumas funções, que passarei a descrever. Uma das funções por mim realizada, dizia respeito à caixa. Todos os dias é necessário efetuar a contagem da caixa, de modo a verificar se todas as entradas e saídas de dinheiro foram registadas de forma correta. Desta forma, quando existem irregularidades é possível detetá-las e solucioná-las, evitando posteriores inconsistências na contabilidade. Ao longo do dia, são registadas, na folha diária de caixa, as compras efetuadas, as faturas de clientes recebidas e a entrada de cheques. Por fim, ao final do dia, é fundamental registar, na folha diária da caixa, o montante recebido por cada distribuidor, no que diz respeito a reembolsos, ou seja, envios entregues pelos

distribuidores com cobrança e antecipos, que corresponde a adiantamentos para pagamentos de encomendas a pedido dos clientes.

Cada vez mais, as empresas e/ou particulares enviam encomendas à cobrança, pelo que é fundamental que exista um registo de todos os reembolsos recebidos, tanto em numerário como em cheque, bem como identificar os que pertencem aos clientes da *Fozpost, Lda*. Posto isto, deverá proceder-se ao pagamento dos reembolsos aos clientes da empresa e os restantes à central da *Enviália*, que encaminhará os reembolsos para as respetivas empresas responsáveis por determinada zona. Desta forma, o pagamento dos reembolsos recebidos diretamente aos nossos clientes e dos restantes à central da *Enviália*, corresponde a outra tarefa que me foi delegada.

No que diz respeito à sua contabilidade, a *Fozpost, Lda* delegou-a a um gabinete de contabilidade externo, pelo que é necessário que sejam reunidos todos os documentos, separando-os tendo em conta se se tratam, por exemplo, de compras a fornecedores, extratos bancários, faturas emitidas, entre outras. Esta constituiu uma outra tarefa que me foi atribuída.

Uma outra função que também me foi atribuída diz respeito à atividade da empresa, ou seja entrega de encomendas e recolhas. Todos os dias é necessário inserir no sistema informático os envios correspondentes às recolhas efetuadas pelos estafetas nos nossos clientes, ou em locais solicitados por outros centros. Assim, no final do dia, independentemente do departamento de cada funcionário, todos os funcionários concentram as suas atividades no despacho dos envios, tanto na documentação de envios, como na separação dos mesmos por zonas. No meu caso, foi-me solicitado que auxiliasse na documentação de envios. Para o correto funcionamento da empresa, e para que todos os clientes se mantenham satisfeitos, é fundamental que haja um acompanhamento dos envios, pois se existirem dificuldades na entrega, o cliente remetente deverá ser informado e, desse modo, deve ser dada uma resposta o mais breve possível. Posto isto, e embora estas funções digam respeito essencialmente ao departamento de logística, por vezes, devido ao excesso de trabalho, é necessário auxiliar este departamento, sendo esta uma tarefa realizada por mim.

Tendo por base o mestrado que frequentei, também, pedi que prestasse auxílio ao departamento financeiro, uma vez que a carteira de clientes é cada vez maior tal como o volume de faturação. Deste modo, em conjunto com a responsável do departamento,

encarreguei-me de elaborar faturas, faturas/recibos, recibos, notas de crédito, e outros documentos relacionados.

### **3.3. Análise Crítica ao Estágio**

A possibilidade de fazer um estágio constitui um complemento à formação académica obtida por mim na FEUC.

No que diz respeito aos objetivos que defini para alcançar neste estágio destaco os seguintes: o conhecimento do mercado de trabalho, a aplicação e complemento de conhecimentos adquiridos tanto na licenciatura como no mestrado.

No que concerne ao meu processo de integração, este foi rápido e simples, uma vez que a equipa da *Fozpost, Lda* é muito acessível, o que permite uma fácil adaptação. A D. Fátima, bem como as colegas dos departamentos mais próximos – financeiro e logístico – orientaram-me e deram-me sugestões para melhorar.

Quanto às dificuldades sentidas, estas dizem respeito, sobretudo, ao primeiro contacto com a empresa e todo o seu meio envolvente, uma vez que se tratava de uma área com a qual não estava muito familiarizada.

Este estágio serviu para promover o meu desenvolvimento pessoal e profissional. Desta forma penso ter melhorado as minhas competências, nomeadamente, ao nível da gestão de tempo, organização e capacidade de auxiliar vários departamentos, o que me permitiu obter uma melhor preparação para o futuro. Posto isto a minha experiência de trabalho na *Fozpost, Lda* foi bastante positiva e enriquecedora.

Relativamente às aprendizagens no estágio, posso afirmar que a partilha regular de conhecimentos e a autonomia que me foi dada foram determinantes para realizar o meu trabalho com maior confiança. Por consequência, procurei contribuir com ideias e partilhar o meu conhecimento, tendo-me esforçado, todos os dias, por crescer a nível pessoal e profissional e adquirir todos os conhecimentos novos.

No que concerne às minhas sugestões relativamente à *Fozpost, Lda*, nesta empresa deverá existir uma melhor comunicação interna, pois por vezes ocorrem algumas falhas a esse nível, ou seja, deverá existir uma melhor comunicação entre os departamentos/colegas de trabalho, de modo a que, por exemplo, os colegas do mesmo departamento não estejam a realizar a mesma tarefa ao mesmo tempo. Seria, também, do interesse da entidade a implementação de um manual de procedimentos, de forma a facilitar a organização e cumprimentos de todos os procedimentos instituídos nas diversas áreas funcionais. Este manual permitirá que funcionários novos, ou que estejam a substituir outros, tenham uma maior facilidade na compreensão das tarefas desempenhadas em cada departamento. Sugiro, também, que haja uma melhor gestão financeira, fazendo um acompanhamento adequado das cobranças a clientes pois quando a gestão de cobranças não é boa, poderá existir um montante de incobráveis a crescer continuamente. Posto isto, sugiro que quando surge um cliente novo existam duas hipóteses: no caso de ser particular, este deve efetuar o pagamento aquando do pedido do serviço; se se tratar de uma empresa então deverá existir um maior controlo, de modo a verificar se a fatura não excede a data limite de pagamento.

O reconhecimento do meu trabalho na *Fozpost, Lda* resultou num contrato de trabalho de pelo menos um ano, pelo que, neste momento integro esta equipa.



## **Capítulo 4**

### **Estudo de caso: Determinação de rotas ótimas através da aplicação *Concorde***

Neste capítulo, irei fazer a aplicação de um modelo e algoritmo inseridos no tema escolhido para a revisão bibliográfica, tendo por base a realidade da empresa, em que efetuei o meu estágio. Pretendo verificar se o problema do caixeiro viajante permite obter uma rota mais vantajosa, principalmente em termos de distâncias, para a empresa. Posteriormente, irei analisar de que forma a poupança, no que diz respeito às distâncias, se poderá refletir numa poupança de custos.

A aplicação computacional utilizada, recorre a uma heurística que permite obter rotas que, em princípio, apresentarão uma distância total próxima da das rotas ótimas. No entanto, de modo a simplificar a explicação ao longo do texto será utilizada a expressão “rotas ótimas” em substituição de “rotas quase ótimas”.

Todos os dias, oito estafetas da *Fozpost, Lda* têm como principal função a entrega e recolha de mercadorias. Cada estafeta possui um *PDA* com o qual poderá identificar a mercadoria, obtendo uma listagem de entregas. Para além das recolhas a efetuar, através dessas listagens estes organizam as suas rotas, de acordo com a sua experiência e conhecimento. Vão comparar-se as rotas obtidas através da resolução do problema do caixeiro viajante com as rotas efetuadas pelos estafetas, verificando quais são as mais vantajosas para a empresa.

Note-se que a obtenção de melhores rotas poderá permitir à empresa uma poupança, no que diz respeito: ao consumo de gásóleo; a perdas de tempo; desgaste do carro; entre outras coisas.

Após uma busca intensiva na *internet* acerca de aplicações que permitam obter rotas ótimas, concluiu-se que a aplicação denominada *Concorde* seria a mais indicada, por ser gratuita, pela facilidade de utilização e, tendo em conta o problema que pretende resolver, pois esta aplicação utiliza o algoritmo de Lin-Kernighan que de acordo com a literatura, permite obter bons resultados.

O primeiro passo na elaboração da aplicação consistiu na escolha da rota de um dos oito estafetas. Devido ao facto das rotas serem variáveis – os locais das entregas diferem todos os dias – necessitei de obter as rotas de quatro dias diferentes. O estafeta indicou-me a rota que iria optar por fazer, nos dias que foram por mim selecionados. De seguida e, tendo por base os dados

recolhidos, foi fundamental obter as coordenadas<sup>2</sup> de cada ponto, de modo a possibilitar a elaboração de uma lista com os pontos a visitar e a ordem de visita seguida pelo estafeta, tal como se pode observar na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de Coordenadas. Fonte: Elaboração própria

Armazém	Armazém	40.0561276,-8.8849628
Ponto 1	Rua Jacinto Marto	39.628496,-8.6687485
Ponto 2	Centro João Paulo II	39.6211062,-8.6670639
Ponto 3	Avenida Beato Nuno 361	39.6357641,-8.6708375
Ponto 4	Value Ceramic SA	39.6233314,-8.7162552
Ponto 5	Viagens Abreu – Av.Beato Nuno 17	39.626903, -8.665021
Ponto 6	Olimpio do Rosario e Filhos, Lda	39.5808462, -8.6410798
Ponto 7	Rua Alexandre Herculano - Torres	39.4793867, -8.5370666
Ponto 8	Viagens Abreu	39.475488, -8.533662
Ponto 9	Almandoute, Lda	39.475143, -8.525995
Ponto 10	Tipografia Central do Entro.	39.4649439, -8.4708244
Ponto 11	Ready Solutions, Lda	39.4588271, -8.4960958
Ponto 12	Irmãos Tomás Bento, Lda	39.46228, -8.468043
Ponto 13	ITMP Alimentar	39.4359254, -8.6298405
Ponto 14	Princess Details Unip. Lda	39.4584178, -8.6680945
Ponto 15	Rua A 17, Alcanena	39.4575019, -8.6621686
Ponto 16	Rua do Moinho 485, Alcanena	39.4916975, -8.6622091
Ponto 17	Softcouro	39.4579715, -8.6779653
Ponto 18	Miguel Oliveira Sucessores, Lda	39.4731159, -8.6747621
Ponto 19	Decorpele	39.4554227, -8.6803579
Ponto 20	Rua Principal 522 Espinheiro	39.4186851, -8.7430985
Ponto 21	Farmacia Central, Lda Tremês	39.3585014, -8.7601468
Ponto 22	J.J. Louro Pereira SA, Abra	39.4444552, -8.765844
Ponto 23	Dikarlo	39.5397448, -8.710065
Ponto 24	Rua Egas Moniz 131, Mira D'.	39.5394833, -8.7109658
Ponto 25	Rua das Serradinhas, 261	39.5464116, -8.717789
Ponto 26	Armazém	40.0561276,-8.8849628

A partir desta lista foi elaborada uma matriz de distâncias entre todos os pontos a visitar. Na Figura 1 apresenta-se, como exemplo, a matriz obtida para um dia específico. Cada elemento desta matriz corresponde à distância entre dois pontos a visitar pelo estafeta, no dia considerado.

<sup>2</sup> Foi utilizado o seguinte sítio da internet para obter as coordenadas: <http://www.mapcoordinates.net/pt> [07 de novembro de 2017]

A obtenção destas distâncias foi feita no *Microsoft Excel*, recorrendo a um código de *VBA*<sup>3</sup>, disponível na *Internet* e apresentado no anexo 1. Note-se que estas distâncias são calculadas como distâncias por estrada, não como distâncias em linha reta.

---

<sup>3</sup> O código *VBA* foi obtido a partir da seguinte fonte: <http://analystcave.com/excel-calculate-distances-between-addresses/> [07 de novembro de 2017]

## Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante numa empresa de distribuição

### Capítulo 4 – Estudo de caso: Determinação de rotas ótimas através da aplicação *Concorde*

Figura 1: Matriz de distâncias. Fonte: Elaboração própria

	Armazém	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13	Ponto 14	Ponto 15	Ponto 16	Ponto 17	Ponto 18	Ponto 19	Ponto 20	Ponto 21	Ponto 22	Ponto 23	Ponto 24	Ponto 25	Ponto 26
Armazém	0	68978	69034	68787	70946	68712	74012	96623	96839	97014	101313	98966	108812	94769	93286	93230	91421	94290	94542	94724	106994	112614	104635	81789	81815	80757	0
Ponto 1	68676	0	1031	1210	6082	378	6010	35196	35412	35587	39887	37539	47385	33342	31859	31803	29994	32863	33115	33297	45567	51187	43208	16596	16700	14236	68676
Ponto 2	68922	1006	0	1935	6328	741	5638	25280	35658	35833	40133	37785	47632	33588	32105	32049	30240	31019	33361	33543	45813	51433	43454	16224	16328	13864	68922
Ponto 3	68072	1230	1991	0	4511	1189	6970	34592	34808	34983	39282	36935	46781	32738	31255	31199	29390	32259	32511	32693	44963	50583	42604	17556	15693	14635	68072
Ponto 4	69744	5770	5826	6283	0	5505	10805	36264	36480	36655	40955	38607	48454	34410	32927	32871	31062	33931	34183	34365	46635	52255	44276	11638	11664	10606	69744
Ponto 5	68447	531	802	1194	5853	0	5780	34966	35183	35358	39657	37310	47156	33113	31630	31673	29765	32634	32885	33068	45337	50958	42979	16366	16471	14007	68447
Ponto 6	73905	5989	5642	6918	9398	5724	0	20995	20830	20504	26750	24682	27541	24659	18215	18771	14110	19578	16728	19860	31503	42504	28290	10921	11025	12047	73905
Ponto 7	96647	34739	34795	34548	36707	34474	20159	0	1147	2499	8745	6677	9537	12104	14232	14175	12367	15235	15487	15669	27939	29949	25581	20294	20398	21420	96647
Ponto 8	96500	34592	34648	34401	36561	34327	20017	1990	0	2358	8062	5994	8853	17952	16103	16046	14238	17106	17358	17540	29810	35797	27452	22165	22269	23291	96500
Ponto 9	97180	35272	35328	35081	37241	35007	20504	2766	3105	0	6246	4178	7037	18632	16783	16726	14918	17786	18038	18220	30490	36477	28132	22845	22949	23971	97180
Ponto 10	101208	39299	39355	39109	41268	39034	26994	9257	7932	6491	0	2962	1325	22659	20810	20754	18945	21814	22066	22248	34518	40504	32159	26872	26977	27999	101208
Ponto 11	99219	37311	37367	37120	39279	37046	24633	6896	5144	4130	2669	0	3461	20671	18822	18765	16957	19825	20077	20259	32529	38516	30170	24884	24988	26010	99219
Ponto 12	101983	40074	40130	39883	42043	39809	27769	10031	8707	7265	1336	3737	0	23434	21585	21528	19720	22589	22840	23023	35292	41279	32934	27647	27751	28774	101983
Ponto 13	94047	32138	32194	31948	34107	31873	24506	12238	17439	17615	21914	18567	29413	0	7610	4447	9382	5440	8866	5874	17176	18658	15785	18799	18904	19928	94047
Ponto 14	91990	30081	30137	29891	32050	29816	18057	14304	15841	16017	20316	17969	27815	4948	0	770	4201	1004	3085	1438	13707	13256	11349	12350	12455	13477	91990
Ponto 15	91956	30048	30104	29857	32016	29783	18592	14270	15808	15983	20282	17935	27781	4446	793	0	4737	1797	3621	2231	14500	20049	12142	12886	12990	14012	91956
Ponto 16	90252	28343	28399	28153	30312	28078	13953	12566	14103	14279	18578	16231	26077	10868	4202	4759	0	5565	2715	5847	17491	28713	14277	8246	8351	9373	90252
Ponto 17	93022	31113	31169	30922	33082	30848	19393	15335	16873	17048	21348	19000	28847	5474	1032	1802	5537	0	2784	504	12773	19193	10345	13687	13791	14813	93022
Ponto 18	93301	31393	31449	31202	33361	31128	16609	15615	17153	17328	21627	19280	29126	8774	2971	3527	2754	2850	0	3132	14775	21566	11562	10903	11007	12030	93301
Ponto 19	93456	31547	31603	31356	33516	31282	19522	15769	17307	17482	21782	19434	29281	5908	1466	2236	5667	504	3052	0	12462	19627	10614	13816	13920	14943	93456
Ponto 20	104000	42091	42147	41901	44060	41826	29703	28555	27851	28027	32326	29979	39825	17195	12010	12780	15848	11048	13094	10736	0	9400	6704	23997	24101	25123	104000
Ponto 21	111847	49938	49994	49748	51907	49673	42306	30038	35239	35415	39714	37367	47213	18678	19189	19959	27782	19168	21951	19264	9354	0	11977	36599	36704	37726	111847
Ponto 22	103361	41453	41509	41262	43421	41188	28236	25675	27213	27388	31687	29340	39186	15813	11372	12141	14380	10340	11627	10622	6704	12196	0	22530	22634	21305	103361
Ponto 23	80899	16575	16228	17504	11658	16310	10779	20503	22041	22216	26515	24168	34014	18806	12361	12918	8257	13724	10875	14007	25650	36651	22436	0	122	1232	80899
Ponto 24	80925	16679	16332	17608	11684	16414	10883	20607	22145	22320	26620	24272	34118	18910	12466	13022	8361	13829	10979	14111	25754	36755	22541	95	0	1259	80925
Ponto 25	79867	14192	13845	15815	10626	13927	11905	21630	23167	23343	27642	25295	35141	19932	13488	14045	9383	14851	12001	15133	26776	37777	21410	1232	1259	0	79867
Ponto 26	0	68978	69034	68787	70946	68712	74012	96623	96839	97014	101313	98966	108812	94769	93286	93230	91421	94290	94542	94724	106994	112614	104635	81789	81815	80757	0

A aplicação *Concorde* está definida para o problema do caixeiro viajante simétrico, isto é, assumindo que as distâncias entre dois pontos são as mesmas independentemente do sentido do percurso. Na verdade, como se pode constatar na Figura 1 há, em geral, pequenas diferenças entre as distâncias consoante o sentido em que o percurso é efetuado (o que se justifica, por exemplo, pela existência de vias de sentido único). Assumiu-se que estas diferenças, por serem pequenas, não teriam um impacto significativo sobre as rotas obtidas. No entanto, para assegurar que os resultados são rigorosos, as distâncias nas rotas obtidas são depois recalculadas tendo em conta o sentido do percurso. Isto é, utiliza-se apenas um sentido para definir as rotas no *Concorde* mas, para aferir a qualidade da solução, as distâncias que são usadas são as verdadeiras distâncias, tendo por base o sentido do percurso que está a ser prescrito na solução. Devido ao pressuposto de as distâncias serem as mesmas nos dois sentidos, a aplicação assume que apenas os elementos da diagonal principal da matriz de distâncias, e os elementos abaixo desta, são fornecidos. Assim, a matriz apresentada na Figura 1 teve de ser adaptada, eliminando-se os pontos existentes acima da diagonal principal, tendo sido obtida a matriz apresentada na Figura 2.

## Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante numa empresa de distribuição

### Capítulo 4 – Estudo de caso: Determinação de rotas ótimas através da aplicação *Concorde*

Figura 2: Elementos da matriz de distâncias a utilizar no Concorde. Fonte: Elaboração própria

	Armazém	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13	Ponto 14	Ponto 15	Ponto 16	Ponto 17	Ponto 18	Ponto 19	Ponto 20	Ponto 21	Ponto 22	Ponto 23	Ponto 24	Ponto 25	Ponto 26
Armazém	0																										
Ponto 1	68676	0																									
Ponto 2	68922	1006	0																								
Ponto 3	68072	1230	1991	0																							
Ponto 4	63744	5770	5826	6283	0																						
Ponto 5	68447	531	802	1194	5853	0																					
Ponto 6	73905	5989	5642	6918	9398	5724	0																				
Ponto 7	96647	34739	34795	34548	36707	34474	20159	0																			
Ponto 8	96500	34592	34648	34401	36561	34327	20017	1990	0																		
Ponto 9	97180	35272	35328	35081	37241	35007	20504	2766	3105	0																	
Ponto 10	101208	39299	39355	39109	41268	39034	26994	9257	7932	6491	0																
Ponto 11	99219	37311	37367	37120	39279	37046	24633	6896	5144	4130	2669	0															
Ponto 12	101983	40074	40130	39883	42043	39809	27769	10031	8707	7265	1336	3737	0														
Ponto 13	94047	32138	32194	31948	34107	31873	24506	12238	17439	17615	21914	19567	29413	0													
Ponto 14	91990	30081	30137	29891	32050	29816	18057	14304	15841	16017	20316	17969	27815	4948	0												
Ponto 15	91956	30048	30104	29857	32016	29783	18592	14270	15808	15983	20282	17935	27781	4446	793	0											
Ponto 16	90252	28343	28399	28153	30312	28078	13953	12566	14103	14279	18578	16231	26077	10868	4202	4759	0										
Ponto 17	93022	31113	31169	30922	33082	30848	19393	15335	16873	17048	21348	19000	28847	5474	1032	1802	5537	0									
Ponto 18	93301	31393	31449	31202	33361	31128	16609	15615	17153	17328	21627	19280	29126	8774	2971	3527	2754	2850	0								
Ponto 19	93456	31547	31603	31356	33516	31282	19522	15769	17307	17482	21782	19434	29281	5908	1466	2236	5667	504	3052	0							
Ponto 20	104000	42091	42147	41901	44060	41826	29703	28555	27851	28027	32326	29979	39825	17195	12010	12780	15848	11048	13094	10736	0						
Ponto 21	111847	49938	49994	49748	51907	49673	42306	30038	35239	35415	39714	37367	47213	18678	19189	19959	27782	19168	21951	19264	9354	0					
Ponto 22	103361	41453	41509	41262	43421	41188	28236	25675	27213	27388	31687	29340	39186	15813	11372	12141	14380	10340	11627	10622	6704	12196	0				
Ponto 23	80899	16575	16228	17504	11658	16310	10779	20503	22041	22216	26515	24168	34014	18806	12361	12918	8257	13724	10875	14007	25650	36651	22436	0			
Ponto 24	80925	16679	16332	17608	11684	16414	10883	20607	22145	22320	26620	24272	34118	18910	12466	13022	8361	13829	10979	14111	25754	36755	22541	95	0		
Ponto 25	79867	14192	13845	15815	10626	13927	11905	21630	23167	23343	27642	25295	35141	19932	13488	14045	9383	14851	12001	15133	26776	37777	21410	1232	1259	0	
Ponto 26	0	68978	69034	68787	70946	68712	74012	96623	96839	97014	101313	98966	108812	94769	93286	93230	91421	94290	94542	94724	106994	112614	104635	81789	81815	80757	0

Capítulo 4 – Estudo de caso: Determinação de rotas ótimas através da aplicação *Concorde*

Posteriormente, usei a aplicação *Concorde* para definir uma rota ótima.

Esta aplicação pode ser usada de duas formas: efetuando a instalação no computador ou *online*. Inicialmente, tentou-se fazer a instalação da aplicação, no entanto devido a alguns problemas de configuração esta opção não foi possível. Consequentemente, tive de optar pela versão *online*<sup>4</sup> que permite o uso desta aplicação, sem que seja necessária a instalação. O *Concorde* necessita que o ficheiro submetido possua um formato específico para problemas do caixeiro viajante, designado por formato TSP, que utiliza os mesmos elementos da matriz distâncias que se mostram na Figura 2. Um exemplo e conteúdo de um ficheiro em formato TSP, é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Ficheiro TSP. Fonte: Elaboração própria

```

NAME: rotal
TYPE: TSP
COMMENT: rotal
DIMENSION: 27
EDGE_WEIGHT_TYPE: EXPLICIT
EDGE_WEIGHT_FORMAT: LOWER_DIAG_ROW
EDGE_WEIGHT_SECTION
0
68676 0
68922 1006 0
68072 1230 1991 0
69744 5770 5826 6283 0
68447 531 802 1194 5853 0
73905 5989 5642 6918 11311 5724 0
96647 34739 34795 34548 36707 34474 20159 0
96500 34592 34648 34401 36561 34327 20017 1990 0
97180 35272 35328 35081 37241 35007 20504 2766 3105 0
101208 39299 39355 39109 41268 39034 26994 9257 7932 6491 0
99219 37311 37367 37120 39279 37046 24633 6896 5144 4130 2669 0
101983 40074 40130 39883 42043 39809 27769 10031 8707 7265 1336 3737 0
94047 32138 32194 31948 34107 31873 24506 12238 17439 17615 21914 19567 22705 0
91990 30081 30137 29891 32050 29816 18057 14304 15841 16017 20316 17969 21107 7463 0
91956 30048 30104 29857 32016 29783 18592 14270 15808 15983 20282 17935 21074 4446 793 0
90252 28343 28399 28153 30312 28078 13953 12566 14103 14279 18578 16231 19369 10868 4202 4759 0
93022 31113 31169 30922 33082 30848 19393 15335 16873 17048 21348 19000 22139 8495 1032 1802 5537 0
93301 31393 31449 31202 33361 31128 16609 15615 17153 17328 21627 19280 22419 8774 2971 3527 2754 2850 0
93456 31547 31603 31356 33516 31282 19522 15769 17307 17482 21782 19434 22573 8929 14666 2236 5667 504 3287 0
105752 43843 43899 43653 45812 43578 30721 28066 29603 29779 34078 31731 34869 17195 13762 14532 16866 12800 14112 12488 0
129015 67107 67163 66916 69075 66842 42306 30038 35239 35415 39714 37367 40505 18678 19189 19959 23390 19168 21951 19264 9354 0
103361 41453 41509 41262 43421 41188 28236 25675 27213 27388 31687 29340 32479 18834 11372 12141 14380 10340 11627 10622 6704 12196 0
80899 17786 17439 18715 11658 17521 11990 20503 22041 22216 26515 24168 27307 18806 12361 12918 8257 13724 10875 14007 24939 36651 22436 0
80925 17890 17543 18819 11684 17625 12094 20607 22145 22320 26620 24272 27411 18910 12466 13022 9361 13829 10979 14111 25043 36755 22541 95 0
79867 14192 13845 15121 10626 13927 13116 21630 23167 23343 27642 25295 28433 19932 13488 14045 9383 14851 12001 15133 26065 37777 23563 1232 1259 0
0 68978 69034 68787 70946 68712 74012 96623 96839 97014 101313 98966 102105 94769 93286 93230 91421 94290 94542 94724 106994 112614 104635 81789 81815 80757 0
EOF
    
```

No sítio da *internet*, escolhemos o nosso algoritmo, neste caso trata-se do Lin-Kernighan, uma vez que este é considerado um dos mais eficazes para a obtenção de rotas ótimas ou quase ótimas e, inserimos o ficheiro TSP submetendo-o.

Seguidamente, é dada a rota ótima, pelo que foi fundamental verificar se esta conduz a uma poupança em termos de distância e de tempo em simultâneo e, se é realmente possível de realizar – se não existem restrições em termos de horários para entregas e recolhas. Para tal,

<sup>4</sup> <https://neos-server.org/neos/solvers/co:concorde/TSP.html> [07 de novembro de 2017]

questionei o estafeta quanto às situações apresentadas anteriormente, sendo confirmada a possibilidade de efetuar a rota da forma apresentada pela aplicação. Desta forma, calculei os quilómetros percorridos tendo em conta dois tipos de rotas: a obtida pela aplicação (com comprimento corrigido das pequenas variações devidas ao sentido do percurso); e, a praticada pelo estafeta.

Assim sendo, verifiquei que se obteve sempre uma poupança em termos de quilómetros e, conseqüentemente consumo de gásóleo, desgaste do veículo e tempo. Essa poupança, no que diz respeito a quilómetros, compreende-se entre 20 e 70, tal como se pode verificar na tabela, por mim elaborada, abaixo apresentada. Na Tabela 2 é possível verificar a diferença de quilómetros existente entre a rota organizada pelo estafeta e a rota apresentada pelo *Concorde*.

Tabela 2: Diferença em quilómetros entre a rota do estafeta e a rota oferecida pelo *Concorde*

	<b>Rota – Estafeta</b>	<b>Rota – Concorde</b>	<b>Diferença</b>
<b>Rota – Dia 1</b>	310,354 km	272,440 km	37,914 km
<b>Rota – Dia 2</b>	358,929 km	295,732 km	63,197 km
<b>Rota – Dia 3</b>	287,773 km	265,906 km	21,867 km
<b>Rota – Dia 4</b>	314,866 km	293,853 km	21,013 km
<b>Total</b>	<b>1271,922 km</b>	<b>1127,931 km</b>	<b>143,991 km</b>

A tabela a seguir representada, Tabela 3, reflete a poupança existente entre a rota efetuada pelo estafeta e a rota apresentada pela aplicação, em termos de distâncias (relativamente à rota cujas coordenadas foram apresentadas na Tabela 1). No entanto, esta tabela refere-se apenas à rota de um dos quatro dias. Cálculos semelhantes são apresentados, para as rotas dos restantes dias, no Anexo 2. É de realçar que estas diferenças se verificam, essencialmente, pelo facto do estafeta optar pela lógica de efetuar todas as entregas e recolhas de determinada cidade e, apenas após o cumprimento dessa lógica, mudar de cidade.

Tabela 3: Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias.  
Fonte: Elaboração própria

Rota – Estafeta				Rota – Concorde			
Pontos de Entrega		Localidades	Distância em Km	Pontos de Entrega		Localidades	Distância em Km
Armazém	Ponto 1	Santarém	68,978	Armazém	Ponto 4	Fátima	70,946
Ponto 1	Ponto 2	Fátima	1,031	Ponto 4	Ponto 25	Mira D'Aire	10,606
Ponto 2	Ponto 3	Fátima	1,931	Ponto 25	Ponto 24	Mira D'Aire	1,259
Ponto 3	Ponto 4	Fátima	4,511	Ponto 24	Ponto 23	Mira D'Aire	0,095
Ponto 4	Ponto 5	São Mamede	5,505	Ponto 23	Ponto 16	Alcanena	8,257
Ponto 5	Ponto 6	Fátima	5,780	Ponto 16	Ponto 18	Vila Moreira	2,715
Ponto 6	Ponto 7	Torres Novas	20,995	Ponto 18	Ponto 15	Alcanena	3,527
Ponto 7	Ponto 8	Torres Novas	1,147	Ponto 15	Ponto 14	Alcanena	0,793
Ponto 8	Ponto 9	Torres Novas	2,358	Ponto 14	Ponto 17	Alcanena	1,004
Ponto 9	Ponto 10	Entroncamento	6,246	Ponto 17	Ponto 19	Alcanena	0,504
Ponto 10	Ponto 11	Entroncamento	2,962	Ponto 19	Ponto 22	Abrã	10,614
Ponto 11	Ponto 12	Entroncamento	3,461	Ponto 22	Ponto 20	Alcanena	6,704
Ponto 12	Ponto 13	Alcanena	23,434	Ponto 20	Ponto 21	Tremês	9,400
Ponto 13	Ponto 14	Alcanena	7,610	Ponto 21	Ponto 13	Alcanena	18,678
Ponto 14	Ponto 15	Alcanena	0,770	Ponto 13	Ponto 7	Torres Novas	12,238
Ponto 15	Ponto 16	Alcanena	4,737	Ponto 7	Ponto 8	Torres Novas	1,147
Ponto 16	Ponto 17	Alcanena	5,565	Ponto 8	Ponto 11	Entroncamento	5,994
Ponto 17	Ponto 18	Vila Moreira	2,784	Ponto 11	Ponto 10	Entroncamento	2,669
Ponto 18	Ponto 19	Alcanena	3,132	Ponto 10	Ponto 12	Entroncamento	1,325
Ponto 19	Ponto 20	Alcanena	12,462	Ponto 12	Ponto 9	Torres Novas	7,265
Ponto 20	Ponto 21	Tremês	9,400	Ponto 9	Ponto 6	Fátima	20,504
Ponto 21	Ponto 22	Abrã	11,977	Ponto 6	Ponto 2	Fátima	5,642
Ponto 22	Ponto 23	Mira D' Aire	22,330	Ponto 2	Ponto 5	São Mamede	0,741
Ponto 23	Ponto 24	Mira D' Aire	0,122	Ponto 5	Ponto 1	Santarém	0,531
Ponto 24	Ponto 25	Mira D' Aire	1,259	Ponto 1	Ponto 3	Fátima	1,210
Ponto 25	Armazém	Carriço	79,867	Ponto 3	Armazém	Carriço	68,072
<b>Total de Km</b>		<b>310,354 km</b>		<b>Total de Km</b>		<b>272,440 km</b>	

Suponha-se que as carrinhas têm um consumo médio de 7 litros por cada 100 quilómetros e que o preço de um litro de gasóleo é de 0,915€ devido à parceria da *Fozpost, Lda*

com a Alves Bandeira<sup>5</sup>. Tendo por base este valor e os dados de poupança obtidos, podemos concluir que num mês, considerando 20 dias de trabalho, poderia haver uma poupança de 26,92€ a 80,96€, o que significa num ano, 323,04€ a 971,52€. É de realçar que esta poupança é apenas referente a um carro. Uma vez que existem oito carros em distribuição, esta poupança seria, com toda a certeza, bastante elevada, isto em apenas um ano.

Neste momento seria necessária a existência de uma aplicação que permitisse obter automaticamente as coordenadas e a matriz, para que obter a rota ótima através da aplicação fosse rápido, ou seja, de modo a que aquando da saída dos colegas do armazém a rota ótima já fosse conhecida e, assim, possível de realizar pelos mesmos.

---

<sup>5</sup> A *Fozpost, Lda* possui uma parceria com a Alves Bandeira obtendo, dessa forma, um preço por litro de gasóleo inferior ao praticado para os restantes consumidores.



## **Capítulo 5**

### **Conclusão**

## Conclusão

É importante para as organizações reunirem todos os esforços para alcançar vantagens competitivas em relação aos seus concorrentes. O aumento da competitividade entre empresas tem obrigado a que sejam feitas mudanças constantes no que diz respeito à sua gestão e qualidade dos produtos e/ou serviços prestados. Atualmente, é necessário, cada vez mais que as organizações desenvolvam vantagens competitivas, essencialmente, internamente, pois dessa forma existe uma maior probabilidade de poderem manter essas vantagens competitivas e serem bem-sucedidas.

A determinação de rotas ótimas ou quase ótimas têm um papel fundamental neste processo, uma vez que permitem à empresa uma maior rapidez nas suas entregas bem como maiores poupanças, no que diz respeito a distância percorrida, consumo de gasóleo, tempo e desgaste de carro.

O presente relatório incidiu sobre um dos problemas mais estudados de otimização combinatória, o problema do caixeiro viajante. Este problema tem como principal objetivo determinar a ordem pela qual devem ser percorridos os diversos clientes, por um veículo que sai do ponto inicial, o armazém, e regressa a este no final, de modo a minimizar a distância. Posto isto, tendo por base à atividade desenvolvida pela empresa, decidi optar pelo tema de determinação de rotas ótimas ou quase ótimas através da aplicação denominada por *Concorde*, uma vez que a atividade da empresa *Fozpost, Lda* consiste na entrega e recolha de encomendas e a determinação de rotas é algo que está constantemente presente nesta empresa.

O problema do caixeiro viajante é muito importante uma vez que existem vários problemas práticos que podem ser modelizados desta forma. A abordagem à resolução do problema do caixeiro viajante através de algoritmos de otimização ou de algoritmos heurísticos visam encontrar uma solução ótima ou próxima do ótimo.

Após a leitura de alguma literatura posso afirmar que um dos algoritmos melhor sucedido para o famoso problema do caixeiro viajante é o algoritmo de Lin-Kernighan, sendo considerado um dos métodos mais eficazes para obter soluções ótimas ou quase ótimas.

Conclusão

Finda esta pesquisa e, após uma busca intensiva na internet acerca de aplicações que permitam obter rotas ótimas, a aplicação *Concorde* foi a mais indicada de entre as encontradas, por ser gratuita, pela facilidade de utilização e por recorrer a um algoritmo que de acordo com a literatura permite obter bons resultados. Desta forma, penso que será importante para as empresas deste sector analisarem a possibilidade de iniciar a utilização desta aplicação.

Ainda assim, neste momento seria necessária a existência de uma aplicação que permitisse obter automaticamente as coordenadas e a matriz, para que obter a rota ótima através da aplicação utilizada fosse rápido, ou seja, de modo a que aquando da saída dos estafetas do armazém a rota ótima já fosse conhecida e, assim, possível de realizar pelos mesmos.

O meu estágio curricular conferiu-me a oportunidade de obter maiores conhecimentos relativamente à área da gestão de rotas e desenvolver, através da prática e da ajuda da equipa da *Fozpost, Lda*, as minhas competências a nível pessoal e profissional. No estudo de caso presente neste relatório pode verificar-se que as diferenças existentes entre a rota obtida pela aplicação e a utilizada pelo estafeta ocorrem, essencialmente, pelo facto do estafeta optar pela lógica de efetuar todas as entregas e recolhas de determinada cidade e, apenas após o cumprimento dessa lógica, mudar de cidade. Posto isto, e após terminar este estudo de caso, informei o estafeta, cujas rotas tinham sido analisadas, das conclusões obtidas pelo que, neste momento, o estafeta já não opta pela sua lógica inicial.

Através da revisão da literatura e da aplicação do conhecimento ao caso real penso ter conseguido, esclarecer a importância da determinação de rotas ótimas ou quase ótimas para o quotidiano das empresas deste sector.

O meu percurso na Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra permitiu-me obter conhecimentos essenciais para a elaboração deste relatório de estágio, nomeadamente nas unidades curriculares de Logística, Investigação Operacional, Auditoria e Controlo de Gestão.

Concluo este trabalho propondo às organizações distribuidoras de mercadorias que considerem fazer uso desta aplicação por forma a alcançarem desempenhos organizacionais superiores a médio/longo prazo.



## **Lista de Referências Bibliográficas**

**e**

***Webgrafia***

## Lista de Referências Bibliográficas

Applegate, David; Bixby, R.E.; Chvátal, V.; Cook, W. (1995). *Finding cuts in the TSP (A preliminary report)*. DIMACS Technical Report 95-05.

Applegate, David; Bixby, R.E.; Chvátal, V.; Cook, W. (2006). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*, Princeton University Press, Princeton, USA.

Baldacci, Roberto; Toth, P.; Vigo, D. (2007). Recent advances in vehicle routing exact algorithms. *4OR*, 5(4), pp. 269-298.

Biggs, Norman L.; Lloyd E. K.; Wilson R. J. (1986). *Graph Theory 1736-1936*, Clarendon Press, Oxford

Costa, João P.; Dias, J. M.; Godinho, P. (2010). *Logística*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 92-118.

Helsgaun, Keld (2000). An effective implementation of the Lin-Kernighan traveling salesman heuristic. *European Journal of Operational Research*, 126(1), pp. 106-130.

Karapetyan, Daniel; Gutin, G. (2010). Lin-Kernighan heuristic adaptations for the generalized traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 208(3), pp. 221-232.

Lin S.; Kernighan B. W. (1973), An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*, 21, pp. 498-516

Matai, Rajesh.; Sing, S. P.; Mital, M. L. (2010). Traveling Salesman Problem: An Overview of Applications, Formulations and Solutions Approaches. Em D. Davendra, *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*, Rijeka: InTech, pp. 13-36.

Mo, Yuan-Bin. (2010). The Advantage of Intelligent Algorithms for TSP. Em D. Davendra, *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*, Rijeka: InTech, pp. 37-52.

Lista de Referências Bibliográficas

Moura, Ana M. P. (2010). *Aplicações de Técnicas de Otimização na Determinação de Rotas para Veículos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Universidade do Porto

Rego, César; Gamboa, D.; Glover, F.; Colin, O. (2010). Traveling salesman problem heuristics: Leading methods implementations and latest advances. *European Journal of Operational Research*, 211(3), pp. 427-441.

Reinelt, Gerhard (1991). TSPLIB—A traveling salesman library. *Inform Journal on Computing*, 3(4), pp. 376-384.

Ropke, Stephan (2005). *Heuristic and exact algorithms for vehicle routing problems*. Tese de doutoramento. Universidade de Copenhaga <https://pdfs.semanticscholar.org/d483/7400ebe39fc9a581067ca3d7e2a0b377d41a.pdf> [21 de junho de 2016]. pp. 11-13, 24-30

Lista de Referências Bibliográficas

***Webgrafia***

<http://www.mapcoordinates.net/pt> [07 de novembro de 2017]

<http://analytcave.com/excel-calculate-distances-between-addresses/> [07 de novembro de 2017]

<https://neos-server.org/neos/solvers/co:concorde/TSP.html> [07 de novembro de 2017]

<http://www.envialia.pt/envialia-servicos-de-transporte-e-servico-de-mensagens-urgentes.html>  
[07 de março de 2017]



## **Anexos**

## Anexo 1 – Código de VBA utilizado

O Anexo 1 corresponde ao código de VBA necessário para obtermos as distâncias apresentadas nas matrizes de distâncias de cada rota.

Este código de programação permitiu obter as distâncias em metros, por estrada, entre os pontos de passagem do estafeta.

Figura 4: Código VBA retirado da seguinte fonte - <http://analytscave.com/excel-calculate-distances-between-addresses/> [07 de novembro de 2017]

### Get Google Maps distance in meters

```
1  'Calculate Google Maps distance between two addresses
2  Public Function GetDistance(start As String, dest As String)
3      Dim firstVal As String, secondVal As String, lastVal As String
4      firstVal = "http://maps.googleapis.com/maps/api/distancematrix/json?origi
5      secondVal = "&destinations="
6      lastVal = "&mode=car&language=pl&sensor=false"
7      Set objHTTP = CreateObject("MSXML2.ServerXMLHTTP")
8      URL = firstVal & Replace(start, " ", "+") & secondVal & Replace(dest, " "
9      objHTTP.Open "GET", URL, False
10     objHTTP.setRequestHeader "User-Agent", "Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 6.0
11     objHTTP.send ("")
12     If InStr(objHTTP.responseText, ""distance"" : {"}) = 0 Then GoTo ErrorHar
13     Set regex = CreateObject("VBScript.RegExp"): regex.Pattern = ""value"".*
14     Set matches = regex.Execute(objHTTP.responseText)
15     tmpVal = Replace(matches(0).SubMatches(0), ".", Application.International
16     GetDistance = CDbl(tmpVal)
17     Exit Function
18 ErrorHandl:
19     GetDistance = -1
20 End Function
```

## Anexo 2 – Restantes rotas analisadas

O Anexo 2 diz respeito às restantes rotas analisadas, de modo a permitir retirar conclusões sobre as rotas efetuadas pelo estafeta e as apresentadas pela aplicação.

De forma a obter uma melhor análise, foi analisada a rota do mesmo estafeta, em quatro dias distintos, pelo que, seguidamente serão apresentadas as tabelas de coordenadas, as matrizes de distâncias e as tabelas comparativas correspondentes às rotas dos dias que não foram apresentados no capítulo 3.

### Rota do dia 2

Tabela 4: Tabela de Coordenadas. Fonte: Elaboração própria

Armazém	Armazém	40.0561276,-8.8849628
Ponto 1	Faianças Ideal do Vale de Ourém	39.577953,-8.693749
Ponto 2	Rua Tomar 80, Sta Catarina	39.7195776,-8.7185006
Ponto 3	Rua Nossa Senhora de Lurdes	39.6321021,-8.6752731
Ponto 4	Rua Francisco Marto, 28	39.628496,-8.6687485
Ponto 5	Estrada de Minde 539	39.5967068,-8.653577
Ponto 6	Jofeper	39.6241407,-8.6651432
Ponto 7	Rua Principal, Chã	39.5875266,-8.6719228
Ponto 8	Ourividro	39.569221,-8.647349
Ponto 9	Rua da Escola 3, Chancelaria	39.5561697,-8.5591286
Ponto 10	Orlando Freitas Unip. Lda	39.4780588,-8.5474388
Ponto 11	Digidelta	39.459205,-8.545571
Ponto 12	Lidl e Cia Torres	39.4594763,-8.5425454
Ponto 13	Agriloja Torres Novas	39.4683211,-8.5255777
Ponto 14	Tipografia Centro	39.4649439,-8.4708244
Ponto 15	Rua Abilio Cesar Afonso 2, Entr	39.4607849,-8.4734311
Ponto 16	Rua D. Pedro V 41 Entr.	39.4563116,-8.4721935
Ponto 17	Rua Manuel Mendes Barbosa 15, Golegã	39.4091353,-8.4908768
Ponto 18	Rua da Cerca 8, Brogueira	39.4430013,-8.574747
Ponto 19	ITMP	39.4359254,-8.6298405
Ponto 20	Travessa da Paula 22, Alcanena	39.4625286,-8.6578806
Ponto 21	Princess Details	39.4584178,-8.6680945
Ponto 22	Euroed II	39.4457422,-8.7251801
Ponto 23	Carnes Valinho, Casal João Martim	39.4210466,-8.8115209
Ponto 24	Indutã	39.45105,-8.7602679
Ponto 25	Farmácia Central Lda, Tremês	39.3585014,-8.7601468
Ponto 26	Rua Egas Moniz 131	39.5394833,-8.7109658
Ponto 27	Ponto 27	40.0561276,-8.8849628



### Rota do dia 3

Tabela 6: Tabela de Coordenadas. Fonte: Elaboração própria

Armazém	Armazém	40.0561276,-8.8849628
Ponto 1	Sonartis	39.60692, -8.657668
Ponto 2	Prodyalca, LDa	39.4769643, -8.6456014
Ponto 3	Rua Dr. António Prado 16, Zibreira	39.4846446, -8.6083162
Ponto 4	Esicomatic, Lda	39.4729212, -8.5404406
Ponto 5	Rua Joaquim Rodrigues Bicho, 141	39.4892577, -8.5492589
Ponto 6	Agrupamento de Escolas Artur Gonçalves, Avenida Sá Carneiro	39.4735238, -8.542122
Ponto 7	Orlando Freitas	39.4780588, -8.5474388
Ponto 8	Aki Portugal- Torres	39.4649547, -8.5246813
Ponto 9	Mendes Gonçalves SA	39.412024, -8.48446
Ponto 10	Arte Y Raza	39.4037236, -8.4826128
Ponto 11	ITMP	39.4359254, -8.6298405
Ponto 12	Princess Details	39.4584178, -8.6680945
Ponto 13	Miguel Oliveira Sucessores	39.4731159, -8.6747621
Ponto 14	Curtumes Boaventura	39.4535727, -8.6856165
Ponto 15	Rua Principal 522, Espinheiro	39.4186851, -8.7430985
Ponto 16	Armazém	40.0561276,-8.8849628

Figura 6: Matriz de distâncias. Fonte: Elaboração própria

	Armazém	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13	Ponto 14	Ponto 15	Ponto 16
Armazém	0																
Ponto 1	70568	0															
Ponto 2	89282	19640	0														
Ponto 3	88196	27985	4572	0													
Ponto 4	95716	35505	12484	7147	0												
Ponto 5	96333	23043	12027	8180	3264	0											
Ponto 6	95985	23111	12752	7158	269	2522	0										
Ponto 7	94566	22533	10260	6413	1498	1945	1475	0									
Ponto 8	96412	23780	13180	9107	2359	4696	2611	4277	0								
Ponto 9	112363	33156	29131	28009	11736	14073	11988	13653	10016	0							
Ponto 10	113455	33792	30223	29101	12371	14708	12623	14289	10651	1130	0						
Ponto 11	94047	33836	8298	9697	11777	12912	11784	11037	16797	33132	34243	0					
Ponto 12	91990	21201	3099	7305	15863	14977	16115	13103	15199	31534	32644	7463	0				
Ponto 13	93301	19753	3996	8616	17175	16289	17427	14414	16510	32846	33956	8774	2971	0			
Ponto 14	93925	22772	5034	9240	17799	16913	18051	15038	17134	33469	34580	9398	1935	3019	0		
Ponto 15	105752	33865	16861	21067	29625	28740	29878	26865	28961	45296	46407	17195	13762	14112	11847	0	
Ponto 16	0	70675	90452	89330	96861	97297	97113	95422	96196	112532	113642	94769	93286	94542	95166	106994	0

## Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante numa empresa de distribuição

### Anexos

*Tabela 7: Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias. Fonte: Elaboração própria*

Rota – Estafeta				Rota – Concorde			
Pontos de Entrega		Cidades	Distância em Km	Pontos de Entrega		Cidades	Distância em Km
Armazém	Ponto 1	Fátima	70,675	Armazém	Ponto 3	Zibreira	89,330
Ponto 1	Ponto 2	Goucharia	19,655	Ponto 3	Ponto 2	Goucharia	4,572
Ponto 2	Ponto 3	Zibreira	4,597	Ponto 2	Ponto 13	Vila Moreira	3,958
Ponto 3	Ponto 4	Torres Novas	7,249	Ponto 13	Ponto 12	Alcanena	2,971
Ponto 4	Ponto 5	Torres Novas	3,171	Ponto 12	Ponto 14	Alcanena	1,880
Ponto 5	Ponto 6	Torres Novas	3,241	Ponto 14	Ponto 15	Alcanena	11,848
Ponto 6	Ponto 7	Torres Novas	1,029	Ponto 15	Ponto 11	Alcanena	17,195
Ponto 7	Ponto 8	Torres Novas	3,831	Ponto 11	Ponto 7	Torres Novas	11,037
Ponto 8	Ponto 9	Golegã	9,664	Ponto 7	Ponto 5	Torres Novas	1,945
Ponto 9	Ponto 10	Golegã	1,149	Ponto 5	Ponto 6	Torres Novas	3,241
Ponto 10	Ponto 11	Alcanena	34,907	Ponto 6	Ponto 4	Torres Novas	0,269
Ponto 11	Ponto 12	Alcanena	4,972	Ponto 4	Ponto 8	Torres Novas	2,440
Ponto 12	Ponto 13	Vila Moreira	3,085	Ponto 8	Ponto 10	Golegã	10,366
Ponto 13	Ponto 14	Alcanena	2,948	Ponto 10	Ponto 9	Golegã	1,130
Ponto 14	Ponto 15	Alcanena	11,848	Ponto 9	Ponto 1	Fátima	33,156
Ponto 15	Armazém	Cariço	105,752	Ponto 1	Armazém	Cariço	70,568
<b>Total de Km</b>		<b>287,773 km</b>		<b>Total de Km</b>		<b>265,906 km</b>	

## Rota do dia 4

Tabela 8: Tabela de Coordenadas. Fonte: Elaboração própria

Armazém	Armazém	40.0561276,-8.8849628
Ponto 1	Estrada de Fátima 3	39.6388167,-8.7336812
Ponto 2	Quintal Atlântico	39.677619, -8.6707591
Ponto 3	Rua Jacinto Marto 27	39.6320629,-8.6787367
Ponto 4	Redpost	39.635381,-8.679442
Ponto 5	Rua Jacinta Marto, 6	39.6318051,-8.6764869
Ponto 6	Rua Jacinta Marto, 10	39.6318198,-8.6765789
Ponto 7	Rua Jacinta Marto, 102	39.6333975,-8.6807229
Ponto 8	Rua Jacinta Marto, 28	39.6320419,-8.6780037
Ponto 9	Olimpio Duarte	39.6244878,-8.6654719
Ponto 10	FTC Viagens e Turismo	39.61739,-8.659201
Ponto 11	Centro Social Assentiz	39.58543,-8.508585
Ponto 12	UP viagens, Rua Miguel Bombarda, 63	39.4776583,-8.5391807
Ponto 13	Happytur	39.478072,-8.5404429
Ponto 14	Av. 8 de Julho 39	39.4737156,-8.532697
Ponto 15	Cancela do Leão, LT4	39.4678155,-8.5312463
Ponto 16	Rua Dr. José Marques 14	39.4737149,-8.5365449
Ponto 17	OTAR	39.4667617,-8.5472095
Ponto 18	Lidl, Torres	39.4594763,-8.5425454
Ponto 19	Rua Arnaldo Silva 17	39.4765773,-8.4782309
Ponto 20	Rua Padre Martinho Mourão 4	39.4685787,-8.4686939
Ponto 21	Rua Abilio Cesar Afonso 35	39.4595548,-8.47116
Ponto 22	Rua Dr. José Pedro Campos Marreca 40	39.403132,-8.4855029
Ponto 23	Av. Marques Pombal	39.4640384,-8.6575611
Ponto 24	Curtumes Boaventura	39.4535727,-8.6856165
Ponto 25	Trechnofafe unip. Lda	39.458599,-8.6659966
Ponto 26	Indutan	39.45105,-8.7602679
Ponto 27	Rua Dr. Carlos Nunes Ferreira	39.4434297,-8.7299739
Ponto 28	Armazém	40.0561276,-8.8849628

Figura 7: Matriz de distâncias. Fonte: Elaboração própria

Armazém	Armazém	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Ponto 10	Ponto 11	Ponto 12	Ponto 13	Ponto 14	Ponto 15	Ponto 16	Ponto 17	Ponto 18	Ponto 19	Ponto 20	Ponto 21	Ponto 22	Ponto 23	Ponto 24	Ponto 25	Ponto 26	Ponto 27	Ponto 28					
0	0																																	
1124	0																																	
68188	1043	0																																
68150	6316	7052	0																															
61244	5411	6147	1037	0																														
67706	5972	6606	876	639	0																													
67639	5966	6602	863	632	1062	0																												
61175	5342	6078	225	481	657	675	0																											
66030	6267	6395	1260	1023	373	331	1035	0																										
64490	7414	6330	3015	2304	1768	1737	2790	3074	0																									
63559	6632	3428	4093	3382	2847	2865	3869	4153	1078	0																								
30745	23979	24105	25280	25168	24034	24052	25055	25339	22265	21490	0																							
36211	37383	38734	32400	32088	34023	32850	32135	32459	32937	35205	14373	0																						
35161	36349	37685	32350	32238	32973	32800	32125	32409	32867	24193	15364	239	0																					
34542	37240	37375	32641	32529	33264	33091	32416	32700	33158	34545	17347	1436	1478	0																				
39635	37423	38195	32024	32712	33447	33274	32599	32893	33341	34729	15531	1679	1661	1257	0																			
35541	37034	38070	32735	32624	33359	33186	32511	32795	33252	34540	16290	1006	968	922	1005	0																		
36335	38682	33418	34083	33372	34707	34534	33859	34143	34600	35388	18789	2522	3822	3154	2117	0																		
37174	33901	40237	34302	34731	35225	35352	34677	34361	35419	36807	18066	3341	3322	3864	3582	2395	2484	0																
100529	42036	42052	37111	37606	38340	39167	37432	37776	38234	38622	19440	1755	1837	1434	1151	769	9036	8785	0															
100900	42598	43524	37889	37877	38612	38439	37764	38048	38506	38994	19984	8128	1109	1706	1423	7440	8310	7781	1833	0														
100370	50788	57099	46159	46047	46782	46609	45934	46218	46676	48063	23072	10337	10319	3315	3633	3643	11302	3756	4109	2070	0													
114008	55785	62437	51196	51085	51620	51647	50971	51236	51113	52091	26239	15305	13496	15083	12890	12096	14469	12923	10508	9594	7679	0												
30323	32711	33447	33812	33000	28735	29562	27897	29111	29629	30017	23503	15378	16271	14356	14613	14630	12173	14787	19959	18383	20027	31541	0											
33285	35712	36448	31113	31002	31737	31564	30889	31173	31631	33018	23205	18380	15673	17358	17675	17632	15775	17738	21861	21985	23029	34543	3128	0										
32088	33075	34611	29276	29165	29839	29726	29051	29335	29793	31181	20467	16542	13935	16120	15838	15854	15337	15961	20023	20149	21191	32706	1231	2163	0									
102524	44442	47443	33813	33701	40436	40263	39588	39872	40330	41718	41004	27079	24312	26557	26314	26391	24474	26438	30760	30664	31723	42242	11628	3791	10391	0								
33871	41659	42334	37060	36348	37683	37550	36835	37119	37577	38365	38251	24526	21619	23304	23421	23638	21721	23744	27807	27931	29375	40489	9075	5366	8238	3439	0							
0	72674	63472	68075	67363	66638	68525	67850	68134	68592	69379	30889	97442	97424	97020	96738	96754	96407	96661	100923	101048	102091	113606	32081	35166	93091	103698	101150	0						

## Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante numa empresa de distribuição

### Anexos

*Tabela 9: Comparação entre a rota do estafeta e a rota da aplicação, em termos de distâncias.  
Fonte: Elaboração própria*

Rota – Estafeta				Rota – Concorde			
Pontos de Entrega		Localidades	Distância em Km	Pontos de Entrega		Localidades	Distância em Km
Armazém	Ponto 1	São Mamede	72,674	Armazém	Ponto 26	Amiais de Baixo	103,898
Ponto 1	Ponto 2	Sta Catarina	10,921	Ponto 26	Ponto 27	Amiais de Cima	3,442
Ponto 2	Ponto 3	Fátima	6,375	Ponto 27	Ponto 24	Alcanena	5,966
Ponto 3	Ponto 4	Fátima	1,082	Ponto 24	Ponto 25	Alcanena	2,292
Ponto 4	Ponto 5	Fátima	0,831	Ponto 25	Ponto 23	Alcanena	1,291
Ponto 5	Ponto 6	Fátima	0,006	Ponto 23	Ponto 17	Torres Novas	12,773
Ponto 6	Ponto 7	Fátima	0,644	Ponto 17	Ponto 18	Torres Novas	1,914
Ponto 7	Ponto 8	Fátima	0,284	Ponto 18	Ponto 22	Golegã	12,721
Ponto 8	Ponto 9	Ourém	3,730	Ponto 22	Ponto 21	Entroncamento	7,679
Ponto 9	Ponto 10	Fátima	1,566	Ponto 21	Ponto 20	Entroncamento	2,010
Ponto 10	Ponto 11	Assentiz	21,513	Ponto 20	Ponto 19	Entroncamento	1,833
Ponto 11	Ponto 12	Torres Novas	14,770	Ponto 19	Ponto 15	Torres Novas	7,151
Ponto 12	Ponto 13	Torres Novas	1,444	Ponto 15	Ponto 14	Torres Novas	1,257
Ponto 13	Ponto 14	Torres Novas	2,743	Ponto 14	Ponto 16	Torres Novas	0,808
Ponto 14	Ponto 15	Torres Novas	0,911	Ponto 16	Ponto 13	Torres Novas	0,988
Ponto 15	Ponto 16	Torres Novas	0,991	Ponto 13	Ponto 12	Torres Novas	0,239
Ponto 16	Ponto 17	Torres Novas	2,180	Ponto 12	Ponto 11	Assentiz	14,373
Ponto 17	Ponto 18	Torres Novas	1,914	Ponto 11	Ponto 10	Fátima	21,480
Ponto 18	Ponto 19	Entroncamento	7,863	Ponto 10	Ponto 9	Ourém	1,078
Ponto 19	Ponto 20	Entroncamento	1,657	Ponto 9	Ponto 5	Fátima	1,769
Ponto 20	Ponto 21	Entroncamento	1,593	Ponto 5	Ponto 8	Fátima	0,935
Ponto 21	Ponto 22	Golegã	7,185	Ponto 8	Ponto 6	Fátima	0,391
Ponto 22	Ponto 23	Alcanena	32,404	Ponto 6	Ponto 3	Fátima	0,869
Ponto 23	Ponto 24	Alcanena	3,085	Ponto 3	Ponto 7	Fátima	1,095
Ponto 24	Ponto 25	Alcanena	2,292	Ponto 7	Ponto 4	Fátima	0,481
Ponto 25	Ponto 26	Amiais de Baixo	10,895	Ponto 4	Ponto 1	São Mamede	5,411
Ponto 26	Ponto 27	Amiais de Cima	3,442	Ponto 1	Ponto 2	Sta Catarina	10,921
Ponto 27	Armazém	Carriço	99,871	Ponto 2	Armazém	Carriço	68,788
<b>Total de Km</b>		<b>314,866 km</b>		<b>Total de Km</b>		<b>293,853 km</b>	