



**Desenvolvimento de instrumentos de análise, avaliação e
melhoria dos processos de distribuição e recolha num
sistema logístico de correio
expresso**

Bernardo Roque de Carvalho Freire de Abranches

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientadores: Prof. Rui Manuel Moura de Carvalho Oliveira

Ricardo André Barreira Monteiro

Júri

Presidente: Prof. Carlos António Bana e Costa

Orientador: Prof. Rui Manuel Moura de Carvalho Oliveira

Vogal: Prof. Amílcar José Martins Arantes

Novembro 2017

Agradecimentos

Ao Professor Rui Oliveira que me conferiu a oportunidade de desenvolver esta Dissertação sob a sua orientação, e que sempre se demonstrou tão solidário e disposto a dar uma força suplementar em momentos de maiores dificuldades.

Um agradecimento especial à Rangel e ao Ricardo Monteiro, que me abriram as portas e sugeriram o tema alvo de estudo.

Um enorme obrigado aos meus pais e irmão que sempre me apoiaram ao longo do meu percurso pessoal e académico, de todas as maneiras possíveis e imaginárias.

A todos os meus amigos, aos que me encorajaram neste percurso e mesmo àqueles que de mim duvidaram, gostaria de personalizar este agradecimento ao Gonçalo Esperança e ao João Mota, pessoa que me guiou até este Mestrado.

A todos os professores do meu percurso universitário, em especial ao Professor Eduardo Matos Almas, que também muito me marcou pela sua simpatia, bondade e qualidade.

A toda a minha restante família, de sangue e não só, a quem não me referi anteriormente.

Um enorme obrigado a todos vós!

Resumo

Actualmente vive-se um contexto económico extremamente competitivo, competitividade que se acentua se nos focarmos na indústria do correio expresso, com o surgimento de uma elevada diversidade de oferta proveniente dos mercados emergentes. Tendo esses factores em consideração, ponderando a relevância desta indústria para os restantes sectores da economia, torna-se premente a necessidade constante de optimização e melhoria dos processos nesta área da actividade económica.

A Rangel Expresso – empresa exclusivamente dedicada e responsável pela operação da FedEx em Portugal – reconhece o potencial de melhoria dos seus processos de distribuição e recolha, e é daí que surge a motivação para a realização desta Dissertação de Mestrado.

Neste trabalho foi realizada uma caracterização da indústria e da empresa em estudo, foram identificadas as limitações e constrangimentos presentes na análise a realizar, para de seguida se proceder à avaliação do actual sistema de entregas e recolhas, tendo como métrica o único indicador de desempenho possível calcular: a distância percorrida. Posteriormente implementou-se computacionalmente os diferentes métodos propostos e analisou-se os resultados obtidos.

Por fim, retiraram-se conclusões sobre o trabalho realizado e foram feitas sugestões de melhorias futuras, considerando dois cenários: respeitando as restrições impostas pela empresa, e pondo em causa essas mesmas restrições.

Palavras-chave: Rangel Expresso, FedEx, correio expresso, optimização, problema do caixeiro viajante.

Abstract

The current economy context is highly competitive, competitiveness which is more significant if the focus turns to the parcel industry, with a very significant rise of supply from the emerging economies. Considering all these factors and taking into account the relevance of this industry to the other sectors of the economy, there is an enormous need of continuous improvement and optimization of the processes on this activity.

Rangel Expresso – company exclusively dedicated and responsible for the operation of FedEx in Portugal – acknowledges the potential of improvement on their processes of delivery and pick-up, and it is in this context that the motivation to develop the present work arises.

It was performed a characterization of the industry and of the company, the limitations and constraints imposed on the analyses have been identified, so that subsequently an evaluation of the actual process could be done, having as the only key performance indicator possible to calculate: distance. Afterwards, it was computationally implemented the different proposed methods and an analysis of the outcome was performed.

Finally, the conclusions regarding all the work were exposed, and some suggestions of future improvements were done, taking into consideration two different scenarios: respecting the constraints imposed by the company, and questioning these constraints.

Key-words: Rangel Expresso, FedEx, parcel industry, optimization, traveling salesman problem.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Quadros.....	viii
Lista de Acrónimos e Siglas	ix
1. Introdução	1
1.1 Contextualização do problema.....	1
1.2. Objectivos do Trabalho	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura da Dissertação	4
2. A indústria do correio expresso e o caso de estudo	5
2.1 Introdução	5
2.2 A Indústria do correio expresso em Portugal.....	6
2.3 A Rangel Expresso S.A./FedEx	7
2.4 Caracterização da indústria.....	10
3. Revisão da Literatura.....	11
3.1 Problema do Caixeiro Viajante (TSP – <i>Traveling Salesman Problem</i>)	11
3.1.1 Métodos aproximados aplicados ao TSP.....	12
3.1.2 Heurísticas com relações de precedência	17
3.2 VRP –Vehicle Routing Problem.....	17
3.2.1 Cluster-First Route-Second.....	18
3.2.2 Algoritmo de Varrimento (<i>Sweep</i>).....	19
3.2 Avaliação do Desempenho	19
3.3.1 Introdução	19
3.3.2 Definição dos Indicadores de Desempenho	23
4. Implementação do Modelo de Análise e Resultados.....	25
4.1 Introdução	25
4.2 Recolha e tratamento de dados	25
4.3 Interface de Programação de Aplicações (API)	28
4.4 R (<i>software</i> e linguagem de programação)	28
4.5 Implementação dos Algoritmos	28
4.5.1 Operação actual	28
4.5.2 Implementação computacional dos diferentes métodos sob estudo	31

4.5.3 Resultados obtidos	33
4.5.4 Síntese de conclusões sobre os resultados obtidos	40
5- Conclusões finais e desenvolvimento futuro	43
Bibliografia.....	46

Lista de Figuras

Figura 1 – Metodologia adotada na Dissertação.....	3
Figura 2- Instalações da Rangel	9
Figura 3 - Estrutura original do Balanced Scorecard. (Kaplan, 2010).....	22
Figura 4 - Script R (parte 1)	32
Figura 5 - Script R (parte 2)	32
Figura 6 - Amostra dos resultados gerados pelo R.....	33
Figura 7 - LI100 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	36
Figura 8 - LI110 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	36
Figura 9 - LI120 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	37
Figura 10 - LI150 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	37
Figura 11 - LI190 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	38
Figura 12 - LI193 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	38
Figura 13 - LI292 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida	39

Lista de Quadros

Quadro 1 - Estrutura do Grupo Rangel	7
Quadro 1 - Estrutura do Grupo Rangel	8
Quadro 2 - Indicadores de desempenho	24
Quadro 3 - Rotas objeto de estudo	26
Quadro 4 - Número de entregas e recolhas (método atual).....	27
Quadro 5 - LI100 (método atual).....	29
Quadro 6 - LI110 (método atual).....	29
Quadro 7 - LI120 (método atual).....	30
Quadro 8 - LI150 (método atual).....	29
Quadro 9 - LI190 (método atual).....	30
Quadro 10 - LI193 (método atual).....	30
Quadro 11 - LI292 (método atual).....	30
Quadro 12 - Resultados comparativos (absolutos e relativos) entre os diferentes métodos e rotas....	34
Quadro 13 - Resultados comparativos (absolutos e relativos) excluindo rotas atípicas.....	35
Quadro 14 - Distribuição da distância percorrida entre os processos de distribuição e recolha.....	39

Lista de Acrónimos e Siglas

ACO - *Ant Colony Optimization*

API - *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicações)

DRH – Direcção de Recursos Humanos

GEA - *Global Express Association*

PME – Pequenas e Médias Empresas

TSP – *Traveling Salesman Problem* (Problema do Caixeiro Viajante)

VRP – *Vehicle Routing Problem*

1.Introdução

1.1 Contextualização do problema

A indústria do correio expresso é uma indústria chave na economia global, no século XXI. Esta indústria tem um contributo fulcral na redução de assimetrias entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento, bem como na promoção de um maior desenvolvimento regional nas regiões mais periféricas. Este contributo deve-se a uma aproximação real entre estes mercados, sendo que a facilidade de acesso aos diferentes mercados é um dos factores mais preponderantes na escolha da localização de um negócio.

A redução de assimetrias entre as PME e as multinacionais é outro importante contributo desta indústria, ao tornar acessível – democraticamente – um serviço de qualidade por preços semelhantes a todas as empresas, permitindo assim às PME tirar partido de economias de escala no transporte das suas mercadorias, e concomitantemente focarem-se na criação de valor acrescentado nos produtos ou serviços por si comercializados, obedecendo a uma janela temporal limitada. Este factor relacionado com o tempo de entrega é vital para algumas empresas e indústrias, seja devido às características dos produtos que comercializam, seja devido à urgência que o consumidor final tenha em receber os produtos.

A busca contínua por um incremento da eficiência de processos é uma das obsessões das empresas na era moderna, devido ao aumento da competitividade e da concorrência a nível global. A melhoria dos processos leva a uma redução dos custos operacionais e potencia os ganhos das empresas, através de uma melhoria dos níveis de serviço, por exemplo.

Adicionalmente, este serviço vem proporcionar uma maior eficiência nas operações das empresas, ao possibilitar que as empresas produzam numa lógica de produção por encomenda, podendo assim reduzir os custos de inventário, e ao reduzir as quebras no processo produtivo – sempre que falte ou seja necessário substituir um componente ou uma peça, através do correio expresso torna-se possível obtê-lo no dia seguinte.

No entanto, os principais motivos apontados pelas empresas para recorrer a serviços de correio expresso são a fiabilidade e a rapidez da entrega, que são determinantes para a reputação e para a competitividade das empresas. É devido a estes factores que os sectores que mais recorrem aos serviços de correio expresso – apesar do seu uso ser transversal à esmagadora maioria das indústrias - são os *time sensitive* (sectores em que o tempo é um factor determinante), e os que transacionam serviços ou produtos de alto valor acrescentado e peso relativamente reduzido, como são exemplo disso o sector farmacêutico, da biotecnologia, financeiro, entre outros.

É nesta medida que se torna imperioso elaborar um trabalho que tenha como objectivo desenvolver instrumentos de análise, avaliação e melhoria dos processos de distribuição e recolha num sistema logístico de correio expresso, visto ser um dos processos mais sensíveis no serviço prestado por estas empresas. O trabalho irá incidir sobre o caso da Rangel Expresso S.A, empresa integrante do Grupo Rangel, responsável pela operação FedEx em Portugal (bem como em Angola e Cabo Verde). Ao nível

geográfico, apenas as rotas que operam em Lisboa serão estudadas. As empresas e a problemática em estudo serão objecto de um maior aprofundamento, ao longo do trabalho.

1.2. Objectivos do Trabalho

O objectivo final deste trabalho prende-se com o desenvolvimento de instrumentos de análise, avaliação e melhoria de processos de distribuição e recolha num sistema logístico de correio expresso. Para tal foram definidas determinadas etapas a cumprir, tais como:

- Contextualização do problema;
- Caracterização das empresas em estudo (com maior enfoque na Rangel Expresso), da indústria e da operação actual;
- Formulação do problema, com identificação do seu âmbito, objetivos e restrições;
- Revisão da literatura existente sobre o Problema do Caixeiro Viajante, o VRP e avaliação do desempenho em sistemas logísticos de distribuição e recolha de produtos;
- Definição e implementação de uma metodologia a aplicar no caso de estudo, mais especificamente:
 - Recolha e tratamento de dados;
 - Desenvolvimento de um mecanismo que permita o cálculo de distâncias rodoviárias entre dois pontos;
 - Escolha da abordagem a adoptar na busca da melhoria dos processos em estudo;
- Análise crítica dos resultados obtidos.

1.3. Metodologia

A presente Dissertação de Mestrado foi antecedida por um Projecto de Tese que lançou as fundações para o trabalho que será desenvolvido ao longo desta Dissertação. Podemos separar o trabalho em cinco etapas diferentes (tal como se pode verificar na Figura 1): as duas primeiras foram, no essencial, desenvolvidas no Projecto de Tese e as restantes serão desenvolvidas ao longo da Dissertação que se segue.

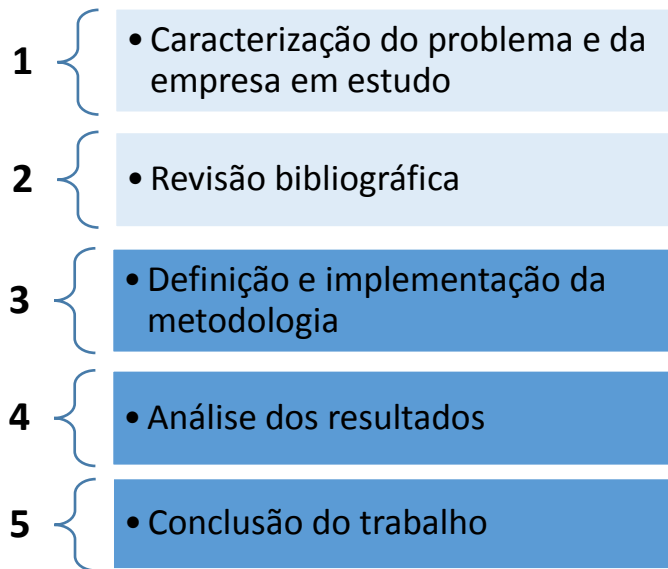


Figura 1 – Metodologia adotada na Dissertação

Na primeira etapa, é realizado um enquadramento do problema e uma caracterização da Rangel Expresso e de todas as características da sua operação que, naturalmente, influenciam o desenvolvimento de um trabalho desta natureza.

Na segunda etapa é feita uma revisão da literatura existente que possa ser relevante na abordagem ao trabalho. Foram abordados problemas clássicos no âmbito da Investigação Operacional, como o Problema do Caixeiro Viajante e o VRP. Adicionalmente, esta revisão incluiu também um estudo sobre a avaliação do desempenho em sistemas logísticos de distribuição e recolha de produtos, com base em quadros de indicadores.

Na etapa seguinte é definida a metodologia a ser empregue na resolução do problema (tendo em conta todas as especificidades do presente caso de estudo), procede-se a uma recolha e tratamento de dados, e conseqüentemente é implementada a metodologia definida.

Na quarta etapa decorre uma análise crítica dos resultados. Comparam-se, em termos absolutos e relativos, os resultados da operação actual e dos diferentes métodos propostos.

Por fim, na quinta etapa, é feita a conclusão final em que se identificam diferentes oportunidades de melhoria dos processos, onde se sugerem as medidas a tomar tendo em vista uma maior eficiência da operação (sem comprometer o nível de serviço), e onde também se abordam todas as limitações (nomeadamente a nível de ausência de dados) que houve no desenvolvimento do trabalho, que são simultaneamente prejudiciais a uma correcta avaliação do desempenho da operação.

1.4. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação foi estruturada de acordo com os objectivos já referidos e está assim disposta:

Capítulo 1 - É feita uma contextualização do caso de estudo, com uma breve descrição da indústria do correio expresso e apresentação da metodologia a ser empregue na elaboração do trabalho, bem como os objectivos e a estrutura da presente dissertação;

Capítulo 2 - Neste capítulo é feita uma apresentação mais detalhada da indústria do correio expresso, com um foco maior no presente caso de estudo. Procede-se a uma caracterização da empresa, das suas operações e expõem-se os fatores que poderão influenciar o tratamento da problemática em estudo;

Capítulo 3 - Este capítulo é dedicado à revisão da literatura direccionada aos problemas suscitados pelo caso de estudo, sendo abordadas as temáticas relativas ao Problema do Caixeiro Viajante, ao VRP e aos indicadores chave de desempenho;

Capítulo 4 - Este é o capítulo onde se apresentam os métodos e instrumentos desenvolvidos para atingir os objectivos propostos. É também neste capítulo que se trata da recolha e do tratamento dos dados que serão utilizados para uma correcta avaliação, análise e resolução da problemática objecto de estudo. Por fim, é descrita a implementação dos modelos e instrumentos definidos no início do capítulo que irão dar origem aos resultados que serão analisados no capítulo seguinte;

Capítulo 5 - Procede-se a uma análise crítica dos resultados gerados por aplicação dos instrumentos desenvolvidos ao nosso caso de estudo. Será feita uma comparação, em termos absolutos e relativos, entre os diferentes métodos sob estudo e entre esses mesmos métodos e a operação actual;

Capítulo 6 – Capítulo conclusivo onde se faz um balanço do trabalho produzido, de quais as conclusões mais significativas que se podem retirar e de qual o caminho que se recomenda ser trilhado pela empresa. São feitas algumas considerações sobre o futuro da indústria também.

2. A indústria do correio expresso e o caso de estudo

2.1 Introdução

Já foi anteriormente referida a importância desta indústria para a economia global, e mesmo para a sociedade em geral. Resta agora referir a dimensão da indústria *per se* e quais as perspectivas futuras: segundo um relatório produzido pela Accenture (2015), o número de volumes movimentados cresceu a uma média de 7% nos cinco anos anteriores (correspondentes a um aumento de 6.2% das receitas), o que representa um regresso ao caminho de crescimento sustentado que vinha sendo trilhado, até à quebra global da actividade económica em 2008. Perspectiva-se que o crescimento continue nos próximos anos, com especial incidência nos continentes menos desenvolvidos.

De acordo com a *Global Express Association* (2015), a indústria do correio expresso opera em mais de 220 países e movimenta mais de 6 milhões de volumes por dia. A sua contribuição directa para o PIB mundial foi de 140 mil milhões de dólares, em 2013, e gera cerca de 3 milhões de postos de trabalho, directa ou indirectamente.

Estes dados dizem respeito aos membros da GEA (*Global Express Association*), que é constituída por quatro empresas líderes de mercado: UPS, DHL, TNT e FedEx. Estas são as empresas que disponibilizam dados mais concretos, e consistentemente, ao longo do tempo, proporcionando assim uma análise mais cuidada. Como tal, os números apresentados representam estimativas conservadoras.

Entretanto, em 2015, foi anunciada a aquisição da TNT por parte da FedEx, por um valor cifrado nos 4.4 mil milhões de euros. O acordo foi consumado no final do primeiro semestre do ano transacto. Este negócio visou aumentar a capacidade da FedEx no mercado europeu, tendo sido responsável pelo aumento da sua quota de mercado para os 22%, ao passo que a DHL se posiciona como a empresa líder do mercado europeu com 41%, seguindo-se a UPS com 25%.

De acordo com o relatório anual de 2016, realizado pela FedEx, esta operação “tem como objectivo expandir o portfolio global, particularmente na Europa, baixar os custos operacionais nos mercados europeus através de um aumento da densidade nas operações de recolha e entrega e acelerar o crescimento global.” (FedEx, 2016). A mesma fonte referiu que o aumento da competitividade da oferta de *e-commerce* é mais uma das grandes vantagens do consumo desta operação, o que irá beneficiar o mercado europeu.

O *e-commerce* tem uma grande relevância na indústria do correio expresso, a nível europeu, sendo um dos principais impulsionadores da indústria. Ainda de acordo com o relatório da GEA (2015), prevê-se que o *e-commerce* continue a crescer a um ritmo considerável (13% em 2016), e que se torne mais generalizado o seu uso a nível global. Não só os consumidores estão cada vez mais dispostos a recorrer a este serviço, como as empresas estão a apostar cada vez mais neste caminho, não só por uma questão de redução de custos, como porque aumenta o número de mercados disponíveis. A política de devoluções das empresas que vendem os seus produtos electronicamente, a nível internacional, recorre sempre a parcerias com empresas de correio expresso. Está previsto que o mercado B2C se internacionalize mais, sendo este mercado ainda predominantemente marcado por

transações domésticas. A nível europeu, em 2013, o *e-commerce* internacional representava 13% do total, e espera-se que este valor suba até aos 20%. Está previsto que em 2025 o *e-commerce* possa atingir os 40% do total de volumes transacionados, nos países desenvolvidos e os 30% nos restantes.

Uma melhoria da eficiência operacional é um factor chave para o sucesso (e mesmo sobrevivência) das empresas que operam num ambiente fortemente concorrencial, como o que se presencia nesta indústria.

O estudo a ser desenvolvido neste trabalho pretende dar um contributo ao desenvolvimento de ferramentas de melhoria dos processos de distribuição e recolha na indústria, centrado no nosso caso de estudo (operação da Rangel Expresso na área de Lisboa). Para tal irá ser feita uma análise à qualidade dos processos em curso, irá ser desenvolvida uma solução alternativa (tendo em conta determinadas condicionantes que não deverão sofrer alterações) e posteriormente será feita uma comparação entre as soluções, para que se possa fazer uma análise objectiva em relação ao que é passível de ser alterado e melhorado em todo o processo.

Este trabalho, após o seu término, será apresentado à empresa e idealmente – caso se consigam alcançar melhorias palpáveis e inquestionáveis aos processos em vigor – serão adoptadas medidas que visem um aumento da eficiência das operação de recolha e distribuição.

2.2 A Indústria do correio expresso em Portugal

De acordo com os dados disponibilizados pela ANACOM (Autoridade Nacional de Comunicações), o correio expresso surgiu em Portugal no final do século XX com o surgimento da Chronopost Portugal, da Postlog (que mais tarde se passou a designar CTT Expresso), DHL, TNT Expresso, Federal Express – FedEx – em parceria com a Rangel Expresso S.A., entre outras. Desde então têm-se licenciado paulatinamente mais operadoras, sendo que em 2010 a indústria tinha 49 empresas a operar no nosso país.

No entanto, ultimamente, tem-se verificado uma tendência de concentração. Têm ocorrido bastantes aquisições e fusões, em que grandes intervenientes do mercado aglutinam concorrentes com menor peso, como é exemplo disso a recente aquisição da GLS por parte da Chronopost, ou a fusão que ocorrerá entre as operações da FedEx e TNT. Antes destas movimentações no mercado, a indústria já vinha apresentando um elevado grau de concentração, segundo os últimos dados as cinco principais operadoras agregavam metade do mercado, este panorama tenderá a acentuar-se no futuro.

Apesar de o negócio entre a FedEx e a TNT já estar consumado desde Junho as operações mantêm-se independentes, não havendo uma data concreta definida para a sua integração

De acordo com um estudo sectorial realizado pela D&B, em 2015 foram movimentados 630 milhões de euros, tendo havido um crescimento de 4.1%, e esperava-se que crescesse 4% no ano seguinte. O transporte internacional é o segmento que tem apresentado um maior crescimento.

Esta indústria é muito importante num país com fortes assimetrias como o nosso, devido à insularidade características das ilhas e à elevada concentração populacional no Litoral do Continente, o que origina um certo isolamento de certas regiões.

2.3 A Rangel Expresso S.A./FedEx

Neste capítulo as duas empresas serão apresentadas separadamente, seguindo-se uma explicação sobre a parceria e as sinergias geradas:

O Grupo Rangel tem origem em 1980, quando Eduardo Rangel criou a sua primeira empresa, a Eduardo Rangel Lda, dedicada em exclusivo à atividade transitária. Volvida uma década, é criado formalmente o Grupo Rangel composto por 3 empresas: Eduardo Rangel Lda, Eduardo Rangel Despachante Oficial e Rangel Transitários. O Grupo foi-se consolidando, tendo apresentado um crescimento orgânico ao longo das décadas seguintes, com a criação de diversas empresas como a Rangel Distribuição e Logística, a Feirexpo (empresa criada no âmbito da Exposição Mundial que decorreu em 1998, Expo98, cuja principal competência é a logística inerente ao transporte de obras de arte), e a **Rangel Expresso S.A.** em 1999 – empresa dedicada em exclusivo à actividade da **FedEx** em Portugal. Em 2000, foi traçado um plano estratégico para o futuro: “consolidar um grupo de gestão logística integrada, passando a ser cada empresa um centro de exploração autónomo com uma gestão concentrada”, como referido no *Website* da empresa. Para cumprir esse objectivo alterou-se o nome da Eduardo Rangel, Lda para Rangel Invest, S.A., que se tornou na *holding* do Grupo. Actualmente o Grupo é composto por onze empresas, contando com uma forte presença no mercado africano e ibérico. Baseado no manual de acolhimento disponibilizado pela DRH da Rangel (2015), a estrutura do grupo é exposta no Quadro 1:

Quadro 1 - Estrutura do Grupo Rangel

Empresa	Função
Rangel Invest, S.A.	Holding
Rangel Transitários, S.A.	Transporte Terrestre Europeu
Rangel Distribuição e Logística, S.A.	Distribuição e Logística
Rangel Expresso II, S.A.	Distribuição Expresso
Rangel Internacional Aérea e Marítima, S.A.	Transporte Aéreo e Marítimo Internacional, Madeira e Açores
Rangel Expresso, S.A. / FedEx	Courier Expresso Internacional

Quadro 1 - Estrutura do Grupo Rangel

Empresa	Função
Eduardo Rangel Despachante Oficial, Lda.	Actividade Aduaneira
Rangel Invest Africa, S.A.	Investimento
Rangel Logística, S.L. (Espanha)	Logística
Rangel Angola Expresso e Trânsitos, Lda	Transporte Multimodal
FeirExpo, S.A.	Logística e Transporte de Obras de Arte e Feiras Comerciais

A FedEx foi fundada em 1971, tendo como ponto de partida as dificuldades detectadas pelo seu fundador no envio de pequenas encomendas em prazos curtos. Em 1989 a empresa já se tinha tornado na maior empresa de correio expresso, a nível global. No entanto nunca alcançou uma verdadeira implantação no mercado europeu, sendo essa a razão que levou ao maior negócio jamais realizado na indústria, com a aquisição da TNT desde Junho passado. A fusão ainda não foi totalmente consumada, mantendo-se duas operações distintas em grande parte dos mercados onde operam.

A FedEx implementou-se em Portugal em 1997 em colaboração com outro operador. Devido a divergências com esse operador, a FedEx optou por fazer uma parceria com a Rangel, em 1999, parceria que dura até aos dias de hoje – o contrato foi recentemente renovado, até 2020. Devido à reduzida dimensão da economia portuguesa (que origina um mercado nacional muito residual por comparação com o mercado global) e seguindo a sua política de expansão internacional, a FedEx procurou um *Global Service Participant* (GSP) em Portugal. O objectivo era encontrar um parceiro com uma grande experiência e cobertura nacional. Foi deste processo que nasceu a Rangel Expresso S.A., empresa totalmente dedicada à operação da FedEx em Portugal.

Toda a coordenação das operações de chegada e saída dos volumes é operada pela Rangel Expresso S.A., seja a partir do momento em que saem do avião FedEx (operação *inbound*), seja até ao momento em que entram no avião FedEx (*outbound*). Resumindo, a imagem comercial pertence à FedEx, mas toda a operação é responsabilidade da Rangel Expresso S.A., que apesar de ser uma empresa administrativa e financeiramente independente, está contratualmente obrigada a reportar os níveis de serviço e estão previstas multas por certas falhas de serviço.

Actualmente a empresa conta com 128 trabalhadores, 29 viaturas FedEx, complementadas por outras viaturas do Grupo Rangel, e por subcontratados. A operação é suportada por dois pequenos aviões que fazem as ligações Lisboa-Madrid e Porto-Madrid, futuramente passará a ser um só avião a cumprir este trajecto (Madrid-Porto-Lisboa) o que trará desafios acrescidos à operação em Lisboa, porque a janela temporal irá encurtar.

Adicionalmente, a empresa tem um armazém em cada aeroporto, local onde a mercadoria é recebida e distribuída por diferentes veículos e onde é processada a parte final do processo de exportação, e outros dois armazéns (um no Porto, outro em Lisboa) que são partilhados com as outras operações do Grupo Rangel. É nestes armazéns que se situam as respectivas recepções da FedEx e onde são armazenados os volumes que – por qualquer motivo - não foram entregues aos clientes.

As estruturas da Rangel (ver Figura 2) dão um precioso auxílio a toda a operação da FedEx, que pode contar com 20 plataformas logísticas, com aproximadamente 273.000 metros quadrados, mais de 200 viaturas e cerca de 1500 colaboradores.



Figura 2- Instalações da Rangel

2.4 Caracterização da indústria

Esta indústria tem algumas especificidades, quando comparada com outras indústrias integrantes da área da logística. Relativamente ao eterno desafio de balancear e conciliar níveis de serviço aceitáveis com políticas que representem custos mínimos para as empresas, a prioridade é dada ao nível de serviço. A fiabilidade e a capacidade de entregar a carga nas condições previamente definidas, e no prazo acordado, é a principal razão pela qual os clientes recorrem aos serviços de correio expresso. As entregas têm que ser processadas num curto espaço de tempo, podendo haver diferentes prazos mas sempre num curto espaço temporal, mais reduzido que os praticados pelos serviços de correio clássico.

A maximização da utilização do espaço/capacidade disponível nos transportes utilizados não é uma prioridade, esse objectivo primordial da esmagadora maioria das organizações que operam na área da logística será sempre sacrificado em detrimento do cumprimento dos prazos de entrega previamente acordados com os clientes.

Pode haver algumas condicionantes que afectem a planificação das rotas a ser percorridas pelos estafetas, tais como a obrigatoriedade de realizar certas entregas até determinadas horas. No caso do presente caso de estudo, há volumes que têm que ser entregues até às 12:00 h, e outros sem restrições temporais (dentro do dia previamente acordado).

Resumindo, o foco tem que estar no nível de serviço, na capacidade da empresa entregar os volumes nos prazos acordados e nas condições certas. Só depois de asseguradas estas condições é que se deve procurar reduzir os custos ao mínimo. Primeiro vem a eficácia/nível de serviço, depois vem a eficiência.

Há, no entanto, outros desafios relevantes. Devido às características inerentes de alguns produtos tipo que costumam ser transportados através do correio expresso, é necessário um cuidado especial no seu manuseamento. Seja pela fragilidade dos produtos, seja por serem produtos potencialmente perigosos (o maior enfoque está nos produtos que podem pôr em risco a segurança das aeronaves), sendo que para estes últimos é necessário formações específicas para os poder manusear.

Outro factor distintivo desta indústria é a combinação de diferentes meios de transporte, o que representa diferentes desafios logísticos, principalmente se tivermos em conta que um dos principais meios – o avião – representa uma das indústrias mais reguladas a nível global. Adicionalmente, falta referir ainda que toda a carga que circule entre diferentes zonas comerciais fica sujeita ao escrutínio das diferentes zonas aduaneiras e a todos os trâmites legais e burocráticos que isso acarreta.

3. Revisão da Literatura

3.1 Problema do Caixeiro Viajante (TSP – *Traveling Salesman Problem*)

O Problema do Caixeiro Viajante – que será doravante identificado como TSP (*Traveling Salesman Problem*) – é um dos problemas de Investigação Operacional mais estudados e acerca do qual mais trabalhos foram realizados.

Tendo em consideração que neste trabalho não se pretende redefinir as áreas de influência dos estafetas, mas sim otimizar os seus percursos nas áreas previamente estabelecidas, este será o problema central desta dissertação.

O problema em apreço versa sobre um caixeiro viajante que tem que visitar n cidades, só pode passar por cada cidade uma única vez e a distância percorrida tem que ser o mais curta possível, tendo que regressar – no final – ao ponto de partida.

Genericamente:

O objectivo passa por determinar o caminho que apresente menores custos, partindo do ponto (nó) inicial, passando por outros pontos pré-definidos e regressando ao ponto inicial. De acordo com Matai et al. (2010), a métrica dos custos pode tomar diferentes formas: distância, tempo, consumo de combustível, etc.

O problema é representado por um grafo constituído por nós e arcos, em que os nós representam locais onde – fazendo referência ao problema original – o caixeiro viajante tem que passar, e os arcos representam o percurso entre nós, que tem um custo associado.

Tal como referido por Oliveira (2011), cada arco tem um custo associado, e é geralmente representado por C_{ij} , sendo que o i e o j representam diferentes nós. Nem sempre o custo associado ao arco compreendido entre os pontos i e j é igual em ambos os sentidos, como no exemplo do caso de estudo que está a ser apresentado, devido às contingências normais de uma cidade, que tem diferentes sinais de trânsito ou tráfegos automóveis dependendo das ruas e da altura do dia. Quando a distância a ser percorrida não é igual em ambos os sentidos, considera-se estarmos perante um TSP assimétrico (Kumar & Li, 1996).

Sempre que num caminho se regressa ao ponto de partida, considera-se um ciclo (ou circuito). Thompson & Singhal (1985) referem que estamos perante um ciclo hamiltoniano, caso esse ciclo tenha sido completado tendo passado uma, e uma só vez, por cada ponto. É difícil cumprir ciclos hamiltonianos em casos como os de uma rota rodoviária, dentro de cidades. Nestes casos, contudo, o mais importante é cumprir a menor distância possível, pelo que – cumprindo este requisito – torna-se irrelevante se houve um nó que tenha sido visitado mais que uma vez.

O TSP é um problema NP-difícil. Segundo Oliveira (2011), é possível resolver este problema recorrendo a métodos exactos, que nos permitem atingir soluções óptimas, mas só em casos mais simples, com dimensões modestas. O tempo de resolução do problema cresce exponencialmente à medida que a complexidade do mesmo vai aumentando. De referir ainda que os algoritmos de *branch and bound* são os mais relevantes, no âmbito dos métodos exactos.

Tendo em consideração as características do problema, o foco vai passar já para os métodos aproximados, que são mais aplicáveis a situações reais como a do presente caso de estudo.

3.1.1 Métodos aproximados aplicados ao TSP

Os métodos aproximados dividem-se em três grupos, que serão enunciados e explicados de seguida, por ordem crescente de complexidade: heurísticas construtivas, heurísticas de melhoramento e metaheurísticas.

3.1.1.1 Heurísticas construtivas

Estas heurísticas são relativamente simples e requerem um reduzido esforço computacional.

A exposição dos seguintes algoritmos é apoiada na Introdução ao TSP realizada por Oliveira (2011):

- **Vizinho mais próximo**

Primeiro escolhe-se um nó i aleatoriamente, e inicia-se a construção do ciclo. De seguida tem que ser identificado o nó j mais próximo do nó i , integrá-lo no circuito e repetir o mesmo passo para o nó j , identificando o nó k mais próximo e assim sucessivamente. No final liga-se o último nó ao nó i e fecha-se o ciclo hamiltoniano. A solução obtida é influenciada pelo nó de partida, devido ao facto de a heurística apontar sempre para um óptimo local.

Esta heurística deve ser repetida por diversas vezes, através da diversificação do nó inicial. A partir deste procedimento vão-se obter diferentes soluções, pelo que basta escolher a melhor solução.

- **Inserção mais próxima**

Começa-se com um nó inicial i , (escolhido arbitrariamente) e liga-se ao nó j que apresente o menor custo/distância c_{ij} , formando assim um sub-ciclo $i-j-i$. Seguidamente procura-se o nó k - que não esteja presente no sub-ciclo - que esteja mais próximo do último nó inserido no sub-ciclo. Após a identificação do nó k , insere-se o nó escolhido entre o arco (i, j) que minimize o custo de inserção ($c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$). Repete-se este processo até todos os nós estarem incorporados no ciclo.

Esta heurística pode ser utilizada quando aparece um nó novo, que não faça parte do circuito, e tenha que ser integrado no mesmo. Deve-se integrar de seguida o nó isolado no circuito,

ligando-o ao nó mais próximo, de maneira que o custo de inserção seja o mais reduzido possível.

À semelhança da anterior heurística, deve-se diversificar o ponto de partida, e optar pela solução mais próxima do óptimo.

- **Inserção mais distante**

Começa-se com um nó inicial i (escolhido arbitrariamente), e liga-se ao nó j que apresente o maior custo/distância c_{ij} , formando assim um sub-ciclo $i-j-i$. Seguidamente procura-se o nó - que não esteja presente no sub-ciclo – que esteja mais distante de um dos nós do sub-ciclo (aquele que apresente um maior c_{ij}). Após a identificação do nó k , insere-se o nó escolhido entre o arco (i, j) que minimize o custo de inserção $(c_{ik} + c_{kj} - c_{ij})$. Repete-se este processo até todos os nós estarem incorporados no ciclo.

- **Inserção de menor custo**

A diferença entre esta heurística e a anterior é que neste caso, o critério de escolha para o nó isolado a ser inserido é, tal como o nome sugere, o critério do menor custo de inserção.

Para esta heurística mantém-se a necessidade de diversificar as escolhas iniciais, contudo recomenda-se que se escolha, à partida, os nós que apresentem um custo de ligação mais reduzido.

- **Inserção arbitrária**

Esta heurística é similar às anteriores, sendo que só o critério de escolha para o nó a inserir, a distingue. Neste caso, segundo Azar Y. (1994), insere-se um nó k aleatório que não esteja presente no ciclo, entre o arco (i, j) que minimize $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$. Este processo prossegue até que se feche o ciclo hamiltoniano.

As heurísticas construtivas previamente mencionadas serão testadas no capítulo seguinte, há no entanto muitas outras que devem ser referidas e aprofundadas em outros trabalhos de cariz similar, tais como:

- Árvore de ligações mínima, introduzida em 1926 por Otakar Boruvka;
- Algoritmo *savings*, também conhecido como a heurística de Clark e Wright, proposta em 1964;
- Algoritmo de Christofides, desenvolvido pelo autor que dá o nome ao algoritmo, em 1976;
- Heurísticas baseadas na envolvente convexa;

3.1.1.2 Heurísticas de melhoramento para o TSP

Estas heurísticas pretendem – tal como o nome indica – melhorar a solução obtida anteriormente,

através de uma pesquisa e análise à vizinhança dessa mesma solução. O melhoramento é realizado com a introdução, remoção ou trocas de arcos ou nós do grafo em questão.

O algoritmo mais reconhecido foi apresentado por Lin (1965):

Caso sejam removidos r arcos, irão surgir r cadeias. De seguida averigua-se quais são as ligações de custo mais baixo que podem reconectar o circuito. Estamos perante um circuito *r-optimal*, sempre que um circuito não seja susceptível de ser melhorado. Quanto mais elevado for o r maior será o esforço computacional, contudo - como já referimos anteriormente – a probabilidade de atingirmos uma solução mais próxima do óptimo também aumenta. No entanto, a partir dos circuitos *3-optimal* torna-se praticamente inviável incrementar o valor de r .

“Experiências realizadas sobre redes reais, com dimensão à volta dos 50 nós, revelam um desvio médio acima do óptimo da ordem dos 1.3% para soluções *3-optimal*.” (Oliveira R., 2011).

Balanceando o acréscimo de tempo computacional que um aumento do valor de r implicaria e o afastamento do óptimo que implica uma solução *3-optimal*, conclui-se que é contraproducente ir mais além.

No decorrer deste trabalho, um dos métodos a ser testado será o 2-Opt:

- **2-Opt**

De acordo com Saiyed A. (2012), este algoritmo consiste na remoção de duas arestas de um ciclo e posterior ligação dos dois caminhos entretanto criados. Este movimento só será empregue caso provoque uma optimização, no momento em que já não seja possível realizar um movimento 2-Opt que melhore a solução é altura de parar a busca: considera-se estarmos perante um ciclo 2-optimal.

3.1.1.3 Metaheurísticas para o TSP

No caso do TSP a dimensão do problema aumenta consideravelmente à medida que o número de pontos a visitar aumenta. Para um problema com n pontos e uma ligação entre cada um deles, o número de itinerários a ser considerados é $(n-1)!/2$, como explanado por Hillier & Lieberman, (2005). De acordo com os mesmos autores, o principal papel das metaheurísticas é lidar com problemas que sejam demasiado complexos para serem tratados por algoritmos exactos ou por heurísticas simples.

A diferença mais relevante, por comparação com as heurísticas anteriores, é a incorporação de procedimentos que evitam a estagnação em óptimos locais, tal como referido por Oliveira (2011).

O objectivo passa por adoptar estratégias que evitem a estagnação em óptimos locais, nesse processo vai-se chegar a soluções mais afastadas da solução óptima ou até a soluções inviáveis, mas sempre com o objectivo final de encontrar a solução óptima global.

É normal recorrer a metáforas para explicar as metaheurísticas – sendo que por vezes são essas mesmas metáforas a fonte de inspiração para a criação de diferentes metaheurísticas – como são

exemplo a Evolução Natural (Algoritmos Genéticos), o comportamento das colónias de formigas (ACO, *Ant Colony Optimization*), e outras que tais.

Na elaboração de uma metaheurística deve-se sempre ter em consideração o objectivo final e seguir uma estratégia equilibrada e previamente definida em relação à intensificação e à diversificação do espaço de busca. A intensificação trata de trabalhar as informações obtidas de maneira a melhorar a solução actual, por oposição à diversificação que trata de explorar o espaço de busca das soluções tendo em vista obter novas informações (Hillier & Lieberman, 2005).

As metaheurísticas partem do mesmo procedimento geral (meta-procedimento) e são posteriormente trabalhadas e adaptadas a cada tipo diferente de problemas, no caso do TSP as metaheurísticas mais relevantes são a **Pesquisa Tabu**, a **ACO**, o **Arrefecimento Simulado** e os **Algoritmos Genéticos**, que iremos aprofundar de seguida:

Pesquisa Tabu

De acordo com Glover F. *et al.* (1998) esta metaheurística tem como objectivo levar um procedimento de busca de uma heurística local a explorar o espaço de soluções para além do óptimo local.

O princípio básico deste método é prosseguir a procura local na vizinhança, sempre que se chegue a um óptimo local, segundo Alkallak I. *et al.*, (2008). De acordo com os mesmos autores, partimos de uma solução inicial e deslocamos a nossa pesquisa para uma solução na vizinhança, que tem que respeitar certas restrições determinadas pela lista tabu. E assim sucessivamente. Sempre que uma acção seja realizada será considerada tabu durante as próximas T iterações. É para esse efeito que é necessário a memória adaptativa, os óptimos locais são sempre aceites – mesmo que inferiores à solução actual – o que nos permite continuar a pesquisa.

Segundo Basu S. (2012) a lista tabu é criada para evitar que se considerem soluções recentemente visitadas, ignorando assim essas soluções enquanto prossegue a busca na vizinhança. As constantes alterações da lista tabu fazem deste algoritmo um algoritmo de busca com memória adaptativa.

O mesmo autor refere que a pesquisa tabu só termina quando certas condições são cumpridas, seja relativamente ao tempo de execução, seja pelos objectivos relativos à qualidade da solução.

ACO

Este tipo de algoritmos é inspirado, tal como o nome indica, no comportamento de colónias de formigas, mais concretamente na procura de alimento.

As formigas deslocam-se aleatoriamente na procura de comida, quando a primeira formiga encontra um local que tenha alimento, ao regressar ao ninho vai deixando feromona pelo caminho, o que representa um sinal para as outras formigas que há alguma probabilidade de estarem no caminho correcto. Se elas prosseguirem pelo mesmo caminho, quando estiverem a regressar ao ninho irão repetir o procedimento da outra formiga, deixando mais feromona pelo caminho. Entretanto mais formigas se seguirão até que passará a haver diferentes vias de acesso para a fonte de alimento. Cada vez que as formigas transportam alimento deixam cair feromona, portanto – naturalmente – os

caminhos mais curtos irão estar mais carregados de feromona, o que permitirá otimizar a solução, que representa o caminho mais curto.

Aplicando esta situação ao TSP, de acordo com Yang et al. (2008) e considerando n cidades com distâncias d_{ij} , as formigas artificiais são distribuídas aleatoriamente pelas cidades. Cada uma das formigas vai optar por seguir para outra cidade de acordo com os trilhos de feromona que encontrar.

As principais diferenças entre as formigas reais e as artificiais são:

- 1- As artificiais têm memória, conseguem lembrar-se das cidades que visitaram e portanto não voltam às mesmas cidades;
- 2- As formigas artificiais não são cegas, elas conhecem as distâncias entre duas cidades e preferem escolher as cidades mais próximas das suas posições.

Arrefecimento Simulado

O objectivo é, através de sucessivas mudanças à solução inicial, chegar a uma solução de custo mínimo.

Laporte G (1991) deu um importante contributo na explanação deste método que deriva de uma metáfora relacionada com um processo de arrefecimento de material usado na indústria metalúrgica. Neste processo, primeiro aquece-se o material até que este chegue a um estado em que as partículas estejam aleatoriamente distribuídas no estado líquido, de seguida a temperatura vai sendo reduzida até que o sistema atinja um estado de equilíbrio para um determinado nível de temperatura. À medida que o sistema for arrefecendo o sistema vai convergindo para um estado estável.

O algoritmo de Arrefecimento Simulado tem como objectivo substituir uma solução inicial por uma solução de custo mínimo. Inicialmente o valor da solução é elevado, tal como o número de movimentos (alterações de temperatura) possíveis, ao reduzir gradualmente o valor da mesma (temperatura) o número de movimentos possíveis também vai diminuindo, até que não seja possível realizar mais alterações à solução. É nesse momento que o óptimo local foi alcançado, que corresponde ao estado estável, ao custo mínimo.

Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos consistem em metaheurísticas inspiradas no processo de evolução natural, cujo objectivo é encontrar soluções óptimas recorrendo a técnicas similares a certos processos na selecção natural, como são exemplo a hereditariedade, a mutação, a selecção natural e os cruzamentos de genes.

Tudo se baseia no princípio da “sobrevivência do mais forte”, os genes dos indivíduos mais fortes vão-se espalhar pela população e produzir descendentes com melhores genes, fruto da agregação dos melhores genes de cada um dos pais, e assim sucessivamente. Figueira (2014) refere que cada indivíduo representa uma possível solução para o problema, e normalmente é representado em binário, {0,1}. Os indivíduos representam os cromosomas e as variáveis os genes, assim sendo uma solução é composta por diversas variáveis. O objectivo passa por encontrar a solução mais próxima do óptimo, através das diferentes combinações de variáveis.

O espaço de busca tem sempre o mesmo número n de soluções e a cada solução é associado um coeficiente correspondente à qualidade da solução. É com base neste coeficiente que as soluções “acasalam”, quanto mais alto for este coeficiente mais vezes a solução será usada para combinar com outras, aumentando assim a probabilidade de geração de soluções com coeficientes maiores, devido à partilha dos melhores genes entre os indivíduos mais fortes. Como referimos anteriormente, o número de soluções não sofre alterações, logo as soluções antigas vão sendo substituídas, o que à partida dará origem a uma geração mais forte - com soluções mais próximas do óptimo. Cada geração apresentará melhores soluções que as anteriores até que chegue a um ponto em que as diferenças deixem de ser significativas (Talbi, 2009).

O objectivo é introduzir diversidade e prevenir uma convergência entre óptimos prematura.

3.1.2 Heurísticas com relações de precedência

No nosso caso de estudo há certas particularidades que o diferem dos demais casos clássicos do TSP, sendo que a relação de precedência que existe entre diferentes pontos a visitar é o mais relevante.

Há alguns estudos e trabalhos empreendidos por diferentes autores que abordam esta temática (Renaud J. et al., 2000; Kubo M. et al., 1991; Bockenhauer H. et al., 2010), no entanto todos aqueles com que o autor deste trabalho se deparou apresentavam algumas diferenças importantes em relação ao pretendido: as relações de precedência ocorrem entre **pares** de pontos, seja na prestação de serviços (transporte de pessoas) seja no transporte de bens.

No presente caso de estudo as entregas são realizadas numa primeira etapa e as recolhas na etapa seguinte. Ou seja, há um conjunto de pontos que deve ser visitado numa etapa inicial (em ordem arbitrária, conquanto os custos sejam mínimos) e outro conjunto de pontos que devem ser visitados na etapa seguinte. A relação de precedência existe entre dois **conjuntos** de pontos o que apresenta uma diferença significativa relativamente ao que se encontra na literatura.

3.2 VRP –Vehicle Routing Problem

Este problema é – tal como o anteriormente abordado – muito popular no âmbito da Investigação Operacional, havendo inúmeras variantes do mesmo.

O objectivo é distribuir bens, partindo de um ponto, a um conjunto de clientes através de uma frota de veículos destacados para o efeito, frequentemente respeitando um limite temporal. A solução passa por encontrar o custo mínimo para cada rota, satisfazendo todas as restrições e cumprindo todos os pedidos de cada cliente (Suthikarnnarunai, 2008).

O problema é formado por nós e arcos, sendo que os nós representam a localização dos clientes e o ponto de partida (armazém), e os arcos representam a rodovia (os possíveis caminhos) e têm um custo associado. Cada nó tem um número de bens a ser entregue correspondente, e cada veículo tem um limite de capacidade e um custo correspondente.

Ainda de acordo com Suthikarnnarunai (2008) poderá haver mais objectivos para além da minimização dos custos de transporte, tais como minimizar o número de veículos necessários ou minimizar penalidades associadas com a prestação de um serviço parcial aos clientes.

Este problema não se aplica na sua totalidade ao nosso caso de estudo, na medida em que a definição de zonas de influência é prévia ao estabelecimento das rotas. No entanto, caso considerássemos uma reconfiguração completa e incondicional de todo o processo, este seria o problema central a ser estudado e aprofundado.

Nesse caso, teríamos que recorrer a heurísticas do tipo *Cluster-First Route-Second*, que tratam de agregar zonas de influência, e posteriormente tratam da organização das rotas.

Os possíveis métodos a ser utilizados na resolução do problema do estabelecimento de rotas, após a definição da área de influência de cada veículo, são idênticos aos utilizados na abordagem ao Problema do Caixeiro Viajante, pelo que não irão ser novamente abordados nesta secção.

3.2.1 Cluster-First Route-Second

De acordo com Curcio et al. (2015), os vértices (que correspondem aos clientes) inicialmente são divididos pelo maior número de zonas de influência possível, dados os meios (correspondentes ao número de veículos) que estão à disposição. Assim que todas as zonas de influência estejam definidas, passarão a ser tratadas independentemente por um certo período de tempo, findo o qual as melhores soluções encontradas para cada área de influência irão formar a solução final.

Um tempo máximo é definido para correr o algoritmo, bem como um número de zonas de influência, do qual dois terços, no máximo, são alocados à optimização – individual e sequencial – de cada uma das zonas de influência, sendo o tempo distribuído proporcionalmente de acordo com o número de clientes que cada zona engloba. O restante um terço do tempo inicialmente estabelecido é dedicado a optimizar o aglomerado de soluções encontradas. Quando é atingido o limite temporal é adoptada a melhor solução encontrada ao longo do processo.

3.2.2 Algoritmo de Varrimento (Sweep)

Este algoritmo é usado para definir as zonas de influência, e está na origem do método anteriormente descrito. O objectivo é agrupar na mesma zona de influência os clientes que estejam geograficamente próximos e que possam ser servidos pelo mesmo veículo.

Segundo Suthikarnnarunai (2008), o algoritmo procede do seguinte modo:

- Localizar o armazém no centro do plano bi-dimensional;
- Introduzir as coordenadas polares de cada cliente, relativamente ao armazém;
- Começar a varrer todos os cliente, aumentando o ângulo polar;
- Destacar cada cliente englobado no varrimento à zona de influência actual;
- Parar o varrimento quando o próximo cliente exceder a capacidade do veículo;
- Criar uma nova zona de influência a partir da localização do primeiro cliente excluído da última zona de influência;
- Repetir o processo até todos os clientes terem uma zona de influência correspondente.

3.2 Avaliação do Desempenho

3.3.1 Introdução

O desempenho, no âmbito do presente caso de estudo, pode ser definido pelo rendimento apresentado pela organização, pelos processos ou individualmente – seja relacionado com os veículos, seja relacionado com os trabalhadores que integram a organização e os processos objecto deste trabalho.

O controlo do desempenho tem uma importância fulcral para controlar a eficácia e a eficiência dos processos e da utilização dos recursos, na aferição do cumprimento dos objectivos e na monitorização dos mesmos. Desta maneira é possível fazer o devido balanço entre o que se pretende, respeitando os objectivos estratégicos da organização. Não raras vezes os dados resultantes deste controlo resultam em redefinições de objectivos e em alterações de processos. É com esse intuito que são criados os indicadores de desempenho.

Esta visão é sintetizada por Lord Kelvin (1824-1907):

“When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it . . . [otherwise] your knowledge is of a meagre and

unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in thought advanced to the stage of science.”

As maiores dificuldades na definição dos indicadores de desempenho são determinar quais os indicadores a utilizar e qual a melhor maneira de os expressar, quais as melhores medidas e métricas associadas, tal como foi sugerido por Phillips, et al (1999).

Segundo Gunasekaran et al. (2001) é necessário fazer um balanço equilibrado entre os indicadores financeiros – que são mais relevantes para as decisões estratégicas – e os não financeiros – que são mais relevantes para a análise dos processos e da sua monitorização diária. Este balanço varia bastante de acordo com os objectivos da empresa e com as características da indústria em que as empresas estão inseridas, como é exemplo disso o nosso caso de estudo: o nível de serviço é prioritário (indicador não financeiro) em detrimento da minimização dos custos operacionais (indicadores financeiros).

Neste caso específico, os indicadores de desempenho também serão usados como um importante auxílio à definição dos itinerários praticados e de quais as viaturas a ser utilizadas, entre outros parâmetros que influenciam o desempenho dos processos de distribuição e recolha no sistema logístico em estudo. Contudo, a importância dos indicadores de desempenho não cessa após concluída a fase de concepção dos processos, é igualmente importante na monitorização dos seus desempenhos, tendo em vista aferir se os objectivos propostos estão a ser cumpridos e se haverá possibilidade de os superar.

Outra vantagem proporcionada pela adopção de indicadores de desempenho é o aumento da comunicação entre as pessoas e os departamentos integrantes das organizações (Lohman et al., 2004).

De acordo com Gunasekaran & Kobu (2007) podemos resumir a relevância dos indicadores de desempenho para as organizações nos seguintes factores:

- Identificar o sucesso;
- Identificar se as necessidades dos clientes são satisfeitas;
- Providenciar uma melhor compreensão dos processos;
- Identificar “*bottlenecks*”, desperdícios, problemas e oportunidades de melhoramentos;
- Permite tomar decisões baseadas em números concretos;
- Permite avaliar a evolução dos processos;
- Facilita uma maior comunicação e cooperação dentro da organização.

Wisner & Fawcett (1991) defendem que os indicadores de desempenho podem – e devem – auxiliar na identificação de áreas problemáticas, bem como na reformulação de objectivos estratégicos (quando tal se justifique).

São várias as metodologias de gestão que recorrem a indicadores de desempenho, como as que se referem de seguida:

Gestão por objectivos

Toda esta temática dos indicadores de desempenho começa a ser abordada em 1954, introduzida pelo Peter Drucker, no âmbito do sistema de gestão por si proposto: Gestão por Objectivos. Neste sistema, os objectivos são definidos, conjuntamente, pelos gestores e pelos seus subordinados obedecendo a janelas temporais previamente definidas. Este processo aumenta as responsabilidades dos subordinados, na medida em que os objectivos foram objecto de diálogo e tiveram a respectiva concordância. Podem ocorrer, pontualmente, reuniões em que os objectivos sejam avaliados, revistos e até redefinidos.

O princípio em que este método se baseia é o da responsabilização de cada interveniente, tendo em conta que todos eles participaram no processo de definição dos objectivos, a probabilidade de cada um deles contribuir positivamente para que a empresa cumpra os seus objectivos aumenta, bem como as consequências caso os objectivos não sejam cumpridos. Tudo isso contribui para uma maior motivação e autonomia por parte dos trabalhadores, tal como promove uma melhor comunicação e coordenação dentro das empresas.

Em contrapartida, poderá dar origem a um efeito pernicioso: pode retirar motivação aos trabalhadores no que concerne aos objectivos da empresa que não lhes estejam directamente imputados. Os gestores dos níveis superiores devem ter isso em conta quando definem (conjuntamente com os seus subordinados) os objectivos a cumprir, imputando alguns objectivos mais abrangentes para mitigar esse efeito.

Balanced scorecard

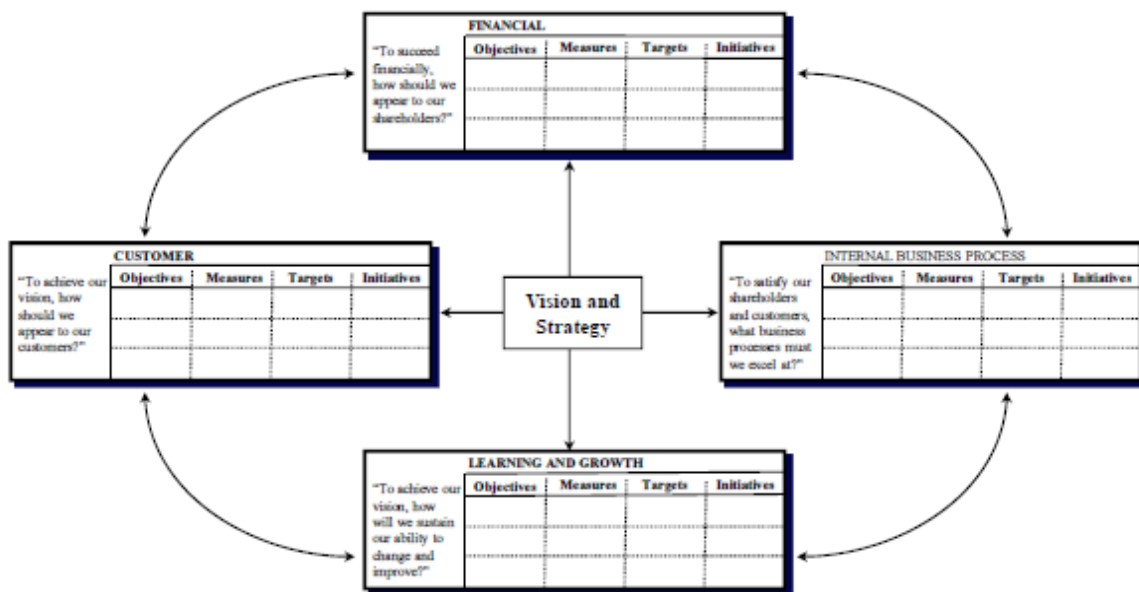
Este é o método mais popular relativamente à análise do desempenho, desenvolvido por Kaplan & Norton, em 1992. O desempenho das organizações é dividido em 4 áreas diferentes: cliente, negócios internos, vertente financeira, inovação e aprendizagem. O objectivo é conciliar todas estas áreas, tendo sempre em conta o curto prazo e o longo prazo, os objectivos financeiros e os não financeiros, e os desempenhos internos e externos, (Kaplan & Norton, 1992). Ao interligar os indicadores financeiros com as outras áreas, as empresas conseguem monitorizar os resultados das operações passadas e actuais, focando-se - concomitantemente - no crescimento futuro, tal como foi exposto por Ghosh e Mukherjee (2006). Isto torna-se especialmente relevante numa era em que se evoluiu de uma filosofia predominante em que a obsessão era reduzir os custos, para uma filosofia que valoriza mais alcançar

um equilíbrio entre o controlo dos custos e a criação - e posterior aproveitamento - de oportunidades de crescimento, (Martinsons et al., 1999). Como se pode constatar na Figura 3, este método incentiva o estabelecimento de objectivos, metas e medidas de desempenho, dando assim um importante suporte ao planeamento estratégico, ao transformar os seus objectivos em acções operacionais (Rajesh et al., 2012).

Uma das principais limitações deste método é a omissão da comparação do desempenho das empresas em relação aos seus competidores, comparação que estará presente apenas, e de maneira implícita, no quadro dedicado à perspectiva dos clientes – a maneira como o cliente analisa uma empresa é influenciada pela análise que o mesmo faz relativamente às empresas concorrentes (Neely, 2007).

Esta limitação pode ser eliminada recorrendo a um processo de *benchmarking*, como vai ser visto de seguida.

Figura 3 - Estrutura original do Balanced Scorecard. (Kaplan, 2010)



Benchmarking

De acordo com a APQC (American Productivity and Quality Center), o *benchmarking* é o processo

de identificar, compreender, e adaptar as melhores práticas e processos de organizações globais a uma empresa para melhorar o seu desempenho.

Existem diversos tipos de *benchmarking*, e todos eles são relevantes na busca de melhores desempenhos, podem variar entre a categoria financeira, interna, de produto, estratégica, entre outras, tal como o exposto por Sekhar (2010).

Para a realização efectiva deste processo, é necessário optar pelos indicadores de desempenho **adequados**, e que sejam **transversais** entre as diferentes organizações, especialmente entre as organizações que integram a mesma indústria. Quando se procura realizar um processo de *benchmarking* com as melhores organizações da indústria, a adequação e transversalidade dos indicadores não costuma ser um entrave, na medida em que os indicadores tendem a ser comuns entre si, sendo a maior limitação encontrada o acesso aos dados em causa, que são - por vezes - protegidos pelas empresas. Contudo, certos indicadores (essencialmente os financeiros) não são passíveis de serem mantidos confidenciais, a partir de uma certa dimensão e quando as empresas estão cotadas no mercado bolsista, passam a estar legalmente vinculadas à exposição dos indicadores financeiros mais relevantes, por exemplo. O *benchmarking* é, em si, um método tangível de avaliação do desempenho (Kazmi, 2007).

3.3.2 Definição dos Indicadores de Desempenho

Os Indicadores devem absorver a essência da organização, sendo coerentes com a estratégia e com os objectivos da empresa – conciliando as metas que se pretendem atingir tanto no curto prazo, como no longo prazo. Deve-se, portanto, fazer uma selecção cuidada: é preferencial usar poucos indicadores relevantes, ao invés de usar muitos indicadores que se podem tornar difíceis de interpretar e de se inter-relacionar (Halme, 2010).

Outro factor fundamental a considerar é a recolha de dados: tem que ficar definido à partida quais os dados a serem utilizados, bem como a maneira como serão recolhidos – isto é válido igualmente para as métricas a serem utilizadas. A recolha de dados, e todos os procedimentos relacionados, tem que ser consistente ao longo de toda a cadeia, entre todos os processos. No entanto, tão ou mais importante que os dados recolhidos no presente, e os que serão recolhidos no futuro, são os dados históricos da organização. Principalmente, como se compreende, quando se trata de reformular processos ou operações.

À luz das especificidades do nosso caso de estudo, e agregando as teorias dos diferentes autores estudados, apresenta-se de seguida o Quadro 2, que contém dez possíveis indicadores de desempenho a serem usados no decorrer da segunda fase deste trabalho:

Quadro 2 - Indicadores de desempenho

Indicadores de Desempenho	Descrição	Unidades de Medida	Referências
<i>On-Time In-Full</i>	Encomenda entregue respeitando todos os requisitos previamente acordados – temporais, quantitativos e qualitativos.	%	Gunasekaran et al. (2004); Krauth et al. (2004;2005)
<i>On-Time</i>	Entrega realizada no prazo acordado.	%	Gunasekaran et al. (2004); Krauth et al. (2004;2005); Beamon (1999)
Eficácia	Rácio de entregas realizadas vs encomendas feitas.	%	Krauth et al. (2004;2005); Garcia et al. (2012)
Número de entregas	Quantidade de entregas realizadas num determinado espaço de tempo.	#/unidade de tempo	Krauth et al. (2004;2005)
Ocupação dos veículos	Capacidade dos veículos utilizada por viagem.	%	Krauth et al. (2004;2005)
Distância percorrida	Distância percorrida por dia.	Km	Krauth et al. (2004;2005)
Consumo de combustível	Quantidade de combustível consumido por km.	l/km	Krauth et al. (2004;2005)
Produtividade	Número de entregas feitas por estafeta/veículo, em cada dia.	#/dia	Bowersox et al. (2013); Beamon (1999)
Reclamações	Rácio de reclamações pelo número total de encomendas.	%	Krauth et al. (2004;2005); Garcia et al. (2012)
*Quantidade de CO2 emitido	Número de partículas de CO2 emitidas por cada milhão de partículas no ar.	Ppm	Krauth et al. (2004;2005)

* A FedEx dá uma grande importância à vertente ambiental, em todas as suas operações.

4. Implementação do Modelo de Análise e Resultados

4.1 Introdução

Neste capítulo pretende-se apresentar os métodos utilizados tendo em vista a análise do modelo actual de operação e a elaboração de propostas de melhoria dos processos de distribuição através da identificação do melhor método/heurística a ser implementado para otimização das rotas de recolha/distribuição.

É de suma importância referir que a empresa não pretende pôr em causa as zonas de influência previamente estabelecidas para cada estafeta, devido a uma política de proximidade e confiança que pretende cultivar entre os estafetas e os clientes mais regulares. Tendo essa limitação em consideração, estamos perante um conjunto de TSP's.

A Rangel Expresso disponibilizou os dados das entregas e recolhas respeitantes ao mês de Fevereiro (2017), sendo este um mês típico de entregas, de acordo com a empresa. Serão estes os dados utilizados para exploração dos métodos (algoritmos) de otimização das rotas que foram seleccionados e que servirão para testar esses métodos e concluir qual o mais adequado para implementar na empresa tendo em vista a melhoria da operação actual.

De seguida, após breve caracterização dos dados recolhidos, é descrita a implementação computacional dos métodos, finda a qual obtemos os resultados que iremos analisar na secção final deste capítulo.

4.2 Recolha e tratamento de dados

Após o recebimento dos dados relativos ao mês de Fevereiro (considerado um mês típico da operação) foi necessário proceder a um isolamento de cada rota, de modo a avaliar cada uma isoladamente. A zona de influência de cada rota não será alterada, devido à política da empresa na sua relação com os clientes. Cada estafeta é responsável por uma zona e isso não será posto em causa neste trabalho. Foi estabelecido que apenas as rotas que operam em Lisboa serão objecto de estudo. Assim sendo, temos as seguintes rotas dispostas no Quadro 3:

Quadro 3 - Rotas objeto de estudo

Rota	Zona	Veículo	Cubicagem (m3)
LI100	Avenidas Novas	Mercedes Vito 114 CDI	5.8
LI110	Baixa	Mercedes Vito 114 CDI	5.8
LI120	Avenida da Liberdade	Mercedes Sprinter 313CDI/32	8.5
LI150	Lumiar	Mercedes Sprinter 313CDI/32	8.5
LI190	Parque das Nações	Mercedes Sprinter 313CDI/32	8.5
LI193	apoio às Avenidas Novas	Mercedes Vito 114 CDI	5.8
LI292	Alcântara	Mercedes Sprinter 313CDI/37	10.5

Temos portanto sete rotas dedicadas em exclusivo à cidade de Lisboa.

Cada zona é meramente indicativa, no sentido em que não havendo uma rota dedicada a uma zona, essa zona não deixará de ser servida pelas rotas que lhe sejam mais próximas. As zonas supracitadas são consequência da maior densidade de entregas e recolhas que incide nessas mesmas zonas.

As áreas onde cada rota opera não são completamente estanques, havendo sobreposição em algumas zonas, entre certas rotas. No entanto, dentro de cada uma destas zonas os estafetas servem sempre os mesmos clientes e operam em ruas distintas.

Após uma reunião com o orientador da empresa, chegou-se à conclusão que a percentagem de utilização dos veículos não é muito relevante, na medida em que uma parte muito significativa das entregas e recolhas são pacotes ou envelopes de reduzidas dimensões, retirando casos muito pontuais. Assim sendo, o tempo é o factor mais limitativo em toda a operação. Pelo que se pode concluir que a cubicagem, previsivelmente, não gerará desafios à operação.

Tentou-se obter mais dados relativamente aos veículos, com o intuito de aferir gastos de manutenção, gastos de combustível e quantidade de CO2 emitido, no entanto tal não nos foi disponibilizado, por

difícil acesso aos dados ou por serem inexistentes.

Posteriormente teve que se filtrar todas as entregas e recolhas tentadas (não só as que foram efectivamente realizadas), e determinar as coordenadas respeitantes a cada uma delas. Com o resultado deste processo vão ficar reunidas as condições necessárias ao cumprimento da fase seguinte: calcular as distâncias entre os diversos pontos.

A já referida escassez de dados impossibilitou o apuramento dos restantes indicadores de desempenho definidos no capítulo anterior, com excepção do número de entregas (e recolhas, no nosso caso de estudo) realizadas. Contudo, este indicador só é possível calcular considerando apenas o método atual, não sendo possível estabelecer uma comparação com os cenários que se verificariam após a implementação dos métodos em estudo. O número de entregas (linha superior) e recolhas (linha inferior) realizadas por cada rota pode ser consultado no Quadro 4:

Quadro 4 - Número de entregas e recolhas (método atual)

Dia Rota	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	TOTAL
	LI100	46	49	61	44	30	37	35	40	46	33	35	39	49	38	33	50	27	26	46
	12	0	0	15	12	14	13	15	10	13	13	20	11	11	13	15	7	11	12	217
LI110	24	35	30	46	32	44	38	60	46	31	24	27	61	51	37	30	21	45	39	721
	8	0	0	11	10	9	10	12	9	10	16	18	11	13	7	6	16	12	12	190
LI120	33	35	81	84	40	46	53	54	53	37	49	47	64	53	62	42	39	54	58	984
	18	0	0	13	11	20	18	16	16	17	16	14	15	11	22	14	13	16	9	259
LI150	41	29	34	51	33	38	53	33	36	31	28	51	32	53	35	0	0	0	0	578
	11	0	0	7	5	4	6	3	6	9	6	5	3	7	12	0	0	0	0	84
LI190	47	47	36	66	54	47	46	44	55	39	37	33	50	50	49	32	30	42	61	865
	16	0	0	9	11	9	16	13	10	10	14	10	14	7	11	12	9	19	13	203
LI193	2	1	1	30	0	0	2	0	33	0	2	1	3	53	40	29	44	27	51	319
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	7	2	0	0	11
LI292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	5	2	6	1	1	3	1	2	3	2	1	6	2	4	2	4	46
TOTAL	259	196	243	381	240	274	291	291	324	231	242	268	315	348	328	239	212	254	305	5241

Contudo, após uma análise cuidada dos dados que foi possível recolher, chegou-se à conclusão que apenas a distância percorrida seria possível de calcular, devido ao fraco alcance dos dados disponibilizados. Também o número de entregas (e recolhas no nosso caso de estudo) foi possível de determinar, contudo não é possível estabelecer um termo comparativo com uma posterior aplicação dos métodos em estudo.

4.3 Interface de Programação de Aplicações (API)

Para o cálculo das distâncias entre os diversos pontos foi necessário desenvolver uma API (acrónimo de *Application Programming Interface*).

O serviço da *Google*, *Distance Matrix Service* usa um modelo de deslocações que possibilita a partir de coordenadas que mapeiam origens e destinos determinar a distância e a duração entre esses mesmos destinos. As distâncias geradas dizem respeito à distância rodoviária entre os diferentes pontos.

Este serviço faz parte da *Google Maps Javascript API* e como tal foi usada a linguagem de programação *JavaScript*. Também foi necessário, usando PHP (uma linguagem de programação do lado do servidor), gerar uma aplicação web muito minimalista que permitisse de uma maneira muito simples gerar dinamicamente para um ficheiro à parte e para uma página web as distâncias pretendidas.

Depois de geradas todas as distâncias entre todos os pontos foi necessário construir uma matriz assimétrica de distâncias para cada dia respeitante a cada rota. Com o objectivo de introduzir a matriz no *script* do R que nos irá permitir aferir que heurísticas apresentarão melhores resultados para o nosso caso de estudo.

4.4 R (software e linguagem de programação)

Optou-se por recorrer à linguagem de programação R, que é elaborada no *software* livre R (partilham a mesma nomenclatura), que permite efetuar as diferentes operações necessárias à obtenção dos resultados pretendidos.

O R pode ser estendido através da instalação de diferentes *packages* (pacotes) disponíveis. Para a resolução do nosso caso de estudo foi necessário descarregar o *package* TSP.

O *package* “TSP” é usado com a linguagem de programação R para poder comparar as heurísticas por ele disponibilizadas. Estas heurísticas vão permitir comparar para cada rota as distâncias percorridas baseando-nos em pressupostos diferentes de acordo com a heurística escolhida.

4.5 Implementação dos Algoritmos

4.5.1 Operação actual

Após a ordenação cronológica das entregas e das recolhas procedeu-se ao cálculo da distância percorrida em cada dia. De seguida calculou-se o total, tendo em vista uma visão mais global dos resultados.

Podemos aferir a distância percorrida por cada estafeta em cada rota nos Quadros 5 a 11:

Quadro 5 - LI100 (método atual)

LI100			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	52	17	69
2	56,4	0	56,4
3	57,5	0	57,5
6	32,3	33,8	66,1
7	43,9	20,1	64
8	48,4	28,3	76,7
9	35,6	24,6	60,2
10	65,8	33,3	99,1
13	41,5	17,4	58,9
14	40,6	20,6	61,2
15	39,1	21,7	60,8
16	36,4	37,3	73,7
17	45	22,5	67,5
20	33,2	21,1	54,3
21	58,8	32,2	91
22	46,3	27,1	73,4
23	29,1	15,2	44,3
24	32,7	21	53,7
27	50,1	22,7	72,8
Total	844,7	415,9	1260,6

Quadro 6 - LI110 (método atual)

LI110			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	43,1	26,5	69,6
2	51,8	0	51,8
3	50,2	0	50,2
6	60,5	27,2	87,7
7	37,5	36,6	74,1
8	49	41	90
9	60,4	39,3	99,7
10	52,6	39,5	92,1
13	64,3	35,7	100
14	50,9	26,7	77,6
15	30,2	49	79,2
16	48,4	42,3	90,7
17	40,2	46	86,2
20	52,8	32,9	85,7
21	59,5	26,8	86,3
22	52,5	35,4	87,9
23	32,9	35,4	68,3
24	41,7	29,4	71,1
27	66,8	49,4	116,2
Total	945,3	619,1	1564,4

Quadro 7 - LI120 (método atual)

LI120			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	36,6	31,2	67,8
2	67,2	0	67,2
3	71,8	0	71,8
6	54,4	28,8	83,2
7	57,6	26,5	84,1
8	52,4	32,4	84,8
9	70,3	29,5	99,8
10	58,8	29,5	88,3
13	62,3	31,3	93,6
14	51,8	39	90,8
15	58,6	30,1	88,7
16	47,7	28,3	76
17	75,3	30,3	105,6
20	64,3	29,6	93,9
21	94,3	43,6	137,9
22	74,5	32	106,5
23	39	26,3	65,3
24	46,5	31,7	78,2
27	58,7	24,2	82,9
Total	1142,1	524,3	1666,4

Quadro 8 - LI150 (método atual)

LI150			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	30,9	30,1	61
2	51,6	0	51,6
3	67,4	0	67,4
6	74,8	18,4	93,2
7	63,3	17,2	80,5
8	48,6	14,3	62,9
9	58	19,7	77,7
10	36,2	10	46,2
13	57,6	13,5	71,1
14	45,9	27,9	73,8
15	45	20,3	65,3
16	53,2	11,6	64,8
17	58,5	12,6	71,1
20	65	17,8	82,8
21	52,3	28,8	81,1
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
27	0	0	0
Total	808,3	242,2	1050,5

Quadro 9 - LI190 (método atual)

LI190			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	61,2	50,8	112
2	76,2	0	76,2
3	54,4	0	54,4
6	72,7	18,1	90,8
7	55,5	46	101,5
8	60,5	19,2	79,7
9	66,3	40	106,3
10	62	36,2	98,2
13	87,6	20,1	107,7
14	141,6	24,9	166,5
15	63,4	33,6	97
16	46	27,7	73,7
17	69,5	32,7	102,2
20	64	20,4	84,4
21	68,4	35,3	103,7
22	64,9	31,6	96,5
23	48,5	35	83,5
24	83,8	46	129,8
27	95,7	43,4	139,1
Total	1342,2	561	1903,2

Quadro 10 - LI193 (método atual)

LI193			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	58,6	0	58,6
2	13,1	0	13,1
3	17,1	0	17,1
6	35,5	0	35,5
7	0	0	0
8	0	0	0
9	10,9	0	10,9
10	0	0	0
13	28,5	14,6	43,1
14	0	0	0
15	46,2	0	46,2
16	60,6	0	60,6
17	85,5	0	85,5
20	45,5	0	45,5
21	107,6	50,1	157,7
22	43,7	18,4	62,1
23	47,8	12,5	60,3
24	40,9	0	40,9
27	63,9	0	63,9
Total	705,4	95,6	795,4

Quadro 11 - LI292 (método atual)

LI292			
Dia	Entregas	Recolhas	Total (km)
1	0	28,9	28,9
2	0	0	0
3	0	0	0
6	0	48,6	48,6
7	0	36,1	36,1
8	0	58,5	58,5
9	0	28,9	28,9
10	0	26,1	26,1
13	0	46,4	46,4
14	0	30	30
15	0	33,8	33,8
16	0	44,6	44,6
17	0	34	34
20	0	28,9	28,9
21	0	50,4	50,4
22	0	32,3	32,3
23	0	44,4	44,4
24	0	34	34
27	0	45,8	45,8
Total	0	651,7	651,7

Como se pode constatar, algumas rotas apresentam certas particularidades, a destacar:

- A rota LI292, que opera na zona de Alcântara, não efectuou entregas no mês de Fevereiro;
- A rota LI150 não funcionou a partir do dia 22, inclusive;
- A rota LI193 operou intermitentemente;
- Nos dias 2 e 3 não foram realizadas quaisquer entregas, em todas as rotas.
- Não há registo de actividade no dia 28.

Algumas destas situações são originadas pela fraca organização logística que é aplicada nestes processos, em que as decisões são tomadas devido a estímulos reativos, ao invés de serem devidamente planeadas. Esta realidade torna muito complicado encontrar justificações *a posteriori* para certos fenómenos, tais como a ausência de entregas nos dias 2 e 3.

Há, todavia, outras situações que são facilmente explicáveis através de contingências naturais deste tipo de operação diária, como seja indisponibilidade temporária de certos estafetas por motivos de baixa médica, por exemplo. No entanto, a falta de informação e de registo estatístico para futura análise, é justificado apenas pela parca organização em que todos estes processos assentam.

Devido à completa inactividade das rotas no dia 28, este dia não irá constar em nenhuma análise ou quadro. Uma possível – e provável – causa para esta inactividade é a falta de condições para o avião descolar a partir de Madrid, ou para aterrar no aeroporto de Lisboa. No decorrer do período em que o autor deste trabalho estagiou na empresa, essa situação ocorreu por duas vezes, devido a um intenso nevoeiro em Lisboa.

4.5.2 Implementação computacional dos diferentes métodos sob estudo

É chegado o momento de implementar a metodologia escolhida para a obtenção das distâncias percorridas recorrendo às diferentes heurísticas sob estudo e disponibilizadas pelo *package* TSP.

Para tal, foi necessário construir um *script* (Figura 4 e 5) onde consta:

- a matriz assimétrica com as distâncias entre os diferentes pontos;
- as características da matriz, nomeadamente o número de linhas e colunas;
- os comandos para gerar os resultados para cada um dos métodos.

```

10
11 V <- c(0, 4.4, 4.0, 5.9, 6.3, 10.5, 5.7, 4.6, 4.3, 5.8, 2.8, 2.9, 0, 3.0, 2.0, 3.6, 3.0, 1.9, 1.6, 0.5, 3.1, 3.0, 1.5)
12 M <- matrix(V, nrow = 43, byrow = TRUE)
13 #print(M)
14
15 atsp <- ATSP(M)
16 #print(atsp)
17 #print(n_of_cities(atsp))
18 #print(labels(atsp))
19
20 #tour <- solve_TSP(atsp, method = "nn")
21 #print(tour)
22 #print(tour_length(tour));
23 #image(atsp, tour)
24
25 #nn
26 nn <- solve_TSP(atsp, method = "nn")
27 print(nn)
28 #image(atsp, nn)
29
30 #repetitive_nn
31 repetitive_nn <- solve_TSP(atsp, method = "repetitive_nn")
32 print(repetitive_nn)
33
34 #nearest_insertion
35 nearest_insertion <- solve_TSP(atsp, method = "nearest_insertion")

```

programming language length: 2106 lines: 58 Ln: 11 Col: 7 Sel: 0|0 Windows (CR LF) UTF-8 INS

Figura 4 - Script R (parte 1)

```

34 #nearest_insertion
35 nearest_insertion <- solve_TSP(atsp, method = "nearest_insertion")
36 print(nearest_insertion)
37 #image(atsp,nearest_insertion)
38
39 #farthest_insertion
40 farthest_insertion <- solve_TSP(atsp, method = "farthest_insertion")
41 print(farthest_insertion)
42
43 #cheapest_insertion
44 cheapest_insertion <- solve_TSP(atsp, method = "cheapest_insertion")
45 print(cheapest_insertion)
46
47 #arbitrary_insertion
48 arbitrary_insertion <- solve_TSP(atsp, method = "arbitrary_insertion")
49 print(arbitrary_insertion)
50
51 #two_opt
52 two_opt <- solve_TSP(atsp, method = "two_opt")
53 print(two_opt)
54

```

Figura 5 - Script R (parte 2)

De seguida foi necessário copiar o *script* para a área de trabalho do R, local onde se obterão os resultados pretendidos, como se pode comprovar na Figura 6:

```
object of class 'TOUR'  
result of method 'nn' for 43 cities  
tour length: 41.6  
object of class 'TOUR'  
result of method 'repetitive_nn' for 43 cities  
tour length: 37.3  
object of class 'TOUR'  
result of method 'nearest_insertion' for 43 cities  
tour length: 32.7  
object of class 'TOUR'  
result of method 'farthest_insertion' for 43 cities  
tour length: 31.9  
object of class 'TOUR'  
result of method 'cheapest_insertion' for 43 cities  
tour length: 33.8  
object of class 'TOUR'  
result of method 'arbitrary_insertion' for 43 cities  
tour length: 31.5  
object of class 'TOUR'  
result of method 'two_opt' for 43 cities  
tour length: 52.7
```

Figura 6 - Amostra dos resultados gerados pelo R

4.5.3 Resultados obtidos

Foi necessário repetir este procedimento para cada dia de trabalho correspondente a cada rota e posteriormente consolidar os dados numa folha de cálculo para futura análise de cada rota e cada método, individual e conjuntamente.

Após processados os resultados gerados, foi possível consolidar os resultados todos no Quadro 12:

Quadro 12 - Resultados comparativos (absolutos e relativos) entre os diferentes métodos e rotas

Heurísticas Rotas	Vizinho mais próximo	Vizinho mais próximo repetido	Inserção mais próxima	Inserção mais distante	Inserção de menor custo	Inserção arbitrária	2-Opt	Método actual
LI100	870,8	790,6	752,2	755,9	748,1	748,2	972,7	1260,6
	(-31%)	(-37%)	(-40%)	(-40%)	(-41%)	(-41%)	(-23%)	
LI110	1088,9	987,7	924	954,5	944	950,6	1174,1	1564,4
	(-30%)	(-37%)	(-41%)	(-39%)	(-40%)	(-39%)	(-25%)	
LI120	1080,3	933,5	880,7	892,9	876,2	866,3	1132,5	1666,4
	(-35%)	(-44%)	(-47%)	(-46%)	(-47%)	(-48%)	(-32%)	
LI150	769,4	667,1	613,5	623,5	600,2	620,5	742	1050,5
	(-27%)	(-36%)	(-42%)	(-41%)	(-43%)	(-41%)	(-29%)	
LI190	1336,6	1187,4	1136	1151,6	1131,4	1143,3	1440,9	1903,2
	(-30%)	(-38%)	(-40%)	(-39%)	(-41%)	(-40%)	(-24%)	
LI193	663,1	583,6	562,7	570,7	565	568,6	638,5	795,4
	(-17%)	(-27%)	(-30%)	(-29%)	(-29%)	(-29%)	(-20%)	
LI292	602,7	577,1	567,4	573,3	568	569,5	599,2	651,7
	(-8%)	(-11%)	(-13%)	(-12%)	(-13%)	(-13%)	(-8%)	
TOTAL	6411,8	5727	5436,5	5522,4	5432,9	5467	6699,9	8892,2
	(-28%)	(-36%)	(-39%)	(-38%)	(-39%)	(-39%)	(-25%)	

Podemos constatar através da leitura do Quadro 12 que é possível atingir poupanças muito significativas no que diz respeito à distância percorrida por cada rota, se considerarmos o método mais próximo do ótimo essa poupança pode ascender a 3459,3 quilómetros. Quatro dos métodos estudados apresentam claramente melhores resultados que os restantes, sendo que três deles apresentam resultado muito semelhantes, no entanto é possível verificar que a **Inserção de menor custo** é a heurística que mais se aproxima do valor ótimo.

Foi feita também uma tentativa de analisar os resultados neutralizando as alterações mais significativas ao normal funcionamento de uma rota, com o objetivo de identificar potenciais enviesamentos que estivessem a provocar. Para tal excluímos desta análise as rotas:

- **LI193**, rota de apoio às Avenidas Novas, pelo número extremamente reduzido de recolhas (apenas foram efetuadas em quatro dias) e pela inatividade total em quatro dias. Determinados dias têm registo de apenas uma entrega ou recolha, pelo que se torna absolutamente impossível otimizar rotas, nestas circunstâncias;

- **LI292**, rota que opera na área de influência dedicada a Alcântara, devido à ausência de entregas, sendo que também nesta rota há registo de cinco dias em que apenas foi realizada uma recolha.

Quadro 13 - Resultados comparativos (absolutos e relativos) excluindo rotas atípicas

Heurísticas Rotas	Vizinho mais próximo	Vizinho mais próximo repetido	Inserção mais próxima	Inserção mais distante	Inserção de menor custo	Inserção arbitrária	2-Opt	Método actual
LI100	870,8	790,6	752,2	755,9	748,1	748,2	972,7	1260,6
	(-31%)	(-37%)	(-40%)	(-40%)	(-41%)	(-41%)	(-23%)	
LI110	1088,9	987,7	924	954,5	944	950,6	1174,1	1564,4
	(-30%)	(-37%)	(-41%)	(-39%)	(-40%)	(-39%)	(-25%)	
LI120	1080,3	933,5	880,7	892,9	876,2	866,3	1132,5	1666,4
	(-35%)	(-44%)	(-47%)	(-46%)	(-47%)	(-48%)	(-32%)	
LI150	769,4	667,1	613,5	623,5	600,2	620,5	742	1050,5
	(-27%)	(-36%)	(-42%)	(-41%)	(-43%)	(-41%)	(-29%)	
LI190	1336,6	1187,4	1136	1151,6	1131,4	1143,3	1440,9	1903,2
	(-30%)	(-38%)	(-40%)	(-39%)	(-41%)	(-40%)	(-24%)	
TOTAL	5146	4566,3	4306,4	4378,4	4299,9	4328,9	5462,2	7445,1
	(-31%)	(-39%)	(-42%)	(-41%)	(-42%)	(-42%)	(-27%)	

Apesar da exclusão das duas rotas mais atípicas, é interessante verificar que as conclusões relativamente aos métodos que mais se aproximam do ótimo se mantêm. Todavia, como seria expectável houve um aumento de eficiência global.

É possível consultar de seguida os gráficos comparativos, respeitantes às distâncias percorridas em cada rota, entre todos os métodos. Os gráficos em questão (da Figura 7 à Figura 13) permitem ter uma percepção mais visual do Quadro 12. A barra amarela corresponde às entregas, a barra azul corresponde às recolhas e a barra verde corresponde – por sua vez – ao total.

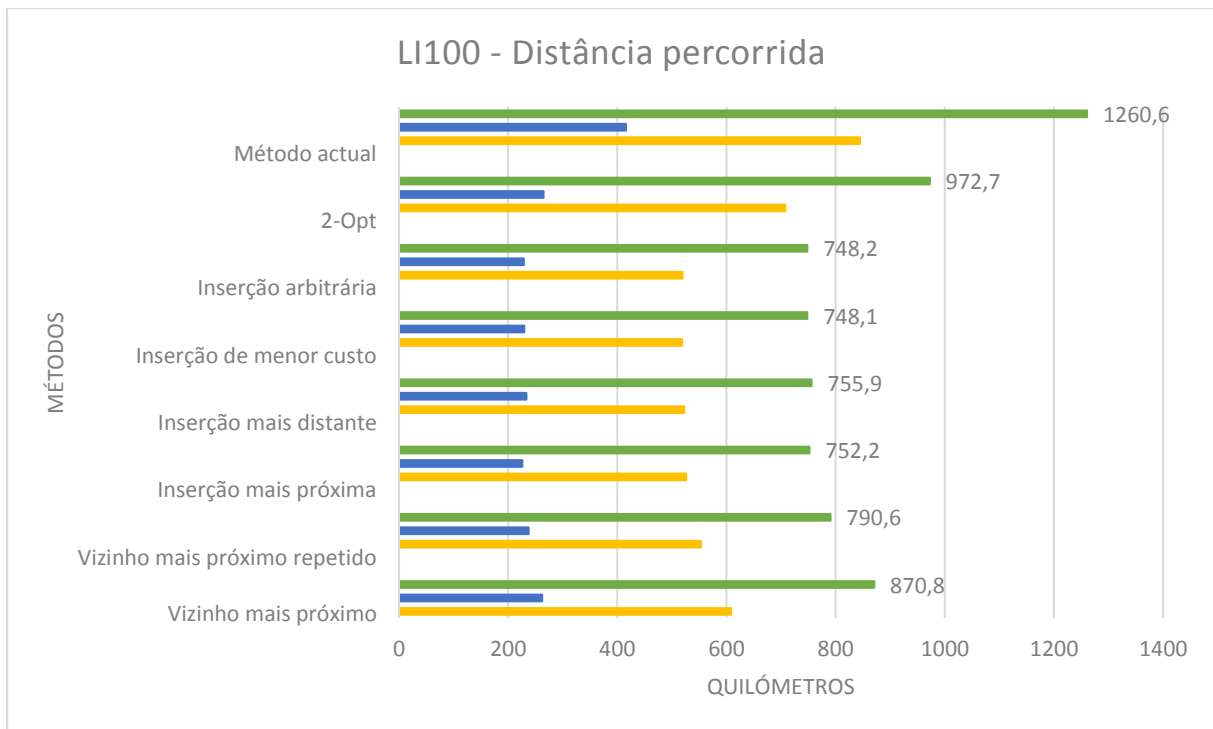


Figura 7 - LI100 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

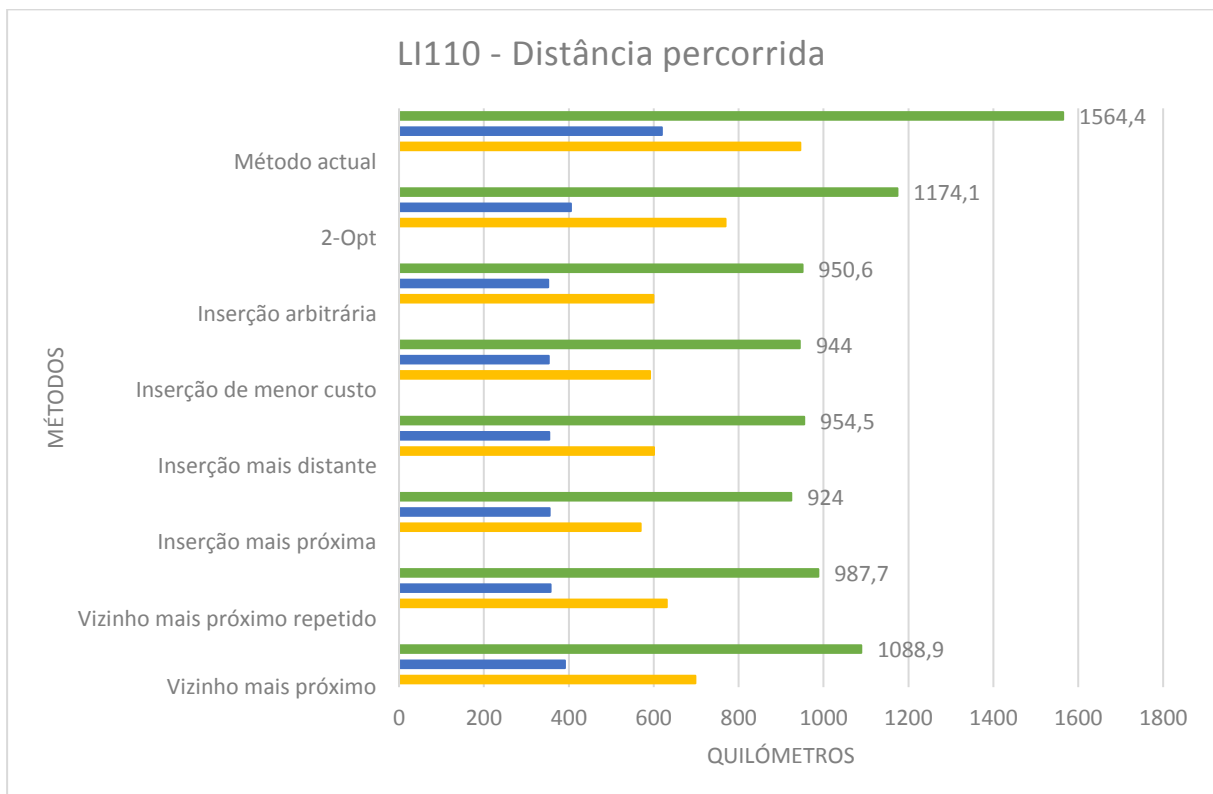


Figura 8 - LI110 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

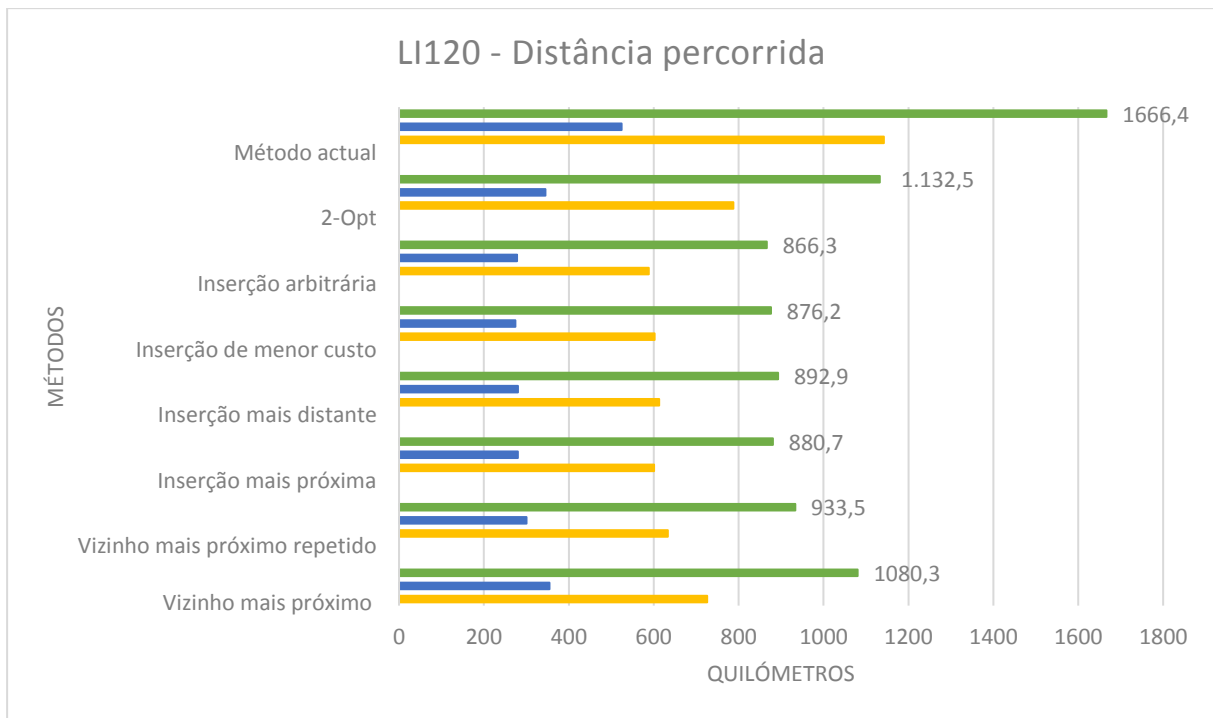


Figura 9 - LI120 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

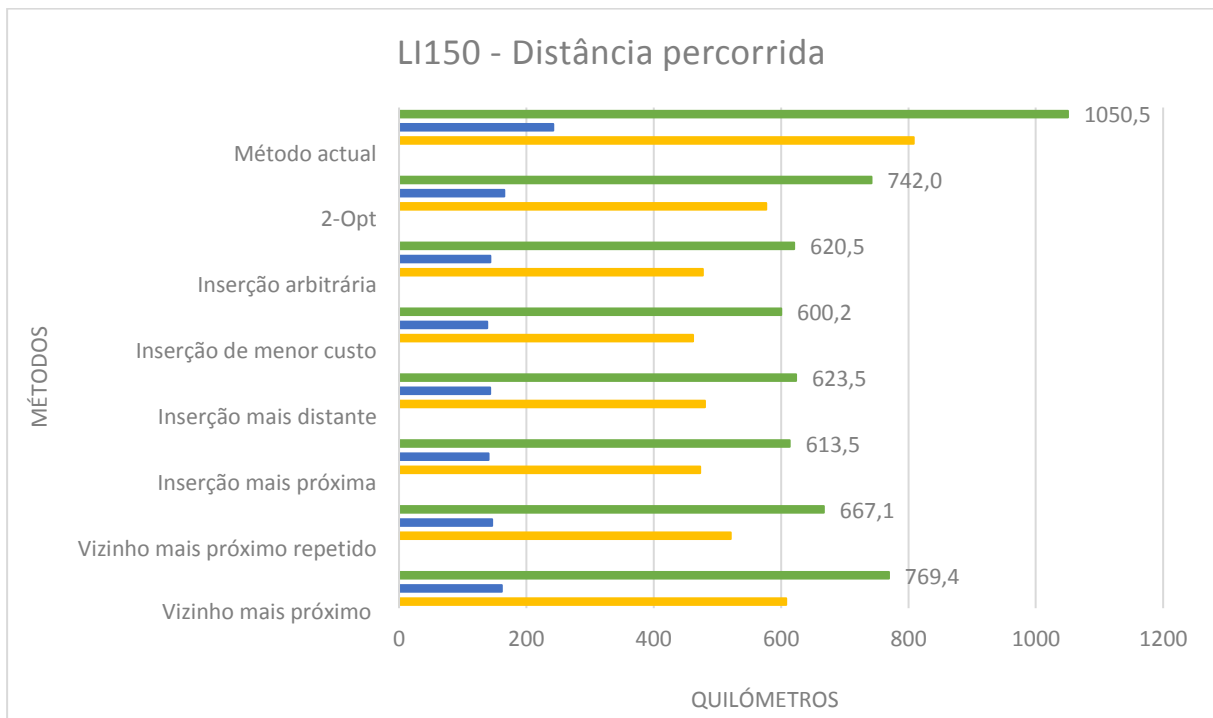


Figura 10 - LI150 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

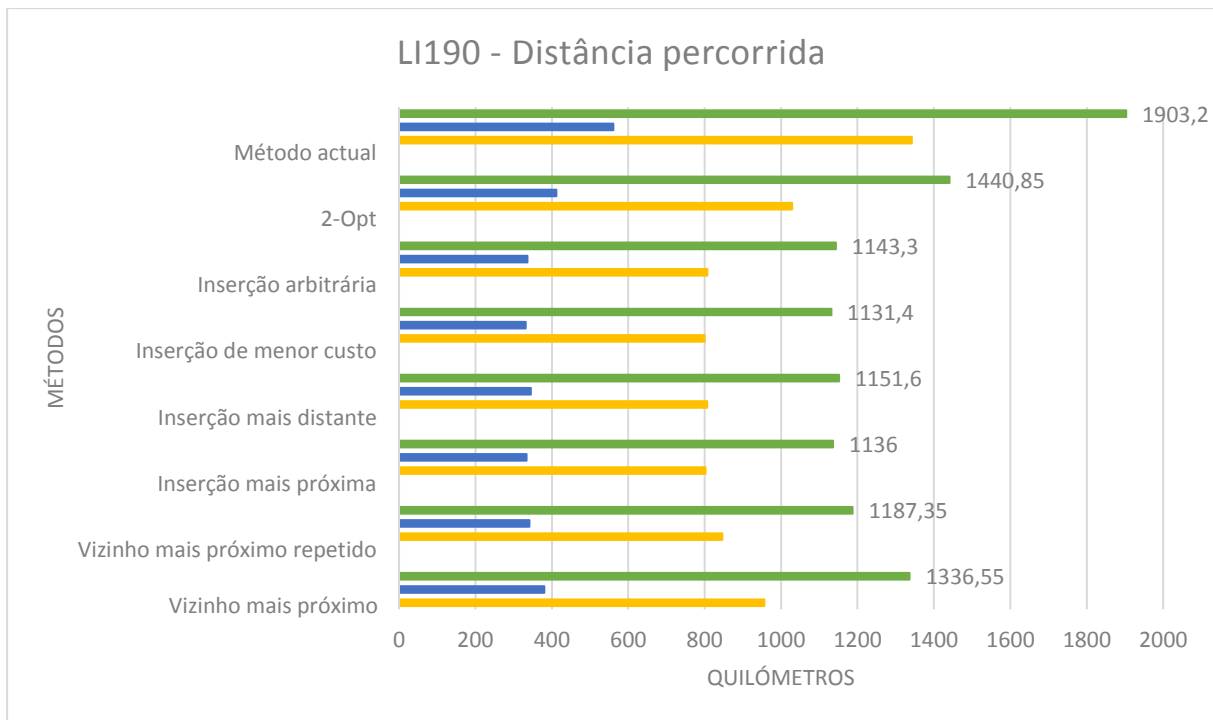


Figura 11 - LI190 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

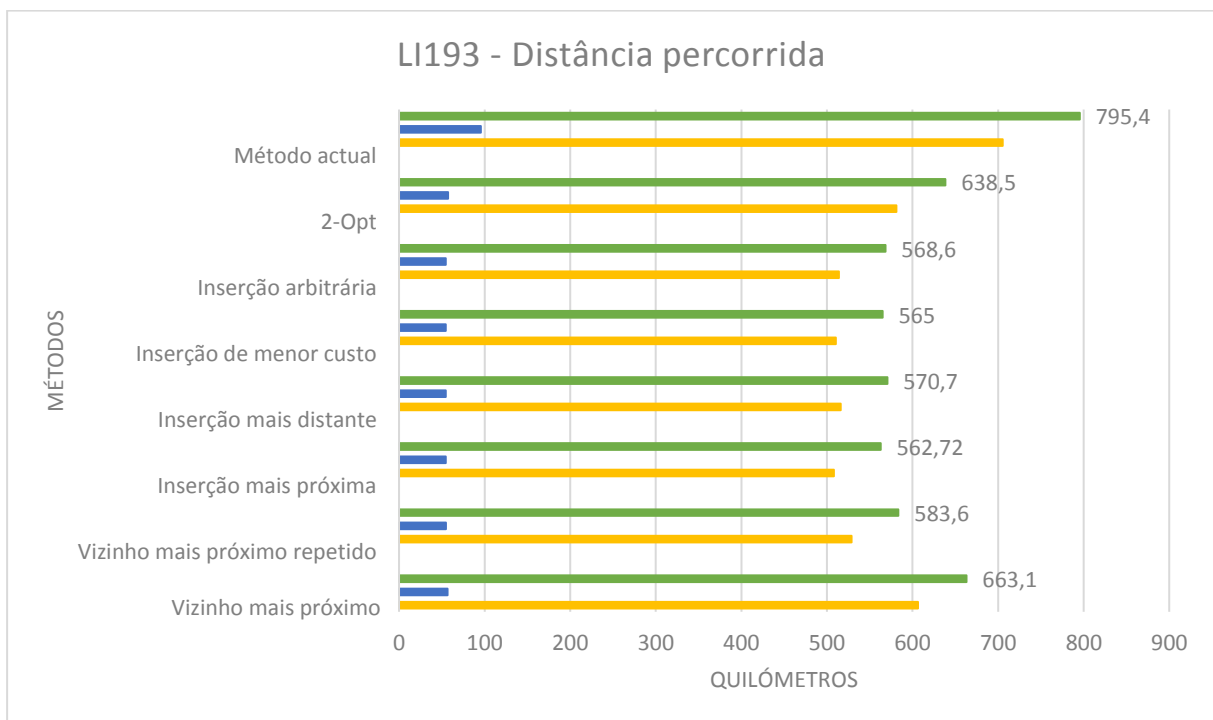


Figura 12 - LI193 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

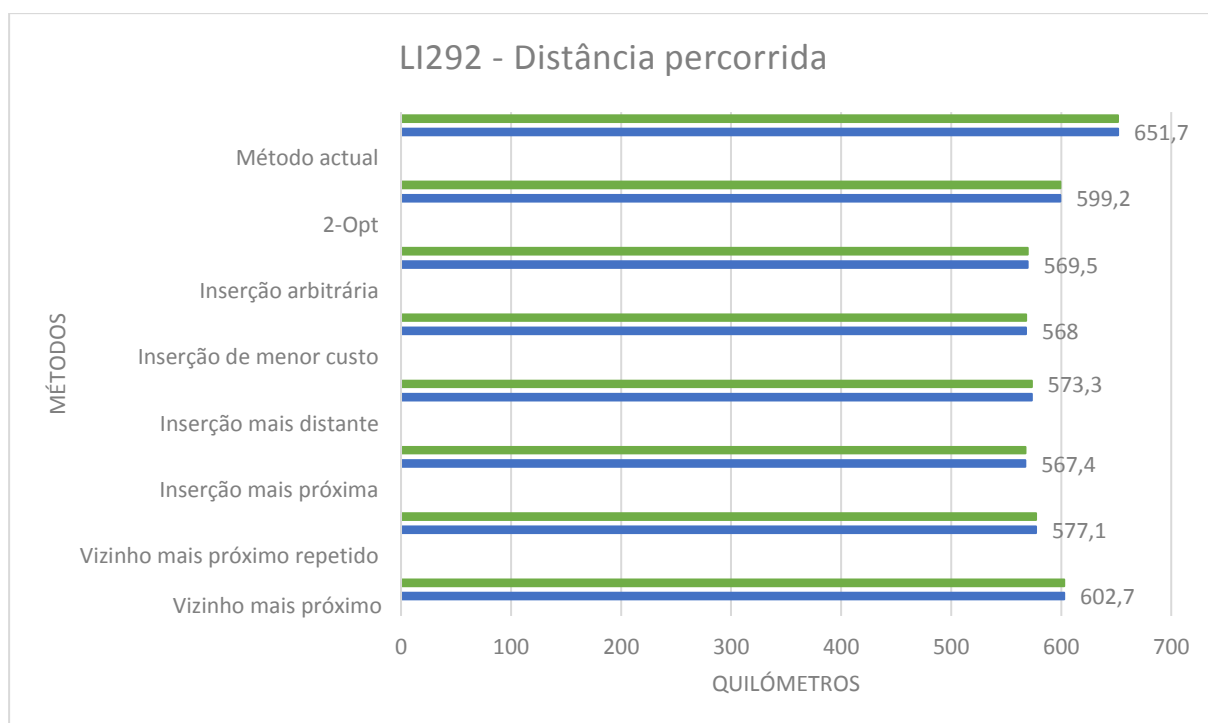


Figura 13 - LI292 – Comparação, entre os diferentes métodos, da distância percorrida

Será também interessante observar no Quadro 14 a distribuição da distância percorrida entre os processos de distribuição e recolha, antes e após exclusão das rotas atípicas da análise:

Quadro 14 - Distribuição da distância percorrida entre os processos de distribuição e recolha

	Total		Total após exclusão das rotas LI193 e LI292	
	Entregas	Recolhas	Entregas	Recolhas
Vizinho mais próximo	4203,1 66%	2208,7 34%	3596,7 70%	1549,3 30%
Vizinho mais próximo (r)	3712,8 65%	2014,4 35%	3184 70%	1382,5 30%
Inserção mais próxima	3479,4 64%	1957,1 36%	2971,3 69%	1335,1 31%
Inserção mais distante	3539 64%	1983,4 36%	3022,9 69%	1355,5 31%
Inserção de menor custo	3483,9 64%	1949 36%	2973,5 69%	1326,4 31%
Inserção arbitrária	3505,2 64%	1961,8 36%	2991,2 69%	1337,7 31%
2-Opt	4451,6 66%	2248,2 34%	3870,4 71%	1591,7 29%
Método atual	5788 65%	3109,8 35%	5082,6 68%	2362,5 32%
Média	65%	35%	69%	31%

4.5.4 Síntese de conclusões sobre os resultados obtidos

Os resultados são bastante conclusivos quanto à ineficiência atual da operação. Qualquer dos métodos (algoritmos) propostos representa uma melhoria significativa da métrica sob estudo (distância percorrida).

Resultados desta magnitude poderão ser explicados pela ausência total de método, no que diz respeito ao planeamento singular de cada rota. Após definidas as zonas de influência e atribuídos os pontos a visitar, os estafetas organizam o seu trajeto de acordo com as suas preferências pessoais (durante a experiência profissional do autor na empresa em questão constatou-se isso mesmo, situações em que os estafetas integram tarefas pessoais nas rotas que lhes estão atribuídas).

Outra situação que influencia negativamente o resultado da operação atual, face aos métodos propostos, é o facto de haver um sistema de recolhas dinâmico na segunda etapa do processo em estudo. Há recolhas (a parcela mais substancial) previamente estabelecidas, no entanto ocorrem pedidos durante a operação que, se efetuados até um certo limite temporal, terão que ser satisfeitos no decorrer do próprio dia. Esta situação tem um impacto inquestionável, contudo não será muito significativo, tendo em conta ocorrer esporadicamente e durante a etapa que tem um menor impacto no valor total dos quilómetros percorridos. No âmbito deste trabalho não foi possível contornar esta limitação.

Os resultados demonstram-nos claramente que há quatro algoritmos mais eficazes na otimização de rotas para o presente caso de estudo. São os seguintes:

- **Inserção mais próxima;**
- **Inserção mais distante;**
- **Inserção de menor custo;**
- **Inserção arbitrária.**

Todos apresentam variação de redução dos quilómetros percorridos - relativamente ao método actual de distribuição - próximos dos 40 por cento. O **algoritmo repetido do vizinho mais próximo** também apresenta uma redução significativa e próxima das acima enunciadas (-36%).

Assim sendo, e dada a proximidade dos resultados, aconselhar-se-ia a optar pelo método que implicasse um menor esforço computacional aliado a um menor custo de implementação.

Na segunda análise, em que foi proposta uma tentativa de detetar enviesamentos nos resultados globais, decorrentes da inclusão de rotas atípicas na primeira análise, foi possível apurar um incremento da qualidade das soluções na ordem dos 3%.

É curioso constatar também que a distribuição do peso de cada uma das etapas (entregas e recolhas) não sofre nenhuma alteração após a aplicação das heurísticas. Seja no método atual, seja após a aplicação de cada um dos métodos propostos, há uma distribuição de 65%-35% para entregas e recolhas, respetivamente. Daqui se pode concluir que o potencial de melhoria é semelhante entre

ambos os momentos da operação.

De referir ainda que, após excluídas da análise as rotas LI193 e LI292 (as rotas atípicas previamente mencionadas), a distribuição dos quilómetros percorridos em cada uma das etapas fixa-se numa percentagem de 69%-31%, uma vez mais sem alterações antes e após aplicados os métodos.

Pode-se, portanto, concluir que há um potencial tremendo de melhoria nos processos de distribuição e recolha da Rangel Expresso, apenas na sua operação em Lisboa. Fazendo uma simples subtração entre a distância percorrida no passado mês de Fevereiro e a distância calculada através do método que apresentou uma menor distância em termos absolutos (Inserção de menor custo) chega-se a uma distância de **3459,3 km**, que representa o potencial de melhoria, no que concerne a esse indicador de desempenho.

5- Conclusões finais e desenvolvimento futuro

Esta dissertação adotou como propósito o desenvolvimento de instrumentos de análise, avaliação e melhoria dos processos de distribuição e recolha num sistema logístico de correio expresso. A empresa objeto de estudo foi a Rangel Expresso, responsável pela operação da FedEx em Portugal. Para tal, teve-se em consideração diversas especificidades da operação em estudo, tais como a indisponibilidade por parte da empresa para redefinir áreas de influência ou o facto de estarmos perante um sistema de recolhas dinâmico (o que impossibilita um planeamento antecipado de todo o processo).

Foram estudados problemas clássicos no âmbito da Investigação Operacional para a resolução do caso de estudo, como o Problema do Caixeiro Viajante (TSP) ou o VRP. No entanto, devido à decisão da empresa de não pôr em causa as áreas de influência previamente estabelecidas, optou-se por abordar a problemática em estudo através do TSP. Todavia, há certas particularidades que distinguem o presente caso de estudo de um TSP clássico, devido à divisão entre entregas e recolhas, por exemplo. O ponto de partida do processo de entregas é sempre o mesmo (armazém localizado no aeroporto), contudo esse não é o ponto de chegada, no que a essa etapa diz respeito. As entregas e recolhas são tratadas separadamente e sequencialmente. Assim sendo, o último local a visitar (uma vez mais, o armazém localizado no aeroporto) obrigatoriamente é comum a todos os processos de recolha (o ponto de partida para esta segunda fase do processo pode ser considerado aleatório, correspondendo ao último ponto de entrega da primeira fase).

Foi também objeto de estudo toda a temática relacionada com a avaliação do desempenho baseada em baterias de indicadores de desempenho, tendo sido referido um conjunto de dez indicadores de desempenho a calcular, com o intuito de dar uma resposta transversal a todas as vertentes dos processos em estudo passíveis de ser melhoradas. Contudo, após uma análise cuidada dos dados que foi possível recolher, chegou-se à conclusão que apenas a distância percorrida seria possível de calcular, devido ao fraco alcance dos dados disponibilizados. Também o número de entregas (e recolhas no nosso caso de estudo) foi possível de determinar, contudo não é possível estabelecer um termo comparativo com uma posterior aplicação dos métodos em estudo.

Com o propósito de calcular as distâncias rodoviárias entre os diversos pontos a visitar (entretanto recolhidos e processados) foi desenvolvida uma API, tendo sido entretanto construídas matrizes de distância assimétricas para cada operação (diária) de cada rota. De seguida as matrizes foram introduzidas no *script* elaborado no R, conjuntamente com os comandos que deram origem aos resultados pretendidos (distâncias percorridas em cada dia, de cada rota, caso tivesse sido adotado cada um dos métodos propostos para otimização das rotas).

Após consolidados e analisados os resultados gerados, concluiu-se que existe um enorme potencial de melhoria dos processos de distribuição e recolha, na operação em estudo.

Uma sugestão de melhoria futura seria fazer um planeamento a um nível tático e mesmo estratégico,

quando neste momento a empresa se dedica apenas a um planeamento operacional. A empresa poderia incorporar um processo temporalmente espaçado de reavaliação regular das áreas de influência, pontualmente poder-se-ia perder uma proximidade com alguns clientes, mas seguramente que esta opção proporcionaria aumentos de eficiência operacional. O planeamento estratégico será sempre mais complicado de realizar, tendo em conta que a operação sob estudo partilha recursos com outras operações, pertencentes a outras empresas do Grupo Rangel. Apenas a reconfiguração da frota seria possível de estudar.

No caso de haver abertura da empresa para reconfigurar as zonas de influência de cada estafeta, abandonaríamos esta abordagem relativa a um conjunto de TSP's, para estarmos perante um VRP.

Outra situação que poderia ser alterada, sem pôr em causa nenhuma das premissas e constrangimentos impostos para a realização deste trabalho, seria a elaboração de um *software* que resolva TSP's, seguindo um dos métodos propostos, o que permitiria não só otimizar os trajetos percorridos, como ter um maior controlo sobre os estafetas, retirando-lhes a independência que usufruem atualmente (que em nada beneficia a operação). Esta medida permitiria também dar uma resposta cabal aos desafios que o sistema dinâmico de recolhas origina. Assim, cada pedido de recolha que surja durante a operação, daria origem imediata a uma reconfiguração do trajeto.

Este trabalho apresentou algumas particularidades muito interessantes e pouco estudadas até ao momento. O TSP é um problema clássico, no âmbito da Investigação Operacional, que já foi alvo de inúmeros trabalhos, o TSP com constrangimentos sequenciais também já foi alvo de diversos estudos. Contudo, no nosso caso, estamos perante um caso diferente: o processo está dividido em duas etapas, sendo que o ponto de origem da primeira etapa é coincidente com o ponto de chegada da segunda etapa. E ambos os casos foram estudados como TSP's independentes. Seria interessante um aprofundamento desta temática, em trabalhos futuros.

Julga-se ainda de referir, a título de curiosidade, o exemplo ilustrativo de quão complexa e fascinante pode ser esta temática. A UPS implementou uma política que limita ao máximo as viragens à esquerda por parte dos estafetas (*"no turn left" policy*). Apesar de todas as empresas do ramo tentarem constantemente reduzir a distância percorrida como métrica chave, a UPS optou por analisar outras métricas que pudessem significar um aumento maior de eficiência. Esta política permite reduzir as hipóteses de acidentes rodoviários (ao reduzir o número de intersecções realizadas pelos seus veículos) e reduzir atrasos provocados pela espera gerada pelo trânsito nas intersecções, conseguindo assim poupar combustível. De acordo com Kendall. (2017), a UPS reformulou o seu *software* VRP de maneira a evitar o maior número de viragens à esquerda possíveis. Com esta alteração a empresa atingiu poupanças acima dos 45 milhões de litros de combustível, emitiu menos 20 mil toneladas de dióxido de carbono e procedeu a mais 350 mil entregas por ano. A UPS, apesar deste incremento no número de entregas, subtraiu 1100 veículos à sua frota utilizada bem como reduziu em mais de 45 milhões de quilómetros o total de distância percorrida (tendo concomitantemente aumentado a distância percorrida por cada rota).

É fascinante constatar que, após tantos anos de estudos e desenvolvimento (e respetiva aplicação) de teorias que visam aumentar a eficiência deste tipo de operações, uma aparentemente simples decisão de limitar ao máximo as viragens à esquerda possa ter um impacto tão significativo no incremento da eficiência total da operação global de uma empresa da dimensão da UPS.

Bibliografia

Accenture. (2015). "Achieving High Performance in the Post and Parcel Industry". *Accenture Research and Insights 2015*.

Alkallak, I. N., & R. Z. Sha'ban. (2008). Tabu search method for solving traveling salesman problem. *Al-Rafiden J Comput Sci Math* 5.2, 141-153.

ANACOM. (2011). Correio Expresso. [Online]. Disponível em: <http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=341712#.WHLWcxuLTIV> [acedido em Setembro de 2016]

Azar, Y. (1994). Lower bounds for insertion methods for TSP. *Combinatorics, Probability and Computing*, 3(3), 285-292.

Basu, S. (2012). Tabu search implementation on traveling salesman problem and its variations: a literature survey. *American Journal of Operations Research*, 2(02), 163.

Böckenhauer, H. J., Klasing, R., Mömke, T., & Steinová, M. (2010). Improved Approximations for TSP with Simple Precedence Constraints. In *CIAC*, 61-72.

Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation* (Vol. 74). John Wiley & Sons.

FedEx Corporation. (2016). TNT Express: Strategic Integration. *FedEx Annual Report*.

Figueira J. (2014). Lecture 12: Metaheuristics. *Intermediate Operations Research*. Instituto Superior Técnico.

Ghosh, Samir, e Subrata Mukherjee. (2006). Measurement of corporate performance through Balanced Scorecard: an overview. *Vidyasagar University Journal of Commerce*, 60-69.

Global Express Association. (2015). "Express Delivery and Trade Facilitation: Impacts on the Global Economy". *Frontier Economics*.

Gunasekaran, Angappa, Chaitali Patel, e Ercan Tirtiroglu. (2001). "Performance measures and metrics in a supply chain environment." *International journal of operations & production Management* 21.1/2: 71-87.

Gunasekaran, Angappa, Christopher Patel, e Ronald E. McGaughey. (2004). "A framework for supply chain performance measurement." *International journal of production economics* 87.3: 333-347.

Gunasekaran, Angappa, e Bulent Kobu. (2007). "Performance measures and metrics in logistics and supply chain management: a review of recent literature (1995–2004) for research and applications."

International Journal of Production Research 45.12: 2819-2840.

Halme, J. (2010). Global supply chain management and performance measurement. *Savonia University of Applied Sciences/ Tampere University of Technology*.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2005). Non-linear programming and meta-heuristics. *Introduction to Operations Research, Chaps, 12(13)*, 547-616.

Informa D&B. (2016). *Estudio Sectores Portugal de DBK – Mensajería y Paquetería (Julio 2016 – 14ª edición)*. [Online]. Disponível em: <https://www.informadb.pt/idbweb/resourcesRepository/sectores-portugal2016/jul-correio-expresso-paquetes.pdf> [acedido em Setembro de 2016]

Kendall, G. (2017). *Why UPS drivers don't turn left and you probably shouldn't either*. [Online]. Disponível em:

<http://www.independent.co.uk/news/science/why-ups-drivers-don-t-turn-left-and-you-probably-shouldn-t-either-a7541241.html> [acedido em Agosto de 2017]

Kubo, M., & Kasugai, H. (1991). The precedence constrained traveling salesman problem. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 34(2), 152-172.

Kumar, R., & Li, H. (1996). On asymmetric TSP: Transformation to symmetric TSP and performance bound. *Journal of Operations Research*.

Laporte, G. (1992). The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(2), 231-247.

Lin, S. (1965). Computer solutions of the traveling salesman problem. *The Bell System Technical Journal*, 44(10), 2245-2269.

Lohman, Clemens, Leonard Fortuin, e Marc Wouters. (2004). "Designing a performance measurement system: A case study." *European Journal of Operational Research* 156.2: 267-286.

Locketangen, A., & Glover, F. (1998). Solving zero-one mixed integer programming problems using tabu search. *European Journal of Operational Research*, 106(2), 624-658.

Martinsons, Maris, Robert Davison, e Dennis Tse. (1999). "The balanced scorecard: a foundation for the strategic management of information systems." *Decision support systems* 25.1: 71-88.

Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010). Traveling salesman problem: An overview of applications, formulations, and solution approaches. *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications*, 1-24.

Miranda-Bront, Juan José, et al. (2015). "A cluster-first route-second approach for the Swap Body Vehicle Routing Problem." *Annals of Operations Research*: 1-22.

Neely, Andy. (2007). *Business Performance Measurement: unifying theory and integrating practice*. Cambridge University Press.

Oliveira, R. (2011). Introdução ao problema do caixeiro viajante. *Investigação Operacional, Optimização em redes e grafos*. Instituto Superior Técnico.

R. (2017). Disponível em: <https://www.r-project.org/> [acedido em Junho de 2017]

Rajesh, R., et al. (2012). "Generic balanced scorecard framework for third party logistics service provider." *International Journal of Production Economics* 140.1: 269-282.

Rangel, DRH (2015). Acolhimento Rangel: 6-8.

Renaud, J., Boctor, F. F., & Ouenniche, J. (2000). "A heuristic for the pickup and delivery traveling salesman problem". *Computers & Operations Research*, 27(9), 905-916.

Saiyed, A. R. (2012). The Traveling Salesman problem. *Indiana State University*.

Suthikarnnarunai, N. (2008). "A sweep algorithm for the mix fleet vehicle routing problem." *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*. Vol. 2.

Thompson, G. L., & Singhal, S. (1985). A successful algorithm for the undirected Hamiltonian path problem. *Discrete applied mathematics*, 10(2), 179-195.

Watson, G. H. (1993). *Strategic benchmarking: How to rate your company's performance against the world's best*. Wiley.

Wisner J.D. & Fawcett S.E. (1991). Linking firm strategy to operating decisions through performance measurement. *Production and Inventory Management Journal* 32(3): 5–11. 26

Yang, J., Shi, X., Marchese, M., & Liang, Y. (2008). An ant colony optimization method for generalized TSP problem. *Progress in Natural Science*, 18(11), 1417-1422.