



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rui Miguel Márcia do Nascimento Fernandes

**REDESENHO DA REDE LOGÍSTICA DE UMA EMPRESA
DE DISTRIBUIÇÃO DE MEDICAMENTOS**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial
orientada pelo Professor Doutor Luis Miguel Domingues Fernandes Ferreira
e apresentada no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de
Coimbra.

Julho de 2019



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Redesenho da rede logística de uma empresa de distribuição de medicamentos

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Redesign the logistics network of a pharmaceutical distribution company

Autor

Rui Miguel Márcia do Nascimento Fernandes

Orientador

Professor Doutor Luis Miguel Domingues Fernandes Ferreira

Júri

Presidente	Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva Ribeiro Professor da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luis Miguel Domingues Fernandes Ferreira
Vogais	Professor da Universidade de Coimbra Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz Professor da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luis Miguel Domingues Fernandes
Orientador	Ferreira Professor da Universidade de Coimbra

Coimbra, julho, 2019

“Experience teaches that men are so much governed by what they are accustomed to see and practice, that the simplest and most obvious improvements in the most ordinary occupations are adopted with hesitation, reluctance, and by slow gradations.”

Alexander Hamilton, 1791.

Aos meus pais

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu irmão, aos meus pais, à minha namorada e amigos pelo acompanhamento, disponibilidade e motivação ao longo de todo o meu percurso académico.

Quero também agradecer ao professor orientador, professor doutor Luis Miguel Domingues Fernandes Ferreira, pelo suporte e ajuda prestada durante todo o estágio.

Por último e não menos importante, um agradecimento ao doutor Humberto Gameiro, à doutora Carmen Bessa, ao engenheiro Nuno Duarte e aos responsáveis de frota da Plural, Fernando e Ricardo, pela disponibilidade demonstrada e por terem possibilitado a realização do estágio na Plural.

Resumo

O aumento de vendas e a evolução no mercado fizeram com que as condições atuais do centro de distribuição da Plural no Montijo, já não satisfizessem as exigências dos clientes. Por isso, este trabalho tem como objetivo principal, definir uma nova localização e redesenhar a rede logística do centro de distribuição do Montijo.

A metodologia utilizada neste trabalho, assenta em três etapas: representação do processo de criação de dados, aplicação do modelo do centro de gravidade, complementado com a análise dos volumes de vendas e no desenvolvimento de um modelo de planeamento de rotas, baseado no problema de otimização *Vehicle Routing Problem*.

Numa primeira etapa foram preparados os dados para, nas fases posteriores, determinar a melhor localização e desenvolver o modelo de otimização para o redesenho da rede de distribuição.

Foi identificada uma nova localização, passando o novo centro de distribuição para a margem Norte do rio Tejo. E, com a aplicação do modelo baseado nas ferramentas da Google *OR Tools*, os principais resultados obtidos foram, reduções de cerca de 38% no número de quilómetros percorridos diariamente e redução de 47% de número de veículos a circular por dia.

Palavras-chave: Redesenho da rede logística, Localização, *Vehicle Routing Problem*.

Abstract

The increase in sales and the evolution in the market made the current conditions of the Plural distribution center in Montijo no longer meet customer requirements. Therefore, this work has as main objective, to define a new location and redesign the logistics network of the Montijo distribution center.

The methodology used in this work is based on three stages: representation of the data creation process, application of the center of gravity model, complemented with the analysis of sales volumes and the development of a route planning model based on the optimization problem of Vehicle Routing Problem.

In a first step the data were prepared to determine the best location and to develop the optimization model for the redesign of the distribution network.

A new location was identified, passing the new distribution center to the north margin of the Rio Tejo. And with the application of the tool-based from Google OR Tools, the main results obtained were reductions of around 38% in the number of kilometers traveled daily and a reduction of 47% in the number of vehicles per day.

Keywords Redesign of the logistics network, Location, *Vehicle Routing Problem*.

Índice

Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Siglas	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1. Logística e Cadeia de Abastecimento	3
2.1.1. Os transportes na cadeia de abastecimento.....	4
2.2. Design da Cadeia de Abastecimento.....	6
2.2.1. A localização	7
2.3. Vehicle Routing Problem.....	9
2.4. Resumo	15
3. CASO DE ESTUDO	17
3.1. A Empresa.....	17
3.2. Exposição do Problema	17
3.3. Abordagem ao Problema	21
3.3.1. Dados.....	21
3.3.2. Localização.....	21
3.3.3. Redesenho da rede de distribuição	21
4. DESENVOLVIMENTO.....	23
4.1. DADOS.....	23
4.1.1. Descrição do processo de criação de dados.....	23
4.1.2. Análise dos sistemas.....	27
4.1.3. Análise e Descrição de Dados	30
4.1.4. Limpeza e Filtração	32
4.1.5. Dados Finais	32
4.2. LOCALIZAÇÃO	33
4.2.1. Centro de Gravidade (CoG).....	33
4.2.2. “Geo-bricks”	35
4.2.3. Proposta de localização	36
4.3. REDESENHO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	37
4.3.1. Obtenção da matriz distância.....	37
4.3.2. Google <i>OR-Tools</i>	37
4.3.3. Validação do modelo	43
4.3.4. Aplicação	49
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
CÓDIGO <i>PYTHON</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Estrutura da cadeia de abastecimento	4
Figura 2.2 Exemplo VRP	9
Figura 3.1 Ponto de localização do CD da Plural no Montijo.....	17
Figura 3.2 Número total de clientes	18
Figura 3.3 Média de quilómetros percorridos por rota.....	18
Figura 3.4 Baque pequeno (esquerda) e baque grande (direita).....	19
Figura 3.5 Dados perdidos.....	20
Figura 4.1 PDA para inserção de dados	23
Figura 4.2 Fluxograma processo de criação e recolha de dados	25
Figura 4.3 Folha de registo.....	27
Figura 4.4 Representação dos dois sistemas de registo.....	28
Figura 4.5 Representação da procura em baques por dia	33
Figura 4.6 Localização obtida pelo CoG.....	34
Figura 4.7 Representação geográfica da área proposta	36
Figura 4.8 Métodos Heurísticos	39
Figura 4.9 Métodos Metaheurísticos	39
Figura 4.10 Exemplo de solução com código original	40
Figura 4.11 Exemplo de solução com código adaptado	40
Figura 4.12 Exemplo de solução visual.....	41
Figura 4.13 Procura de baques de 1 de janeiro a 14 de abril.....	43
Figura 4.14 Modelo Plural / Modelo proposto.	44
Figura 4.15 Comportamento do s resultados com alterações do tempo de processamento.	50
Figura 4.16 Modelo Plural.....	52
Figura 4.17 Modelo de avaliação (Heurística)	53
Figura 4.18 Modelo de aplicação (Metaheurística)	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Características dos modos de transporte.....	5
Tabela 2 Transporte rodoviário	5
Tabela 3 Estratégias da Cadeia de Abastecimento	7
Tabela 4 Variantes do VRP tradicional	12
Tabela 5 Comparação dos modelos de resolução.....	14
Tabela 6 Clientes por distrito	18
Tabela 7 Números de rotas por turno.	19
Tabela 8 Tipologia de veículos.....	19
Tabela 9 Tempo para completar os dados em falta	28
Tabela 10 Análise de custo do sistema 1	29
Tabela 11 Tempo de registo por folha.....	29
Tabela 12 Análise de custo do sistema 2.....	29
Tabela 13 Comparação de custos/rota	30
Tabela 14 Tabela de baques por rota	30
Tabela 15 Tabela de rotas.....	31
Tabela 16 Tabela de clientes	31
Tabela 17 Tabela de entregas	31
Tabela 18 Tabela resultante.....	32
Tabela 19 Procura por distritos.....	34
Tabela 20 Percentagens de quota de mercado por geo-bricks e por distritos.....	35
Tabela 21 Volume de vendas por distritos	36
Tabela 22 Parâmetros de procura Google.....	38
Tabela 23 Pseudocódigo <i>python</i>	41
Tabela 24 Parâmetros principais dos modelos	44
Tabela 25 Tabela de resultados atuais	44
Tabela 26 Tabela de resultados obtidos por métodos heurísticos	45
Tabela 27 Tabela retificada de resultados obtidos por métodos heurísticos	45
Tabela 28 Tabela de comparação dos modelos	46
Tabela 29 Comparação da taxa de ocupação.....	46
Tabela 30 Parâmetros principais dos modelos	49
Tabela 31 Resultados heurísticos	49
Tabela 32 Resultados metaheurística	50

Tabela 33 Resultados metaheurística para taxa de ocupação.....	51
Tabela 34 Comparação de distâncias percorridas e nº de rotas.....	51
Tabela 35 Comparação das taxas de ocupação dos veículos e media de km	51

SIGLAS

Baque – Caixa plástica de transporte de medicamentos

CRISP DM – *Cross Industry Standard Process for Data Mining*

CA – Cadeia de Abastecimento

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

GCA – Gestão da Cadeia de Abastecimento

SAP - *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*

VRP – *Vehicle Routing Problem*

1. INTRODUÇÃO

O serviço de distribuição de medicamentos na zona da grande Lisboa, que está exposto a uma grande variabilidade de procura, tem crescido nos últimos anos mais do que era expectável. Esta situação levou a que empresas, como a Plural, não consigam ter capacidade suficiente nos centros de distribuição para satisfazer as necessidades dos clientes localizados nos distritos adjacentes (ex: Santarém, Setúbal, Portalegre, Beja e Évora).

Sendo o transporte uma prioridade na gestão da cadeia de abastecimento, é importante a sua otimização, pois este pode ditar um aumento de competitividade para a empresa. Atualmente, as viaturas afetas ao centro de distribuição da Plural, localizado no Montijo percorrem 6200 quilómetros por dia, abastecendo 284 clientes e realizando em média 40 rotas que por sua vez estão divididas em 3 turnos diários: manhã, tarde e noite. O transporte está assente num grupo de rotas *standard* desenhadas manualmente. Isto traduz-se numa dificuldade em adaptar-se à variabilidade da procura diária o que acaba por limitar a integração de novos clientes ou a remoção de clientes na rede.

Face aos pontos apresentados acima, a Plural sentiu a necessidade de agilizar os seus processos de distribuição e de alterar a localização do atual centro de distribuição localizado no Montijo, de forma a ajustar-se a uma nova realidade, sendo que, os clientes são mais exigentes, pretendem os produtos certos, no sítio certo, na hora exata e na quantidade certa cada vez mais rápido.

Com o objetivo de identificar uma nova localização e de redesenhar a rede de distribuição, foi proposto como trabalho de estágio, o redesenho da rede logística do centro de distribuição do Montijo, de forma a adaptar-se às variabilidades acima descritas, bem como às exigências dos clientes.

A localização do centro de distribuição está diretamente relacionada com o sucesso e a eficiência do fluxo do produto. Esta dissertação, desenvolvida no Departamento de Operações da Plural, procura determinar, numa primeira etapa, uma nova localização para o centro de distribuição para, por um lado, responder ao crescimento do mercado farmacêutico e, por outro lado, para reduzir as distâncias percorridas nas entregas. Numa segunda etapa, após a determinação da nova localização, redesenhar/otimizar a rede de distribuição existente.

As soluções e estratégias adotadas vão responder a duas necessidades:

1. Definir uma nova localização que se adapte ao crescimento da empresa;
2. Redesenhar uma rede de distribuição adaptativa para a nova localização.

As necessidades expostas foram tidas em consideração no redesenho da rede logística. Assim para o primeiro ponto, é fundamental identificar todos os clientes ou possíveis clientes e a respetiva procura. No segundo ponto, após escolhida a melhor localização, é essencial determinar o número de veículos que são necessários e estabelecer as rotas que estes vão efetuar. Para tal, foi utilizada uma ferramenta de otimização com recurso à linguagem de programação *python* e a módulos de solver desenvolvidos pela *Google OR-TOOLS*.

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, nomeadamente:

Capítulo 1, Introdução - onde é realizado um breve enquadramento do tema e objetivos da dissertação;

Capítulo 2, Revisão da Literatura – apresentação dos temas abordados ao longo do documento: logística, localização e problemas de planeamento de rotas;

Capítulo 3, Caso de Estudo – empresa - explicação detalhada do problema e abordagens;

Capítulo 4, Desenvolvimento - que por sua vez está dividido em três subcapítulos: análise de dados, localização e redesenho da rede de distribuição;

Capítulo 5, Conclusão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é realizado o enquadramento teórico aos temas que serão abordados na dissertação. Destina-se à apresentação do “estado da arte” de conceitos como: logística e gestão da cadeia de abastecimento, design de uma cadeia de abastecimento e problemas de planeamento de rotas. É também demonstrada a importância da coordenação das atividades e processos dentro e entre as operações, os desafios do redesenho de rede logística, assim como a melhor forma de a definir. Por fim é apresentado o problema de planeamento de rotas de veículos (VRP) e os respetivos métodos de resolução.

2.1. Logística e Cadeia de Abastecimento

A Gestão da Cadeia de Abastecimento (GCA) é uma extensão da logística, está suportada na integração de processos de negócio do consumidor final através de fornecedores originais que fornecem produtos, serviços e informação, que criam valor para o cliente e pode ser descrita como a integração de processos de negócio ao longo da Cadeia de Abastecimento (CA) (Cooper, Lambert, & Pagh, 1997) onde existem três tipos de fluxos, sendo eles: fluxo de material, fluxo de informação e fluxo financeiro.

O impacto da GCA aumentou de forma significativa, aproveitando os desenvolvimentos nos sistemas tecnológicos, que se tornaram *enablers* da CA, tornando-se um importante foco de vantagem competitiva para as organizações, sendo que, estabelecer o design da CA é uma etapa vital para o sucesso das organizações, agora mais do que nunca (Garcia & You, 2015). Numa estrutura da GCA (Figura 2.1) (Cooper & Lambert, Issues in Supply Chain Management, 2000) há certos componentes que são comuns a todos os processos de negócios e membros da cadeia de abastecimento. É a gestão desses componentes comuns que determina como os processos de negócios e, portanto, a cadeia de abastecimento, são geridos e estruturados.

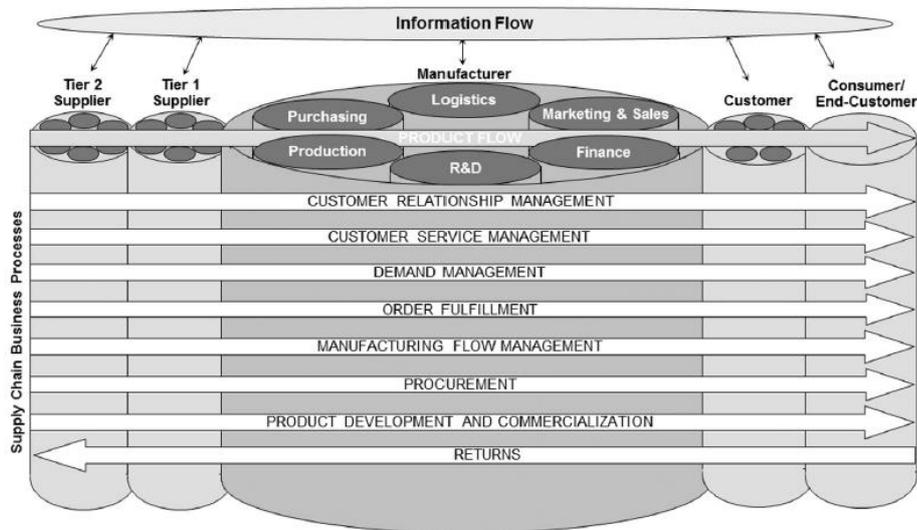


Figura 2.1 Estrutura da cadeia de abastecimento

2.1.1. Os transportes na cadeia de abastecimento

O transporte é uma das atividades mais estruturantes da logística, sendo responsável por uma parcela significativa dos custos logísticos. Com a tendência da CA de evoluir para uma maior velocidade de entregas, sendo estas de porta a porta e em janelas horárias restritas e maior oferta, a seleção dos modos e *outsourcing* de serviços de transporte tornam-se atividades ainda mais críticas em termos logísticos (Crespo, 2012). Adjacente a esta seleção insere-se o planejamento das rotas necessário para definir a tipologia de transporte e combinações.

Existem cinco modos de transporte possíveis para garantir o fluxo material: ferroviário, rodoviário, marítimo, aéreo e *pipeline*. Cada um destes possui características específicas que se adaptam a cada tipo de CA, conforme se verifica na Tabela 1. No entanto todos dependem essencialmente de três variáveis cruciais para definir a melhor solução de transporte, sendo estas:

- Tamanho da carga e frequência de entrega;
- Distância do cliente;
- Densidade de valor da mercadoria.

Deste modo, a solução de transporte terá de ser mais económica quanto maior for a importância das duas primeiras variáveis e menor da terceira. Por sua vez, os modos de transporte mais económicos são os mais lentos e com maior variabilidade, causando maiores necessidades de stock (Crespo, 2012).

Tabela 1 Características dos modos de transporte

	Capacidade	Flexibilidade	Tempo de transporte reduzido	Segurança	Baixo custo	Distância
Ferroviário	X		X		X	
Rodoviário		X	X			X
Marítimo	X				X	X
Aéreo	X		X	X		X

Tendo em conta que esta dissertação foi desenvolvida numa empresa que efetua distribuições pelo modo rodoviário, são apresentadas, com mais detalhe as vantagens e desvantagens deste modo de transporte (Tabela 2):

Tabela 2 Transporte rodoviário

Transporte rodoviário	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Manuseamento mais simples (cargas menores);• Grande competitividade em distâncias curtas/medias;• Elevado grau de adaptação;• Baixo investimento para o operador;• Rápido e eficaz;• Custos mais baixos de embalagem;• Grande cobertura geográfica.	<ul style="list-style-type: none">• Aumento do preço com a distância;• Espaço limitado;• Sujeito às condições atmosféricas;• Sujeito ao trânsito;• Sujeito à regulamentação (circulação, horários).

2.2. Design da Cadeia de Abastecimento

O Design da Cadeia de Abastecimento (DCA) é o processo de determinação da infraestrutura da cadeia, constituído por: fábricas, centros de distribuição, modos de transporte e vias e processos de produção que serão usados para satisfazer os pedidos dos clientes (Harrison, 2003).

Num redesenho de uma CA é preciso ter em conta que o processo de redesenhar existe quando há mudanças significativas na estratégica corporativa da organização ou fusões, aquisições ou até mesmo redução do número de trabalhadores. Nestas situações as perguntas centram-se na racionalização da cadeia em resposta a mudanças.

Um dos principais benefícios do redesenho de uma CA é exigir coordenação entre os postos de trabalho que normalmente não interagem, levando assim a uma melhor capacidade de resolução de problemas e criando uma coordenação entre áreas funcionais que anteriormente não existia. Por outro lado, como o redesenho da cadeia de abastecimentos abrange muitas áreas da organização, a recolha e análise de dados podem-se tornar processos complexos, pois os dados necessários para suportar a análise serão obtidos de várias fontes (Harrison, 2003).

Uma CA deve adotar uma estratégia que melhor se adapte para servir as necessidades específicas do cliente (Fisher, 1997). Segundo a literatura, a estratégia ideal para uma CA deve ter em conta a incerteza da procura e do fornecedor.

Sabendo que um produto com uma procura constante e um fornecedor de confiança não deve ser gerido da mesma forma que um produto com uma procura instável e um fornecedor não confiável, foram identificadas e esquematizadas na Tabela 3, quatro estratégias de CA (Lee, 2002):

- CA eficiente – destinada a criar maiores eficiências de custo, removendo atividades que não criam valor, implementando economias de escala e tecnologias de otimização;
- CA de alto risco – destinada a partilhar recursos para que os riscos associados também sejam partilhados;
- CA responsiva – destinada a ser responsiva e flexível às mudanças da procura dos clientes;
- CA ágil – destinada a ser também responsiva e flexível aos clientes enquanto riscos de escassez ou interrupções são protegidos pela partilha de recursos.

Tabela 3 Estratégias da Cadeia de Abastecimento

		Incerteza da procura	
		Baixa	Alta
Incerteza do fornecedor	Baixa	Eficiente	Responsiva
	Alta	Alto Risco	Ágil

2.2.1. A localização

Numa cadeia de abastecimento, são necessários centros de distribuição como ponto de ligação entre fornecedores e clientes (Hua, Hu, & Yuan, 2016). A localização dos CD é reconhecida como uma das decisões estratégicas mais determinantes do sucesso e da eficiência do fluxo do produto (Liu, Chan, & Chung, 2010), podendo afetar a manutenção da posição da empresa no mercado (Szterlik, 2016). Estas condições levam a que a decisão da melhor localização do CD seja um desafio importante para profissionais do setor logístico. Esta, também desempenha um papel crítico no design estratégico da cadeia de abastecimento (Melo, Nickel, & Saldanha-da-Gama, 2009) e no sistema de distribuição, podendo não só acelerar a taxa de crescimento económico, mas também reduzir custos desnecessários (Hua, Hu, & Yuan, 2016).

O problema de planeamento de localização na CA, envolve um conjunto de clientes que se encontram distribuídos numa determinada área geográfica e um conjunto de instalações que responde à procura desses clientes (Melo, Nickel, & Saldanha-da-Gama, 2009). Consequentemente ao aumento das exigências dos clientes, abordado no capítulo da introdução deste documento, este problema enfrenta desafios como a necessidade de oferecer serviços de entregas em janelas horárias customizadas sem custos adicionais.

De forma a resolver este problema, os modelos de localização de suporte à tomada de decisão, surgem numa grande variedade de contextos e diferem significativamente nas suas características (Kuo & White, 2004). A determinação da localização do(s) centro(s) de distribuição envolve fatores quantitativos e qualitativos, que afetam diretamente a decisão final do local ótimo determinado. Nesse sentido, esses fatores devem ser considerados simultaneamente durante o processo de tomada de decisão (Liu, Chan, & Chung, 2010).

Na literatura foram identificados dois modelos principais de suporte à tomada de decisão de localização.

O primeiro modelo é o *Analytic Hierarchy Process (AHP)*, modelo qualitativo que é suportado por especialistas e por análises dos requisitos do investidor, da disponibilidade de recursos financeiros, do tamanho do espaço de armazenamento e do impacto da construção no ambiente natural e na comunidade local (Szterlik, 2016).

O segundo é o modelo quantitativo do centro de gravidade (CoG), que utiliza as coordenadas geográficas e a procura de todos os elementos constituintes da rede. (Hua, Hu, & Yuan, 2016). Segundo a literatura, a abordagem pelo modelo do CoG tem sido usada ao longo dos anos, seja como um método de localização ou como método de primeira aproximação em modelos mais sofisticados, especialmente em problemas que só exigem a determinação de uma localização. O maior benefício da abordagem do modelo do CoG é a sua simplicidade conceptual, facilidade de uso, rápida resposta (Ballou, 1973) e precisão aceitável para o nível do problema apresentado.

Este será o modelo usado para suporte à tomada de decisão da etapa de localização. Pode ser descrito como um algoritmo de localização baseado na procura dos clientes (V_i), na taxa de transportes (R_i) e nas suas localizações (X_i, Y_i) (Ballou, 1973):

Variáveis:

V_i = Volume deslocado para o ponto I

R_i = Taxa de transporte para enviar V_i para o ponto I

X_i, Y_i = Coordenadas do ponto i

\bar{X}, \bar{Y} = Coordenadas do novo armazém

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i}{\sum_i V_i R_i} \quad (1)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i}{\sum_i V_i R_i} \quad (2)$$

2.3. Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem (VRP) (Figura 2.2) foi introduzido por Dantzig e Ramser em 1958, e é considerado o problema mais significativo na gestão de situações reais de problemas de distribuição (Mester, Braysy, & Dullaert, 2007), podendo ser simplesmente definido como o problema de planeamento de rotas com menor custo de um centro de distribuição para um conjunto de clientes dispersos geograficamente, sujeito a determinadas restrições (Laporte, 2009).

O principal objetivo do VRP é fornecer um conjunto de rotas ótimas para a distribuição de vários tipos de cargas desde o seu ponto de origem (armazéns ou centros de distribuição) até aos pontos de consumo (clientes) que se encontram dispersos geograficamente, com valores de procura diferentes entre si (Mester, Braysy, & Dullaert, 2007) e que podem variar ao longo do tempo. As distribuições são feitas por uma frota de veículos homogénea que é usada para entregar as mercadorias necessárias e, uma vez concluídas as rotas de entrega, os veículos devem retornar ao ponto inicial. Cada veículo possui uma capacidade limitada e apenas um veículo pode visitar cada cliente. (Mester, Braysy, & Dullaert, 2007)

Ao longo do tempo os problemas de VRP têm sofrido algumas alterações de modo a adaptarem-se a situações do quotidiano que não eram satisfeitas no modelo clássico. Esta versatilidade do VRP permite a modificação ou adição de restrições comparativamente ao modelo clássico.

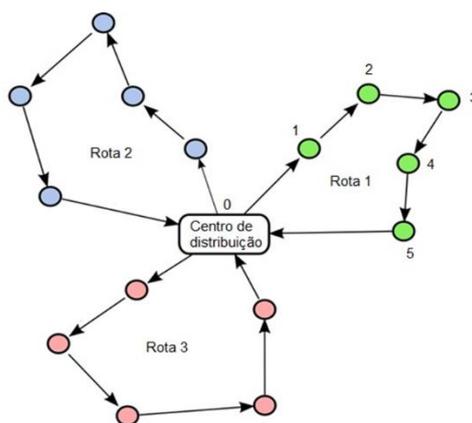


Figura 2.2 Exemplo VRP

O estudo de diferentes soluções para problemas que as organizações enfrentam no seu dia a dia é importante para a melhoria contínua do processo de distribuição. Desta forma, o VRP desempenha um papel chave ao fornecer soluções concretas para os diferentes tipos de problemas.

O estudo do VRP tem um impacto elevado para a operação da CA, uma vez que a definição das rotas de forma eficiente ganha cada vez mais importância à medida que o mercado cresce (Bianchi, 2000). Sendo este um problema de otimização, é modelado matematicamente através de um conjunto de restrições associadas ao problema e que têm necessariamente de ser cumpridas (Baldacci, Toth, & Vigo, 2009). Na prática, existem várias variantes do problema devido à diversidade de regras operacionais e restrições encontradas em aplicações da vida real. Por isso, o VRP deve ser visto como uma classe de problemas. No entanto, é útil, do ponto de vista metodológico, trabalhar em versões simplificadas do problema.

Para a formulação matemática do VRP é necessário ter em conta que existe uma rede “V” de “n” nós ($n = \{0, \dots, n\}$) abastecida por um grupo “K” constituído por “k” veículos, com capacidade “Q” e um subconjunto de clientes “S” em “V” ($S = \{1, \dots, n\}$). O veículo “k” visita o nó “i” e segue para o nó “j”, percorrendo uma distância “c” com uma carga “q”.

Índices:

i – Nó visitado

j – Nó a visitar

k – Veículo

Parâmetros:

cij – Distância entre “i” e “j”

qi – Procura de “i”

Qk – Capacidade de “k”

xijk – Variável binária de decisão

Função objetivo a minimizar:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} \quad (3)$$

Restrições:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad , \forall j \in V; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1 \quad , \forall k \in K; \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ipk} = \sum_{j=0}^n x_{pjk} \quad , \forall k \in K; \forall p \in V; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_i x_{ijk} \leq Q_k \quad , \forall k \in K; \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad , \forall S \subseteq V \setminus \{0\}; S \neq \emptyset; \forall k \in K \quad (8)$$

A restrição (4) garante que cada cliente só é abastecido por um veículo. A restrição (5) determina a saída ou não do CD do veículo k . A restrição (6) assegura que o número de veículos que entram no nó (indegree) é o mesmo que sai (outdegree). A restrição (7) define a capacidade máxima que um veículo pode transportar. A restrição (8) evita a criação de sub-rotas.

O VRP pode ser aplicado a um vasto leque de problemas relacionados com a distribuição e transportes, surgindo assim algumas restrições de modelação dos problemas (Tabela 4) (Baldacci, Toth, & Vigo, 2009):

- Os veículos têm capacidade limitada (Capacitated VRP – CVRP)
- Os clientes podem devolver alguns produtos ao centro de distribuição ou armazém (*VRP with Pick-Up and Delivery - VRPPD*)
- As rotas podem ser efetuadas com veículos de diferentes capacidades (*Heterogeneous Fleet VRP – HFVRP*)
- São utilizados vários centros de distribuição para fornecer os clientes (*multi depot VRP - MDVRP*)
- Os clientes têm de ser satisfeitos numa certa janela horária (TW) (*VRP with time windows - VRPTW*)
- Alguns valores como o número de clientes e a procura podem estar sujeitos a variabilidade (*Stochastic VRP – SVRP*)
- Os pedidos podem ser introduzidos no decorrer da rota (*Dynamic VRP – DVRP*)
- O cliente pode ser servido por mais do que um veículo (*Split Delivery VRP - SDVRP*)

Tabela 4 Variantes do VRP tradicional

VRPSD	DVRP	SVRP	VRPTW	MDVRP	HFVRP	VRPPD	CVRP	Vários veículos
X	X	X	X	X	X	X	X	Capacidade de transporte
X	X	X	X	X	X	X	X	Tempo da rota
						X		Pedidos de recolha
					X			Frota heterogénea
				X				Vários centros de distribuição
			X					Janelas horárias
		X						Incertezas na procura
	X							Rota dinâmica
X								Cliente visitado por vários veículos

Após construção do modelo matemático este deverá ser implementado através de uma estratégia de resolução. O VRP é considerado um problema NP Hard, ou seja, é um problema que pode ter um vasto conjunto de soluções, o que torna impossível avaliar cada um dos seus elementos num espaço de tempo aceitável. Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários métodos numa tentativa de encontrar a melhor solução. Foram identificados três métodos (Tabela 5) de resolução (Laporte, 2009):

- **Abordagens exatas:** Nesta abordagem, a solução procurada é aquela que alcança o melhor resultado possível satisfazendo todas as restrições consideradas, ou seja, garante que a solução encontrada é um ótimo global da função. No entanto, dada a complexidade do problema, este pode não ser resolvido em tempo computacional admissível, sendo que o tempo de processamento aumenta exponencialmente com o número de restrições e é apenas aplicável a problemas de pequenas dimensões. Para esta abordagem foram identificados dois métodos, sendo eles: Programação Linear Inteira (PLI) e Programação Lógica de Restrição (PLR).
- **Heurísticas:** Os métodos heurísticos são menos rigorosos e menos exigentes ao nível computacional, no entanto, estes produzem uma solução de boa qualidade, mas não necessariamente as ótimas, mesmo que realizem uma exploração limitada do espaço de pesquisa. Como a exploração é limitada, os tempos de computação obtidos são mais reduzidos. Por essa razão, podem ser feitas abordagens mais realistas para obter uma solução. Quando o problema possui um grande número de restrições ou é preciso computar soluções mais rapidamente, devem ser usados métodos heurísticos.

Heurísticas do tipo construtivas, são consideradas os métodos mais simples e rápidos para resolver o VRP. No entanto, como a solução resultante está longe do ótimo global, especialmente com um elevado número de restrições, estes são normalmente tratados como solução de primeira abordagem que pode ser melhorada numa segunda fase, com base em heurísticas de construção e melhoria.

Foram identificados os seguintes métodos heurísticos:

1. Algoritmo *Savings*;
2. *Multi-Route Improvement Heuristics*;
3. Algoritmo *Swap*;

4. *Cluster-First, Route-Second*;
5. Algoritmo *Sweep*;
6. Christofides algorithm.

- Metaheurísticas: São procedimentos de exploração profunda, das regiões mais promissoras do espaço de resultados, que partem de uma solução anterior obtida através de heurísticas, de forma a obter as soluções ótimas ou quase ótimas num número finito de iterações. Nas metaheurísticas, a qualidade das soluções encontradas é tendencialmente maior do que aquelas produzidas pelas heurísticas, uma vez que é analisada a vizinhança do espaço de soluções. Esta análise permite à metaheurística “fugir” de ótimos locais e expandir assim a qualidade das soluções.

Foram identificados os seguintes métodos metaheurísticos:

1. *Simulated Annealing*;
2. *Tabu Search*;
3. *Iterated Local Search*;
4. *Variable-Neighborhood Search*;
5. Algoritmos Genéticos;
6. *Ant Colony*;
7. *Particle Swarm Optimization*;

Tabela 5 Comparação dos modelos de resolução

	Número de restrições		Tempo de processamento		Qualidade da solução	
	Elevado	Baixo	Elevado	Baixo	Ótimo global	Ótimo local
Modelos exatos		X	X		X	
Heurísticas	X			X		X
Metaheurísticas	X		X		X	X

2.4. Resumo

Na revisão da literatura apresentada, pretendeu-se mostrar a importância da coordenação das operações logísticas para a distribuição, os impactos que a decisão de localização tem no futuro de uma empresa e a melhor forma de a determinar. Posteriormente à determinação da localização, são expostos três métodos que permitem completar o redesenho da rede através da definição das rotas de distribuição.

Para o desenvolvimento desta dissertação, destaca-se o modelo de centro de gravidade para determinar a localização, devido à facilidade de utilização e simplicidade conceptual. Dado que o problema em estudo se trata de uma variante do VRP, este apresenta uma complexidade NP-hard, pelo que a escolha de um método exato como método de resolução iria limitar o número de restrições e dificultar a resolução. Assim, para colmatar estas limitações, serão utilizados métodos heurísticos e metaheurísticos, que comparativamente às abordagens exatas ganha eficiência a nível computacional.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. A Empresa

A Plural - Cooperativa Farmacêutica, fundada em 1974 como Farbeira, dedica-se à comercialização de produtos farmacêuticos e fornece atualmente mais de 1200 Farmácias, tendo como missão aprovisionar, armazenar e distribuir medicamentos aos seus cooperadores, nas melhores e mais adequadas condições, no mais curto espaço de tempo, de acordo com as boas práticas de distribuição.

Em 2006 a fusão de três cooperativas da região centro: Cofarbel, Farcentro e Farbeira deu origem à atual Plural - Cooperativa Farmacêutica. Desde então a empresa tem vindo a crescer, sendo que atualmente apresenta seis centros de distribuição localizados em Coimbra(sede), Maia, Covilhã, Caldas da Rainha, Montijo e Faro. Por sua vez, em 2017 o centro de Coimbra mudou de localização para conseguir responder ao aumento da procura dos clientes, alteração esta que levou a Plural à presente situação, que conta com um sistema tecnológico avançado e mais fiável. Atualmente esta empresa é responsável por mais de 300 postos de trabalho, possuindo capacidade de armazenamento para 20 000 referências e uma frota com cerca de 60 veículos.

3.2. Exposição do Problema

O desafio proposto pela Plural para esta dissertação, como introduzido anteriormente, consiste no redesenho da rede logística do Centro de Distribuição (CD) do Montijo (Figura 3.1). Dada a dimensão do desafio, este foi dividido em três fases distintas: fase de recolha e análise de dados, determinação da nova localização para o CD e redesenho da rede de distribuição.

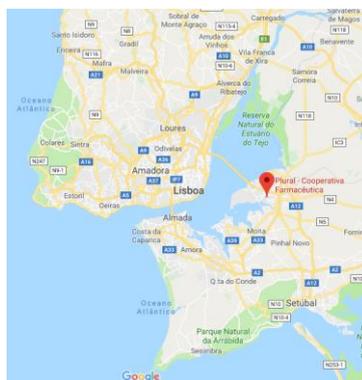


Figura 3.1 Ponto de localização do CD da Plural no Montijo

O crescimento desde 2018 (Figura 3.2) fez com que, atualmente, a Plural entregue medicamentos a 284 clientes, distribuídos pelos seguintes distritos (Tabela 6): Lisboa (66,5%), Santarém (2,1%), Setúbal (21,5%), Beja (0,4%), Évora (5,3%) e Portalegre (4,2%).



Figura 3.2 Número total de clientes

Tabela 6 Clientes por distrito

Distrito	Nº de clientes
Lisboa	189
Setúbal	61
Évora	15
Portalegre	12
Santarém	6
Beja	1

Atualmente, a distribuição no CD da Plural no Montijo, é realizada em três turnos (Tabela 7) diários de entregas: manhã, tarde e noite. Em média são efetuadas 40 rotas de distribuição, que podem percorrer no total 6 200 km por dia, como apresentado na Figura 3.3.

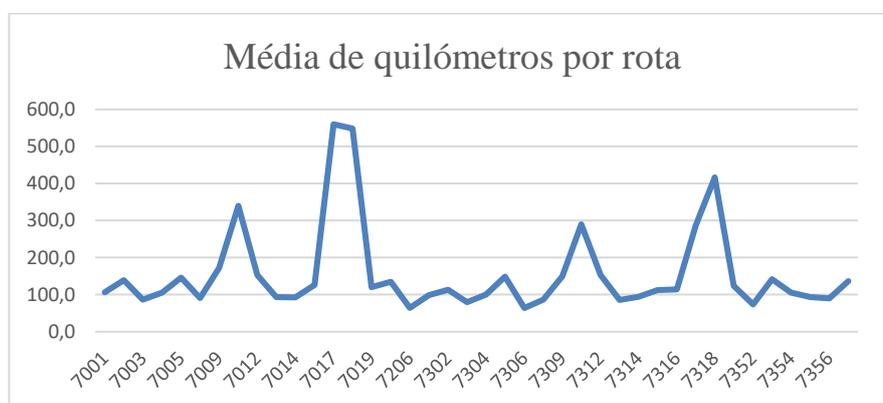


Figura 3.3 Média de quilómetros percorridos por rota.

Tabela 7 Números de rotas por turno.

Turno	Número de rotas
Manhã	16
Tarde	17
Noite	7

O método de distribuição de medicamentos é feito com recurso a caixas plásticas denominadas de baques (Figura 3.4). Estas, são distribuídas por uma frota heterogénea de diferentes capacidades de carga (Tabela 8).



Figura 3.4 Baque pequeno (esquerda) e baque grande (direita).

Tabela 8 Tipologia de veículos.

Tipo de veículo	Nº de veículos na frota	Carga máxima (baques grandes)
Kangoo	15	60
Trafic	2	90

Face ao aumento do número de clientes (Figura 3.2), principalmente na zona da grande Lisboa, a Plural identificou a falta de capacidade do CD do Montijo em acompanhar este crescimento, sentindo a necessidade de se readaptar. Para isso, é necessário alterar a localização do CD e determinar uma nova rede de distribuição para a nova localização.

Perante o cenário apresentado, a criação de dados aumentou proporcionalmente, levando ao aumento do tempo de processamento e análise dos mesmos. A Plural dispõe de dois sistemas de levantamento e análise de dados. O primeiro é um sistema informático onde o operador só necessita de inserir os dados de início e fim de rota, sendo feita num Personal Digital Assistant (PDA) Por sua vez, estes são transferidos automaticamente para a base de dados, ficando, assim a informação atualizada e disponível no software de apoio à gestão da empresa, SAP.

O segundo é um sistema de levantamento, análise de dados e transferência para a base de dados manual, levando não só à criação de processos redundantes, como também ao aumento do tempo da operação e de custos.

No primeiro sistema apresentado, foram detetadas falhas (Figura 3.5) em dados chave, que dariam continuidade ao estudo em causa.



Figura 3.5 Dados perdidos

Posto isto e salientando a importância dos dados para o desenvolvimento desta dissertação, foi dedicado um período do estágio, com objetivo de analisar os processos de recolha e criação de dados, de forma a corrigir a falta de dados existentes.

3.3. Abordagem ao Problema

3.3.1. Dados

Face ao acima exposto, a abordagem ao problema da recolha de dados, foi feita segundo a representação do processo de criação de dados através de um fluxograma e pela análise da qualidade dos dados recolhidos, no intervalo de tempo de 1 de dezembro de 2018 a 31 de dezembro de 2018, desta forma foi possível abranger todas as rotas feitas pelo CD do Montijo.

Feita a análise do processo e da qualidade dos dados, foi elaborado o plano de criação de dados em falta segundo a metodologia *Cross Industry Standard Process* (CRISP), método este que foi desenvolvido para a criação de dados (DM - *Data mining*) em 1996 (Rivo, et al., 2011).

O método pode ser dividido em seis fases:

1. Compreender o negócio da empresa;
2. Compreender os dados;
3. Preparação dos dados (*data cleaning*);
4. Modelação de dados;
5. Avaliação dos dados modelados;
6. Implementação de dados.

3.3.2. Localização

A metodologia usada para determinar uma nova localização para o CD do Montijo, passa pela aplicação direta do modelo do CoG, que é descrito nas equações 1 e 2. Em complemento, são analisados o volume de vendas e a quota de mercado da Plural nos seis distritos abrangidos pelo CD do Montijo, para o período temporal de 1 de janeiro a 11 de abril. Pelas análises a realizar, é expectável que seja possível estabelecer uma nova localização que se adapte ao aumento das necessidades do mercado e do volume de vendas.

3.3.3. Redesenho da rede de distribuição

A abordagem ao redesenho da rede de distribuição é representada por um *Vehicle Routing Problem* (VRP), que como o próprio nome indica, é um problema de planeamento de rotas de veículos. Para a resolução deste problema foram usados módulos de programação, fornecida pela Google *OR-Tools*, em linguagem *Python*. Este trabalho foi

desenvolvido nesta linguagem de programação devido ao facto de ser *software* de livre acesso, pelo suporte da comunidade de programação através do desenvolvimento de módulos e pelo conhecimento já adquirido nesta linguagem ao longo do curso.

A metodologia usada para a resolução deste problema está dividida em duas fases. A primeira, é a obtenção de resultados segundo métodos heurísticos e a segunda, é a obtenção de resultados segundo métodos metaheurísticos com tempos de processamento variáveis.

O processo de validação de resultados será repartido em duas formas. A primeira é pela análise do administrador da distribuição da Plural, que irá analisar a viabilidade e aplicabilidade dos resultados no processo atual da empresa, a segunda forma de validação, consiste na comparação dos resultados obtidos pelos métodos de resolução com os resultados da empresa.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. DADOS

A recolha e preparação dos dados para avaliar a abordagem proposta foi uma tarefa bastante difícil. Em muitos casos, eles não estavam disponíveis ou não eram válidos e os registos eram escritos em papel e por vezes difícil de ler. Portanto, para tornar o processo viável e sólido, foram feitas algumas simplificações, e alguns valores foram corrigidos ou estimados.

Neste capítulo é apresentado o processo de recolha e criação de dados, são identificadas as possíveis causas da invalidação dos dados, as possíveis melhorias e a otimização obtida nos processos de recolha e análise, de forma a reduzir, o tempo e custo deste processo e a falta de dados.

4.1.1. Descrição do processo de criação de dados

Com um valor tão elevado de dados a ser criado na base de dados da Plural era essencial garantir que estes são recolhidos de forma correta. Posto isto, era de extrema importância perceber o processo de criação de dados para que fosse possível detetar as falhas e corrigi-las. De forma a tornar mais perceptível o processo de recolha e criação de dados, são descritas as seis etapas principais, num processo simplificado, e são representados na Figura 4.2 através de um fluxograma, dividido pelas entidades envolvidas.

Processo simplificado:

1. O operador liga o Personal Digital Assistant (PDA) (Figura 4.1) e insere o código de trabalhador, a matrícula do veículo e o código da rota que vai efetuar;



Figura 4.1 PDA para inserção de dados

-
2. É estabelecida uma ligação entre a base de dados da Plural e o serviço de leitura de dados dos veículos (CarTrack);
 3. O operador efetua o registo e a atribuição dos baques à rota e o carregamento para o veículo;
 4. O operador efetua o registo manual dos quilómetros do veículo numa folha de registo de dados de km e hora;
 5. Realização da rota;
 - a. Durante esta etapa existe sempre um fluxo de informação entre as entidades envolvidas.
 6. Chegado ao CD, o operador regista novamente os quilómetros do veículo e efetua o fecho da rota.
 - a. Nesta etapa as ligações entre as entidades envolvidas são fechadas.

4.1.1.1. Sistemas de registo de dados

Sistema 1 – Sistema automático:

A primeira forma de registo de dados, é através de um sistema automático. Como descrito anteriormente, o operador só necessita de inserir: o código de trabalhador, a matrícula do veículo e o código da rota que vai efetuar. Após a inserção dos dados iniciais, a ligação é estabelecida com as entidades envolvidas no processo (Plural e CarTrack), desta forma, é possível controlar em tempo real toda a informação da rota (ex.: velocidade, tempos de paragem, hora de início e fim da rota, entre outros).

Este sistema está representado na Figura 4.2 pelos processos:

- 2 – Abrir rota e inserir dados no PDA;
- 2.1 – Ligação base de dados CarTrack;
- 2.2 – Ligação contínua à monitorização CarTrack;
- 2.3 – Criação do ficheiro SAP na base de dados da Plural;
- 5 – Fecho da rota no PDA;
- 5.1 – Fecho da ligação contínua à monitorização CarTrack;
- 5.2 – Atualização do ficheiro SAP.

Sistema 2 – Sistema manual:

A segunda forma de inserção de dados, é através de um registo manual em papel (Figura 4.3). Neste sistema, o operador efetua o registo de abertura de rota no PDA, mas complementa este processo com o registo dos dados num impresso em papel.

Este sistema está representado na Figura 4.2 pelos processos:

- 2 – Abrir rota e inserir dados no PDA;
- 2a – Abrir a rota e inserir os dados em papel;
- 5 – Fecho da rota no PDA e no papel;
- 6 – Passar os dados do papel para o computador;
- 7 – Atualização do ficheiro SAP manualmente.

FOLHA SEMANAL 2017 ENTREGAR SEMPRE À SEGUNDA FEIRA			Viatura						
Data	Rota	Nome Rota	Kilómetros		Horário		Nº Func		
			Início	Fim	início	fim			
/	/	[REDACTED]	107818	108028	H	M	H	M	90131
/	/	[REDACTED]	108028	108172	H	M	H	M	90134
/	/	[REDACTED]	108172	108390	H	M	H	M	2
/	/	[REDACTED]		108494	H	M	H	M	90280
/	/	[REDACTED]		108651	H	M	H	M	90280
/	/	[REDACTED]	108651	108867	H	M	H	M	90100
/	/	[REDACTED]	108867	108993	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	108993	109120	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	109120	109313	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	109313	109494	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	109494	109652	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	109652	109794	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	109794	109922	H	M	H	M	
/	/	[REDACTED]	109922	110032	H	M	H	M	90171
/	/	[REDACTED]	110032	110059	H	M	H	M	90171
/	/	[REDACTED]	110059	110320	H	M	H	M	90171
observações (viatura/farmácia)					H	M	H	M	

Figura 4.3 Folha de registo

4.1.2. Análise dos sistemas

Após a apresentação dos dois sistemas existentes para registar dados, deu-se início à análise do tempo de registo e de custos (Dados referentes ao período de 1 mês).

Para efeitos de análise, foram considerados os seguintes pressupostos:

- 1 ano tem 220 dias de trabalho;
- 1 mês tem 22 dias de trabalho;
- Um trabalhador recebe 14 meses de ordenado por ano;
- O custo do trabalhador para a empresa é o somatório de: custos fixos, custos variáveis, custo de segurança social e acidentes de trabalho;
 - O custo mensal de um trabalhador é de 1500€.
- Um dia de trabalho é composto por 8 horas;
- Por dia são realizadas 160 rotas;
- A folha de registo de dados está limitada a 15 linhas.

Diretamente do fluxograma, é possível retirar as etapas que condicionam o processo de criação de dados. A Figura 4.4 representa com mais detalhe uma dessas etapas e os seus fluxos envolventes.

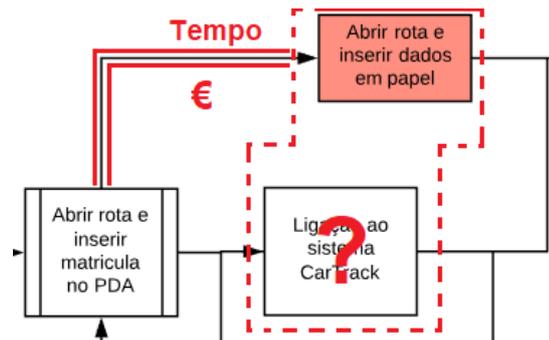


Figura 4.4 Representação dos dois sistemas de registo

O sistema 2, apresentado a vermelho, foi criado com o objetivo de corrigir as falhas de ligação entre as entidades envolvidas do sistema 1, que representam cerca de 30% de dados perdidos (Figura 3.5). Esta percentagem de dados perdidos é consequência das falhas de ligação ao sistema CarTrack, etapa 2.1. Visto que o sistema 1 apresenta uma percentagem de falha de registo de dados tão elevada, este deixou de ser considerado no processo, tornando-se assim num sistema redundante.

Ao existir um processo redundante, é importante analisar os custos de cada sistema, de maneira a concluir qual dos dois compensa usar.

4.1.2.1. Análise de custos

Para obter um termo de comparação entre os dois sistemas, foi desenvolvida uma análise de custos por rota.

4.1.2.1.1. Sistema 1

Na análise do sistema 1, foi feita, para um dia de trabalho, a contagem do tempo que o operador demorava a completar os registos informáticos, com base nas linhas em falta (Tabela 9).

Tabela 9 Tempo para completar os dados em falta

Sistema 1	
Linhas de dados em falta	Tempo de registo[<i>min</i>]
1	1,5
2	3
3	4,5
4	6
...	...
10	15

Com base nos pressupostos apresentados e no tempo de registo por linhas de dados em falta (1,5 min), foi possível calcular os custos por rota para o sistema 1. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 Análise de custo do sistema 1

Nº de linhas de dados/mês	3520	
Nº de linhas em falta/mês	1016	
% de linhas em falta	28,86	%
Nº de linhas de dados/dia	160	
Nº de linhas em falta/dia	46,18	
Tempo de registo de linhas/dia [min]	69,3	min
Tempo de registo/ano	15240,0	min = 254,0 horas
Custo da operação/ano	3 031 €	
Custo da operação/dia	13,8 €	
Custo da operação/rota (Coimbra)	0,09 €	

4.1.2.1.2. Sistema 2

Na análise do sistema 2, foi feita, para um dia de trabalho, a contagem do tempo, para um dia de trabalho, que o operador demorava a passar os dados do registo feito em papel, para o computador (*Tempo_de_registo*) (Tabela 11).

Tabela 11 Tempo de registo por folha

Sistema 2	
Folhas inseridas	Tempo de registo[min]
1	3,22
2	6,44
3	9,66
4	13,00
...	...
10	36,00

Com base nos pressupostos apresentados e no tempo de registo por folha (3,22 min), foi possível calcular os custos por rota. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 Análise de custo do sistema 2

Tempo de registo de dados/dia [min]	36,0	min
Tempo de registo/ano	7920,0	min = 132,0 horas
Custo da operação/ano	1575,0 €	
Custo da operação/dia	7,2 €	
Custo da operação/rota	0,04 €	

4.1.2.2. Conclusão dos resultados dos sistemas de dados

Após a análise de custo e partindo do princípio que, no sistema 2 são inseridas por dia 10 folhas e no sistema 1, são inseridas por dia 46 linhas, é possível concluir que, atualmente, o sistema 2 é mais rápido e envolve menos custos do que o sistema 1. Contudo, o primeiro sistema tem a possibilidade de melhorar. Se a percentagem de dados em falta reduzir cerca de 13,9% (Tabela 13), este já se torna compensatório, uma vez que o custo por rota fica menor do que o custo do sistema 2.

Tabela 13 Comparação de custos/rota

Sistema 1		Sistema 2	
% de linhas em falta	Custo da operação/rota	Folhas a preencher	Custo da operação/rota
28,86	0,0861	10	0,0447
14,97	0,0446	10	0,0447

4.1.3. Análise e Descrição de Dados

Para a realização da análise dos dados, foram considerados dois ficheiros Excel (.xlsx), visto serem os ficheiros onde se verificou o maior número de falhas. O primeiro encontra-se descrito na Tabela 14, que contém a informação sobre os baques que foram distribuídos. O segundo, na Tabela 17, inclui os dados das rotas que foram realizadas e dos pontos de paragem. Para a descrição dos dados, são ainda representados mais dois ficheiros. O primeiro, Tabela 15, representa as rotas criadas pela empresa. O segundo, Tabela 16, que foi criado com recurso à ferramenta *maps* da Google, contém a informação dos 284 clientes em estudo.

A Tabela 14 contém uma linha por cada baque, identificado como *ID_Baque*, entregue num cliente, *ID_Cliente*. A cada entrega está associado uma rota através de *ID_Rota*.

Tabela 14 Tabela de baques por rota

ID_Rota	Identificação da rota
Data	Data da rota, formato DD/MM/AAAA
ID_Baque	Identificação do baque
Tipologia do Baque	Frio ou normal
Tamanho de Baque	Grande ou pequeno
ID_Cliente	Identificação do código de cliente
Nome_Cliente	Identificação do nome do cliente
Morada_Cliente	Morada do cliente

A Tabela 15 contém uma linha por cada paragem num cliente ou CD. Inclui a sequência do cliente (*ID_Cliente*) na rota (*ID_Rota*) e o tempo teórico de viagem (*Tempo_rota*).

Tabela 15 Tabela de rotas

ID_Rota	Identificação da rota
Nome_Rota	Nome da rota
Sequência do Cliente na Rota	Índice (i) dos n cliente na rota (i=1,2,3..., n)
ID_Cliente	Identificação do código de cliente
Nome_Cliente	Identificação do nome do cliente
Local_Cliente	Identificação do local do cliente
ID_Centro_Distribuição	Coimbra (8000) ou Montijo (5000)
Status_Rota	Em funcionamento ou desativada
Tempo_Rota	Tempo previsto para a rota
Km_Rota	Quilómetros da rota
Custo_Rota	Custo estimado da rota

A Tabela 16 tem uma linha por cada *ID_Cliente* e para cada cliente são descritas as suas coordenadas geográficas e distrito (*Latitude_Cliente/Longitude_Cliente* e *Distrito_Cliente*).

Tabela 16 Tabela de clientes

ID_Cliente	Identificação do código de cliente
Nome_Cliente	Identificação do nome do cliente
Local_Cliente	Identificação do local do cliente
Distrito_Cliente	Identificação do distrito do cliente
Latitude_Cliente	Latitude do cliente
Longitude_Cliente	Longitude do cliente

A Tabela 17 contém uma linha por paragem. Esta contém a identificação da rota (*ID_Rota*), com a qual se pode relacionar com a Tabela 15. Esta tabela contém informações do cliente fornecido (*ID_Cliente*). Também inclui uma comparação entre a hora prevista de entrega (*Hora_Prevista_Entrega*) e a hora real de entrega (*Hora_Entrega*).

Tabela 17 Tabela de entregas

ID_Transporte	Identificação do transporte
ID_Motorista	Identificação do código de motorista
Nome_Motorista	Nome motorista
Matrícula	Matrícula do veículo
ID_Rota	Identificação da rota
ID_Cliente	Identificação do código de cliente
Nome_Cliente	Identificação do nome do cliente
Local_Cliente	Identificação do local do cliente
Hora_Prevista_Entrega	Hora teórica de entrega
Hora_Entrega	Hora real de entrega
Data	Data de entrega

4.1.4. Limpeza e Filtração

Após a análise e descrição dos dados, foi feita a limpeza e a filtração destes de forma a eliminar informação irrelevante para o desenvolvimento da dissertação.

Os dados das tabelas 14, 15 e 17 devem atender a determinadas condições para análises posteriores. Em primeiro, as tabelas têm que ser consistentes nos dados que apresentam. Isto é, cada *ID_Rota* deve conter a informação das paragens efetuadas e do número de baques entregues no *ID_Cliente* e dos km percorridos (*Km_Rota*). Ao fazer esta junção, foram filtradas 1170 *ID_Rotas* para as quais não existia informação completa.

4.1.5. Dados Finais

No seguimento da limpeza e filtração dos dados, foi possível avançar com a criação do ficheiro final. Aplicando distribuições normais baseadas em dados completos do ano de 2018, foi possível completar dados em falta e gerar a Tabela 18. Esta é a compactação de todas as tabelas necessárias para realizar o redesenho da rede logística. Pois abrange os dados essenciais à localização, procura e às distâncias e tempos entre clientes.

Tabela 18 Tabela resultante

ID_Transporte	Identificação do transporte
ID_Motorista	Identificação do código de motorista
Nome_Motorista	Nome motorista
Matrícula	Matrícula do veículo
ID_Rota	Identificação da rota
ID_Cliente	Identificação do código de cliente
Lat	Latitude do cliente
Long	Longitude do cliente
Nome_Cliente	Identificação do nome do cliente
Local_Cliente	Identificação do local do cliente
Hora_Prevista_Entrega	Hora teórica de entrega
Hora_Entrega	Hora real de entrega
Data	Data de entrega
Tempo de viagem	Tempo de viagem entre dois pontos
Distância de viagem	Distância da viagem entre dois pontos
Baques/Farmácia	Procura de baques por farmácia
Densidade de carga	Percentagem de uso da capacidade do veículo

4.2. LOCALIZAÇÃO

Sendo a localização das infraestruturas um dos fatores críticos para o sucesso das empresas, é importante definir bem a localização inicial e as suas limitações na rede de distribuição para numa fase futura ter um ponto de comparação. Neste capítulo é apresentado o estudo realizado para determinar a melhor localização de um centro de distribuição com base na procura e em análises de vendas (*Geo-bricks*) e condições geográficas.

O estudo feito neste capítulo é referente ao período de janeiro a abril, para 284 clientes e um armazém de abastecimento em Coimbra (sede).

4.2.1. Centro de Gravidade (CoG)

Como referido acima no documento, o modelo CoG é uma ferramenta de fácil utilização, de resposta rápida e fiável para o cálculo da localização de um centro de distribuição.

Para a aplicação do modelo e sabendo que a capacidade do transporte, em baques, é a principal variável que limita a distribuição, foi atribuído um peso representado pela procura em baques (Figura 4.5), a cada nó da rede.

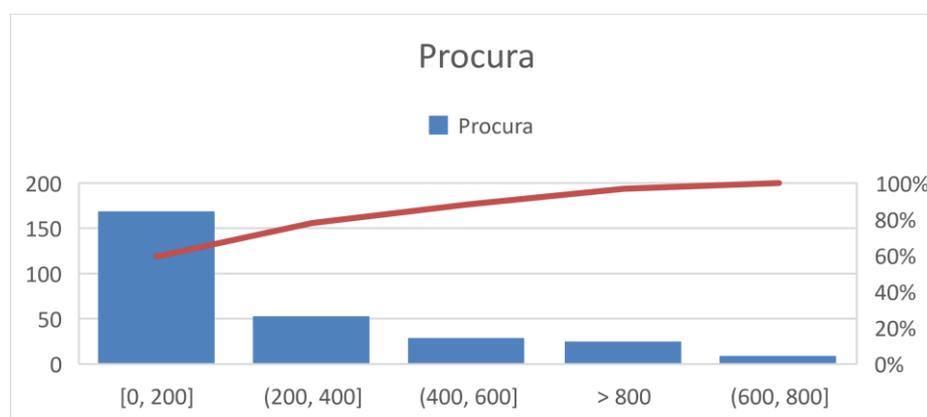


Figura 4.5 Representação da procura em baques por dia

Após a análise da Figura 4.5, repara-se que, ao longo do período de análise, 168 clientes receberam até 200 baques, 53 receberam entre 200 e 400, 29 receberam entre 400 e 600, 9 receberam entre 600 e 800 e por fim 25 clientes receberam mais de 800 baques. Estes valores somados, somam um total de procura de 79320 baques.

Na Tabela 19, está representada a procura por distritos e o peso do abastecimento vindo de Coimbra. Pode ser observado que os valores mais significativos são, 56,9% da procura no distrito de Lisboa e em segundo, Setúbal com uma percentagem de 27,01%.

Tabela 19 Procura por distritos

Distritos	Procura
Coimbra (abastecimento)	3250
Lisboa	45118
Setúbal	21426
Santarém	1659
Portalegre	2640
Beja	751
Évora	4476

Tendo em conta os dados da procura e as localizações geográficas dos clientes acima descritos, foi possível pela aplicação direta do modelo CoG, chegar ao seguinte conjunto de coordenadas (Figura 4.6):

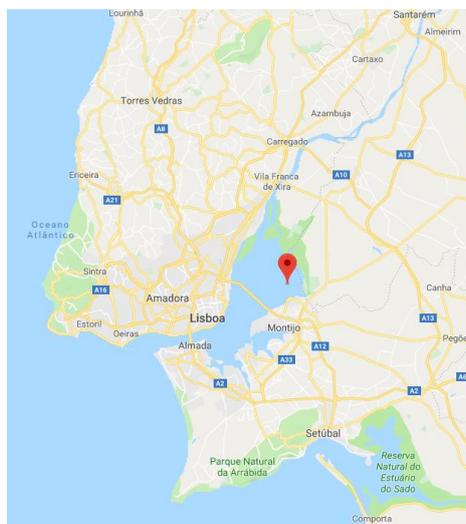


Figura 4.6 Localização obtida pelo CoG

(Latitude: 38,77631208/Longitude: -8,966066723)

Pela observação direta da Figura 4.6, é possível afirmar que a solução obtida não é válida. Não sendo válida, só existem duas alternativas possíveis, ir para a margem norte ou para a margem sul do rio Tejo. De maneira a obter uma resposta mais completa ao problema de localização foi feita uma análise de vendas de mercado (*Geo-bricks*).

4.2.2. “Geo-bricks”

Geo-brick é um sistema de dados de vendas em estilo “tijolo”, é uma maneira de organizar os dados de vendas numa base regional onde cada *brick* se refere a uma pequena área geográfica que consiste em pelo menos quatro ou cinco farmácias. As empresas farmacêuticas usam estes dados para várias finalidades, incluindo a medição da eficácia dos seus vendedores e para o planeamento de esquemas de incentivos. A organização dos dados em *bricks* é feita por empresas de serviços de dados como por exemplo a IMS Health.

Neste ponto do capítulo da localização serão feitas análises de quotas de mercados dos oito melhores armazenistas (Tabela 20) e dos volumes de venda (Tabela 21) nos seis distritos abrangidos pelo centro de distribuição do Montijo. Da análise das quotas de mercado pode-se observar que os distritos com menor quota de mercado são: Beja (2,26%), Santarém (3,26%) e Lisboa (4,88%).

Tabela 20 Percentagens de quota de mercado por geo-bricks e por distritos

Armazenista	1	2	3	4	5	6	<u>Plural</u>	8	
Distritos	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	TOTAL
Lisboa	4,32%	32,03%	5,23%	3,71%	18,78%	18,50%	4,88%	12,56%	100 %
Setúbal	2,56%	17,93%	9,24%	3,48%	17,71%	25,95%	8,16%	14,98%	100 %
Portalegre	10,32%	32,54%	-	2,08%	-	27,36%	9,50%	18,19%	100 %
Santarém	2,96%	32,90%	-	3,24%	10,52%	46,58%	3,26%	0,54%	100 %
Évora	1,33%	18,77%	4,70%	0,83%	3,21%	38,56%	6,24%	26,36%	100 %
Beja	1,38%	35,48%	-	1,26%	4,08%	40,59%	2,26%	14,94%	100 %
MÉDIA	3,81%	28,27%	3,19%	2,43%	9,05%	32,92%	5,72%	14,60%	

A análise do volume de vendas por distritos (Tabela 21) mostra que Lisboa representa 58,64% das vendas totais. Posto isto, é possível afirmar que é mais provável expandir a quota de mercado do distrito de Lisboa do que a dos restantes distritos. Este forte volume de vendas presente em Lisboa cria uma “força” no ponto de localização do *CoG* que faz com que a localização seja alterada para uma área mais a noroeste (combinação das forças de venda e de abastecimento).

Tabela 21 Volume de vendas por distritos

Distritos	Vendas (€)	% de vendas
Lisboa	47 611 158	58.64%
Setúbal	15 864 986	19.54%
Portalegre	2 347 559	2.89%
Santarém	9 011 467	11.10%
Évora	3 547 137	4.37%
Beja	2 804 439	3.45%
TOTAL	81 186 747	100%

4.2.3. Proposta de localização

Para a decisão final de localização é necessário ter em conta dois fatores decisivos: o possível aumento de quota de mercado e a suas localizações e a fonte de abastecimento do CD do Montijo. Posto isto, é representado na Figura 4.7 um esboço de onde será uma possível nova localização para o CD.

As setas azuis representam os fatores decisivos para esta etapa. A seta que está em paralelo ao tracejado representa o peso do abastecimento do CD e a seta perpendicular representa o peso dos possíveis crescimentos das quotas de mercado e dos volumes de vendas. Na Figura 4.7 está representada a área mais provável para a nova localização do novo CD da Plural, que com base na análise dos *Geo-bricks* e na necessidade de abastecimento, pode ser concluído que a melhor localização é no distrito de Lisboa, mais precisamente na zona de Alverca do Ribatejo que é a zona industrial mais próxima do ponto geográfico assinalado.

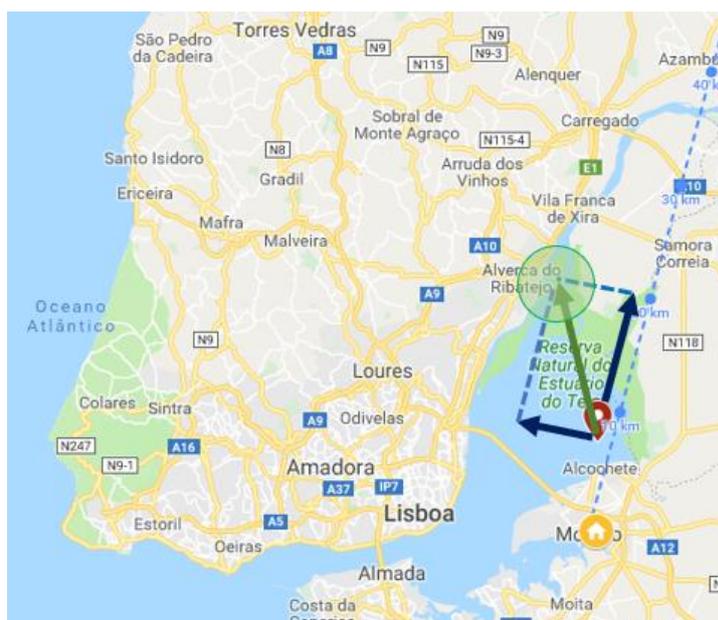


Figura 4.7 Representação geográfica da área proposta

4.3. REDESENHO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Neste capítulo é apresentado o redesenho da rede de distribuição, este consiste em definir o número de veículos e rotas para a nova localização do centro de distribuição. É feita a apresentação das parametrizações e validações do modelo desenvolvido.

Os testes foram executados com recurso a um computador com um processador Intel(R) Core (TM) i7-5500 CPU@2.40GHz e com 8,00 GB de RAM, num sistema operativo Windows 10 Home. Toda a implementação foi realizada em linguagem de programação *python*.

4.3.1. Obtenção da matriz distância

As ferramentas digitais de mapeamento cresceram rapidamente nos últimos anos. Existem muitos serviços de mapas na indústria de tecnologia para verificar os planos de rota, entre os mais populares, podemos encontrar: *Google Maps*, *Bing Maps*, *OpenStreetMap*, *Gecode*, *MapQuest Maps*, *Here* (Santana, 2016).

As APIs das ferramentas de mapeamento oferecem uma ampla gama de recursos, inclusive a possibilidade de calcular a distância e tempo real entre pontos. Mas por outro lado, estas podem conter custos associados à sua utilização.

Como “não houve financiamento” para adquirir uma API com acesso ilimitado, foi necessário fazer uma análise aos termos e condições de cada ferramenta. Foi então escolhida a ferramenta *Bing Maps* para a obtenção das matrizes distância e tempo, devido à sua facilidade de uso, conhecimento prévio da ferramenta, acesso gratuito à API e medição de distâncias e tempos reais (limitada a 200 nós [200x200]).

4.3.2. Google *OR-Tools*

O *OR-Tools* é um software de código aberto, disponível em quatro linguagens de programação, para otimização, que procura encontrar a melhor solução para problemas com um espaço de soluções possíveis muito grande. Na maioria dos casos, problemas como este apresentado, têm um número elevado de soluções possíveis, o que para os computadores se torna impossível de pesquisar em tempo admissível. Para superar isso, o *OR-Tools* utiliza algoritmos identificados na literatura para restringir o conjunto de pesquisa, a fim de encontrar uma solução ótima, ou próxima.

4.3.2.1. Parametrização

A parametrização do solver é uma etapa importante para limitar a busca de resultados. Nesta, são estabelecidos os seguintes parâmetros: limite do número de soluções ou tempo de procura, estratégia de obtenção da primeira solução (heurística) e de pesquisa pelo espaço de solução (metaheurística) e método de propagação (

Tabela 22).

Tabela 22 Parâmetros de procura Google

Parâmetro	Valor	Descrição
<code>solution_limit</code>	-	Limita o número de soluções geradas durante a pesquisa.
<code>time_limit.seconds</code>	50/100/200/300/500	Limita, em segundos, o tempo de pesquisa.
<code>vehicle_maximum_travel_distance</code>	500000	Limita, em metros, a distância máxima possível para uma rota.
<code>first_solution_strategy</code>	AUTOMATIC	Permite ao <i>solver</i> detetar qual é o melhor método heurístico a usar.
<code>SetGlobalSpanCostCoefficient</code>	0	Define um custo proporcional ao intervalo de dimensão *global*, que é a diferença entre o maior valor de variáveis cumulativas de fim de rota e o menor valor de variáveis cumulativas de início de rota. $\text{Global_span_cost} = \text{coeficiente} * (\text{Max}(\text{valor final da dimensão}) - \text{Min}(\text{valor inicial da dimensão}))$
<code>local_search_metaheuristic</code>	GUIDED_LOCAL_SEARCH	Usa a pesquisa local guiada para escapar dos mínimos locais; Esta é geralmente a metaheurística mais eficiente para planeamento de rotas de veículos.
<code>use_light_propagation</code>	True	Usar restrições com propagação mais curta. Uma propagação maior só é necessária quando se utiliza uma pesquisa em profundidade ou para modelos que requerem

forte propagação para finalizar o valor de variáveis secundárias.

A determinação do melhor método heurístico e metaheurístico, foi feita pela comparação das soluções obtidas, na resolução de um problema tipo, através de métodos identificados na Literatura. Os resultados estão representados nas figuras 4.8 e 4.9.

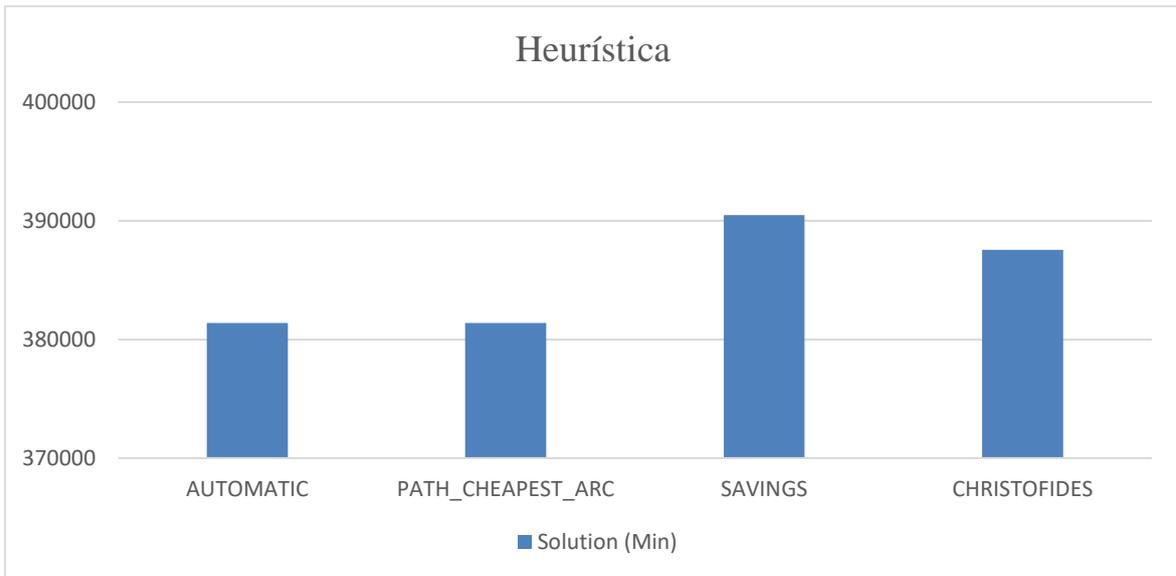


Figura 4.8 Métodos Heurísticos

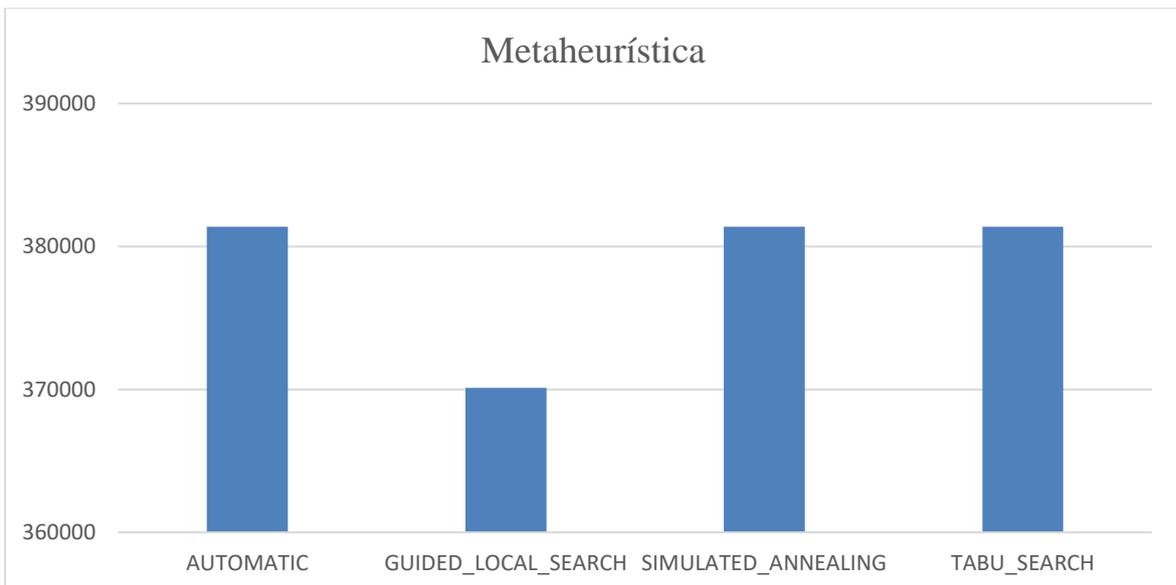


Figura 4.9 Métodos Metaheurísticos

4.3.2.2. Aplicação e desenvolvimento do código *python*

Tendo como ponto de partida, o código original escrito pela Google, foi realizada uma análise à sequência lógica, de forma a perceber o funcionamento e uma adaptação, para se obter respostas personalizadas e mais completas.

O código original foi representado segundo a seguinte sequência lógica:

- 1) Importação dos módulos *solver*;
- 2) Inserção da matriz distância e da procura;
- 3) Função principal:
 - 3.1) Criação da rede;
 - 3.2) Aplicação das restrições;
 - 3.3) Resolução segundo o método escolhido.
- 4) *Print* da solução (Figura 4.10).

Route for vehicle 1:
0 Load(0) -> 4 Load(1) -> 20 Load(3) -> 31 Load(4) -> 3 Load(6) -> 6 Load(8) -> 17
Load(9) -> 13 Load(10) -> 26 Load(12) -> 0 Load(12)
Distance of the route: 85240 m
Load of the route: 12

Figura 4.10 Exemplo de solução com código original

Como se pode observar na figura, as rotas são representadas pela sequência dos índices atribuídos aos pontos da matriz distância. Após a adaptação do código original, foi possível obter soluções onde a sequência da rota é apresentada através dos códigos de cliente (Figura 4.11). De forma a facilitar a análise visual, foi também programada uma apresentação visual dos resultados no Google *maps* (Figura 4.12).

Route for vehicle 5:
5000 Load(0) -> 14103 Load(1) -> 13994 Load(3) -> 12169 Load(4) -> 14275
Load(6) -> 11266 Load(8) -> 11277 Load(9) -> 25291 Load(10) -> 11238 Load(12) -
> 5000 Load(12)
Distance of the route: 85240 m
Load of the route: 12

Figura 4.11 Exemplo de solução com código adaptado

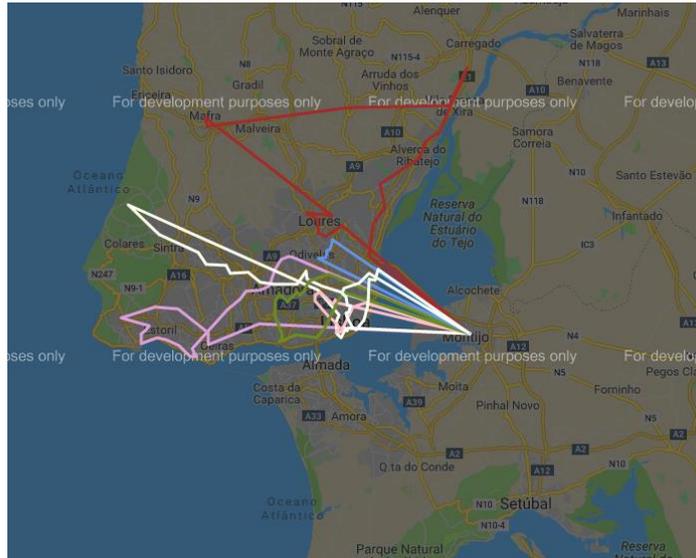


Figura 4.12 Exemplo de solução visual

Em suma, o código pode ser representado sob a forma de um pseudocódigo (Tabela 23) onde são descritas todas as etapas cruciais.

Tabela 23 Pseudocódigo *python*

1: Import: <i>time, googlemaps, gmpplot, random, numpy, pandas e matplotlib.pyplot;</i>
2: Input: códigos de cores;
3: Create data model: Input: Matriz distância; Input: vetor encomendas; Input: capacidade dos veículos; Input: número de veículos; Índice do centro de distribuição. (predefinido como “0”)
4: Start the solver: Instantiate the data problem; Create the routing index manager; Create Routing Model; Create and register a transit callback: -Convert from routing variable Index to distance matrix NodeIndex. Define cost of each arc; Add Capacity constraint: -Convert from routing variable Index to demands NodeIndex. Add Distance constraint; Setting first solution heuristic; Setting first solution meta heuristic; Solve the problem
5: For Create routes for all vehicles on data.
6: While not Cycle the solution until all the routes are ended on index “0”.
7: Print solution: Read excel file that contains pharmacy's information; Set map initial coordinates
8: Represent routes on Google maps.

Da tabela, é possível retirar que o código está dividido em 4 funções principais (*Import*, *Create data model*, *Solver* e *Print*). Após a inserção dos dados necessários, o programa vai criar um “base de dados” onde armazena toda a informação que será usada posteriormente. De seguida, são atribuídos índices consoante o comprimento da matriz (ex: matriz 200x200 tem 200 índices), desta forma é possível criar a rede que irá ser utilizada pela função *solver*. Prontamente, é verificado se todos os veículos estão atribuídos a uma rota, se a procura foi satisfeita e é representado no mapa a solução.

4.3.3. Validação do modelo

Para a validação do modelo, foi usado um método comparativo entre o modelo da Plural e o modelo desenvolvido e proposto nesta dissertação e posteriormente, uma validação feita, com base nos anos de experiência no ramo, pelo responsável da área da distribuição da empresa.

Análise e definição dos parâmetros iniciais

Para a validação do modelo, foi feita a comparação do comportamento dos dois modelos (modelo Plural e modelo proposto), ao longo dos cinco dias uteis da semana de 21 a 25 de janeiro. O intervalo de tempo foi escolhido através da análise da procura de baques, no período de quatro meses, que permitiu verificar que existe uma sazonalidade ao longo das semanas.

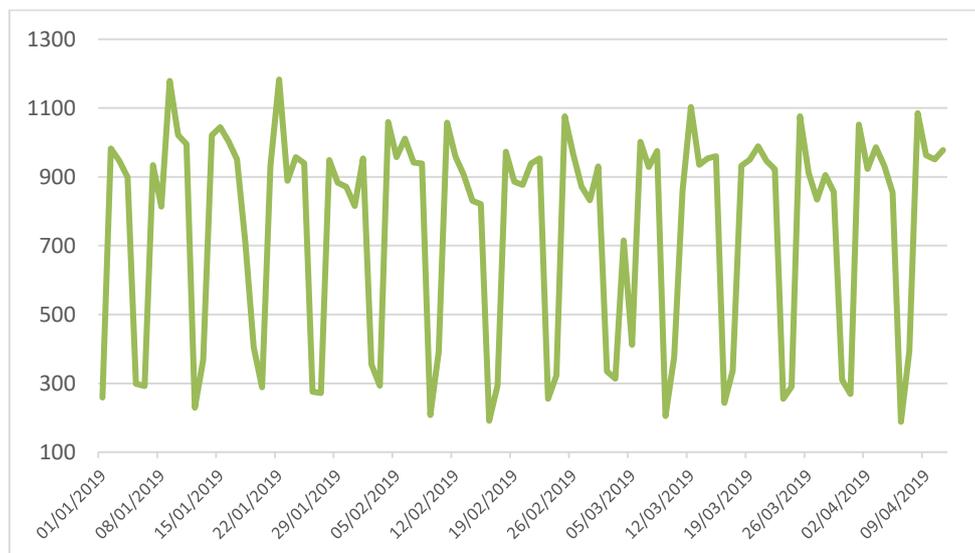


Figura 4.13 Procura de baques de 1 de janeiro a 14 de abril

Posto isto, era importante analisar o comportamento do modelo proposto ao longo da semana, para averiguar se o número de rotas se alterava. De forma a tornar os parâmetros dos processos o mais próximo possível um do outro, o modelo proposto para a validação foi desenvolvido partindo da localização inicial, no Montijo, e com o mesmo grupo de clientes/procura.

Na Tabela 24 estão esquematizados os parâmetros principais:

Tabela 24 Parâmetros principais dos modelos

Parâmetro	Valor modelo Plural	Valor modelo proposto
Localização	Montijo	Montijo
Cientes	284	284
Procura	4902	4902
Turnos de entrega	3	3
Veículos	18	18
Capacidade	60/90	60

Com a limitação da API a 200 nós de rede geográfica, o grupo de clientes do modelo proposto foi dividido em dois grupos. O primeiro abrange os clientes do distrito de Lisboa e o segundo abrange os clientes dos restantes distritos (Figura 4.14).

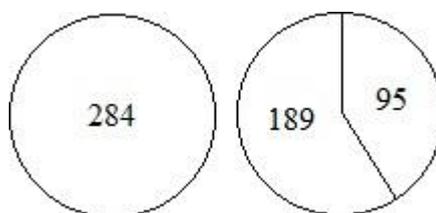


Figura 4.14 Modelo Plural / Modelo proposto.

Resultados

Para atingir os resultados do modelo proposto para comparação, foram usados **apenas métodos heurísticos**, visto serem os mais rápidos em tempo de processamento. Os resultados obtidos pela primeira abordagem estão representados nas seguintes tabelas, Tabela 25 e Tabela 26.

Tabela 25 Tabela de resultados atuais

Dia da semana (janeiro)	Modelo Plural					
	Distância percorrida			Número de rotas		
	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite
Segunda 21	3000	2423	544	17	17	5
Terça 22	3067	2461	596	16	17	5
Quarta 23	3013	2458	539	16	17	5
Quinta 24	3034	2408	537	16	17	5
Sexta 25	3023	2435	576	16	17	5
Média	3027	2437	558	16	17	5

Tabela 26 Tabela de resultados obtidos por métodos heurísticos

Dia da semana (janeiro)	Modelo proposto					
	Distância percorrida			Número de rotas		
	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite
Segunda 21	2066	1312	234	11	5	1
Terça 22	2389	1252	228	15	4	1
Quarta 23	2013	1282	230	11	5	1
Quinta 24	2243	1265	234	12	5	1
Sexta 25	2263	1242	219	12	5	1
Média	2195	1271	229	12,2	4,8	1

Análise crítica

Após uma análise mais cuidada, foi possível verificar que a solução obtida para o turno da *Noite*, não é exequível, dado que a rota proposta demoraria mais do que o tempo aceitável pela empresa para este turno. Foi então alterada a restrição de limite de metros percorridos para o turno da *Noite*, passando a ter um máximo de 150000 metros (150 km, valor aconselhado pela empresa). Na Tabela 27 estão apresentados os resultados retificados.

Tabela 27 Tabela retificada de resultados obtidos por métodos heurísticos

Dia da semana (janeiro)	Modelo proposto (Retificado)					
	Distância percorrida			Número de rotas		
	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite
Segunda 21	2066	1312	280	11	5	2
Terça 22	2389	1252	275	15	4	2
Quarta 23	2013	1282	283	11	5	2
Quinta 24	2243	1265	285	12	5	2
Sexta 25	2263	1242	275	12	5	2
Média	2195	1271	280	12,2	4,8	2

Em termo de conclusão, a Tabela 28 apresenta as diferenças percentuais entre os modelos. Com o modelo proposto é possível satisfazer toda a procura com menos veículos e em distâncias mais curtas, obtendo-se assim uma redução de cerca de 37,8% em distância percorrida e de 50,3% em número de veículos usados. Os resultados foram obtidos através da matriz distância com **distâncias reais**. Logo as diferenças dos resultados obtidos pelo

modelo quando comparados com a realidade, são reduzidas, o que torna os resultados mais próximos da realidade.

Embora os resultados obtidos demonstrem melhorias significativas, estes não consideram outro tipo de restrição, como por exemplo, janelas horárias. Estas não são consideradas pois a empresa tem a possibilidade e a vantagem de efetuar entregas sem ser necessária a receção das mesmas por um funcionário da entidade recetora. Esta restrição poderia afetar o número de quilómetros percorridos e o número de veículos usados.

Tabela 28 Tabela de comparação dos modelos

Dia da semana (janeiro)	Modelo Plural		Modelo Proposto		Diferença km %	Diferença N° de rotas %
	Distância percorrida (km)	N° de rotas	Distância percorrida (km)	N° de rotas		
Segunda 21	5967	39	3658	18	-38,70	-53,85
Terça 22	6124	38	3916	21	-36,05	-44,74
Quarta 23	6009	38	3578	18	-40,46	-52,63
Quinta 24	5979	38	3793	19	-36,56	-50,00
Sexta 25	6034	38	3780	19	-37,36	-50,00
Média	6023	38,2	3745	19	-37,82	-50,26

Para complementar a análise crítica, foram usados outros pontos de comparação, a taxa de ocupação do veículo e o número médio de quilómetros percorridos por veículo (Tabela 29).

Tabela 29 Comparação da taxa de ocupação

Dia da semana (janeiro)	Modelo Plural			Modelo proposto		
	N° de veículos	Taxa de ocupação %	Média de km/ veículo	N° de veículos	Taxa de ocupação %	Média de km/ veículo
Segunda 21	39	39,8	152,99	18	68,10	203,21
Terça 22	38	50,6	161,15	21	70,40	186,49
Quarta 23	38	38,9	158,14	18	72,17	198,79
Quinta 24	38	42,0	157,33	19	73,72	199,64
Sexta 25	38	41,3	158,78	19	67,19	198,93
Média	38,2	42,52	157,68	19	70,32	197,11

Pela análise de tabela, é possível retirar que, com o uso do modelo proposto, obteve-se um aumento de 27,8% na taxa de ocupação dos veículos e 25,55% na média de quilómetros por veículos.

4.3.4. Aplicação

Após a descrição e validação do modelo, este foi aplicado ao cenário da nova localização, proposta anteriormente neste documento. Esta aplicação incide sobre o dia 22 de janeiro de 2019, visto ser o dia com maior procura no intervalo de análise do fluxo de baques (Figura 4.13).

Para a obtenção de resultados, foram usados métodos heurísticos e métodos metaheurísticos, com os seguintes parâmetros (Tabela 30):

Tabela 30 Parâmetros principais dos modelos

Parâmetro	Valor modelo Plural	Valor modelo proposto
Localização	Montijo	Nova Localização (38,915952; -9,027595)
Clientes	284	284
Procura	1172	1172
Turnos de entrega	3	3
Veículos	18	18
Capacidade	60/90	60

Métodos heurísticos

Pela aplicação de métodos heurísticos, foi possível obter os resultados expostos na Tabela 31.

Tabela 31 Resultados heurísticos

Dia da semana (janeiro)	Modelo proposto					
	Distância percorrida			Número de rotas		
	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite
Terça 22	2534,10	1214,26	400	15	4	3

Métodos metaheurísticos

Para garantir que os resultados da metaheurística eram bons, foi feita a recolha de dados para os seguintes tempos de processamento (em segundos): 50, 100, 200, 300 e 500.

Os resultados estão expostos na Tabela 32 na Figura 4.15, que como se pode observar, está também representado o comportamento da heurística para o mesmo intervalo de processamento. Para análises futuras, é também apresentada a Tabela 33, que expõe as percentagens de uso das capacidades dos veículos e a média de quilómetros que estes fazem por dia.

Tabela 32 Resultados metaheurística

Tempo de processamento	Modelo proposto					
	Distância percorrida			Número de rotas		
	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite
50	2395,05	1202,98	391,58	15	4	3
100	2362,26	1195,88	391,58	15	4	3
200	2356,42	1195,88	391,58	15	4	3
300	2345,84	1195,88	391,58	15	4	3
500	2345,84	1195,88	391,58	15	4	3

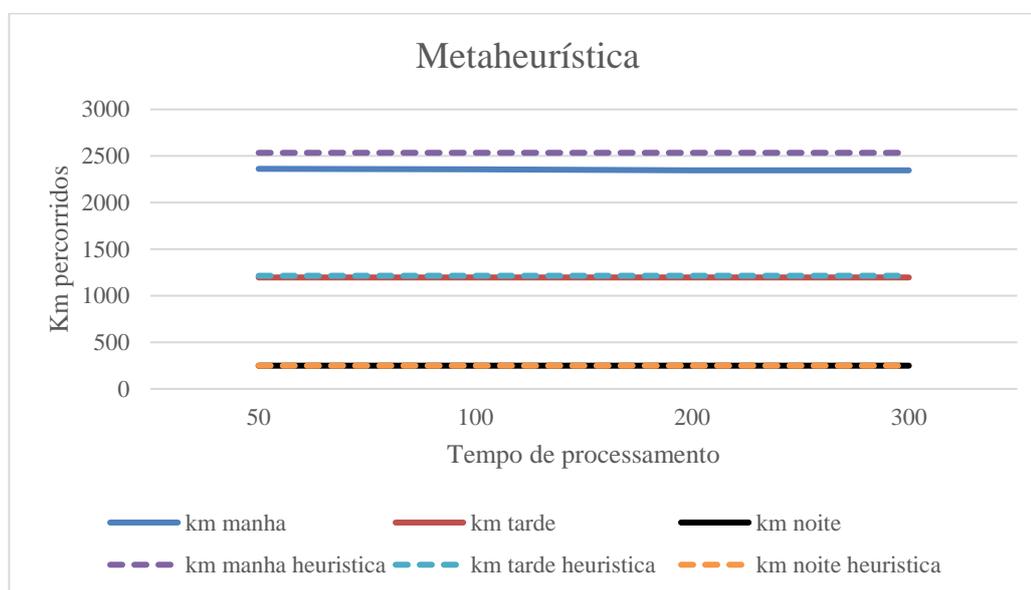


Figura 4.15 Comportamento dos resultados com alterações do tempo de processamento

Tabela 33 Resultados metaheurística para taxa de ocupação

Tempo de processamento	Modelo proposto		
	Nº de veículos	Densidade média de carga	Média de km/veículo
50	22	68,34	181,35
100	22	68,34	179,53
200	22	68,34	179,27
300	22	68,34	178,79
500	22	68,34	178,79

Análise crítica

Para a análise crítica deste ponto, foram comparados os resultados obtidos pelos diferentes métodos.

Tabela 34 Comparação de distâncias percorridas e nº de rotas

Modelo	Terça 22 (janeiro)					
	Distância percorrida			Número de rotas		
	Manhã	Tarde	Noite	Manhã	Tarde	Noite
Modelo Plural	3067	2461	596	16	17	5
Modelo Proposto (Heurística)	2534	1214	400	15	4	3
Modelo Proposto (Metaheurística)	2346	1196	392	15	4	3
Diferença (Modelo Plural/Metaheurística)	-721	-1265	-204	-1	-13	-2

Tabela 35 Comparação das taxas de ocupação dos veículos e média de km

Modelo	Terça 22 (janeiro)		
	Nº de veículos	Taxa de ocupação %	Média de km/veículo
Modelo Plural	38	50,6	161,15
Modelo Proposto (Heurística)	22	68,3	188,55
Modelo Proposto (Metaheurística)	22	68,3	188,18
Diferença % (Modelo Plural/Metaheurística)	-42,1	17,7	16,8

Ao analisar as tabelas 34 e 35, é possível observar que, aplicando a metaheurística a este problema, obtemos reduções de 35,8% na distância total percorrida e 42,1% no número de rotas. Retira-se também que houve um aumento de 33,3% na taxa de ocupação do veículo e de 17,7% na média de quilómetros por veículos por dia. Por outras

palavras, é possível percorrer menos 2190 km por dia, com menos 16 veículos e com uma taxa de ocupação de 68,3%, quer isto dizer que existe menos custos de distribuição e menos transporte de ar.

Comparando os resultados obtidos segundo a heurística com os obtidos segundo a metaheurística, existe uma diferença de 215 km percorridos.

Exemplo de solução

Para expor melhor os resultados obtidos, estão representados geograficamente todas as soluções obtidas para o dia 22 de janeiro no turno da *Noite*.

Na Figura 4.16 está representado o atual modelo da Plural, onde são realizados 596 km com 5 veículos.

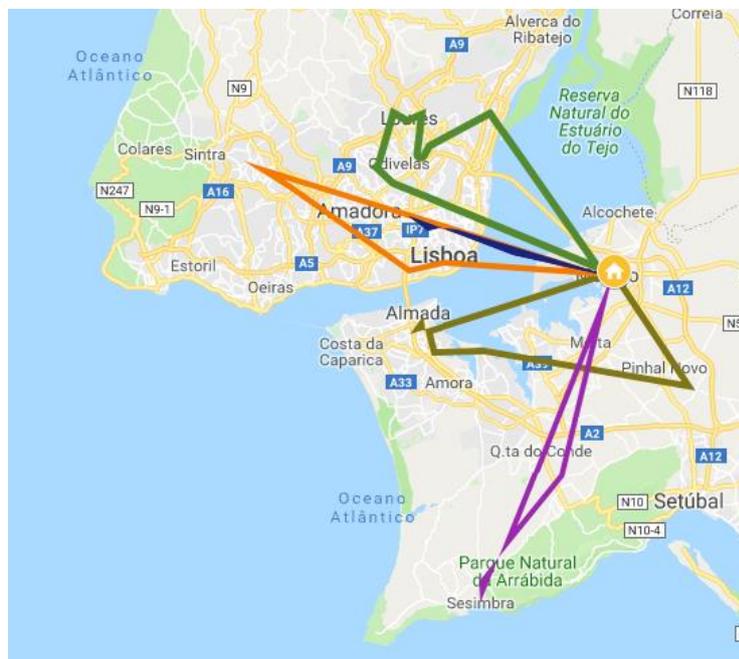


Figura 4.16 Modelo Plural

Na Figura 4.17 está representado o modelo de validação, onde são realizados 380 km com 4 veículos.

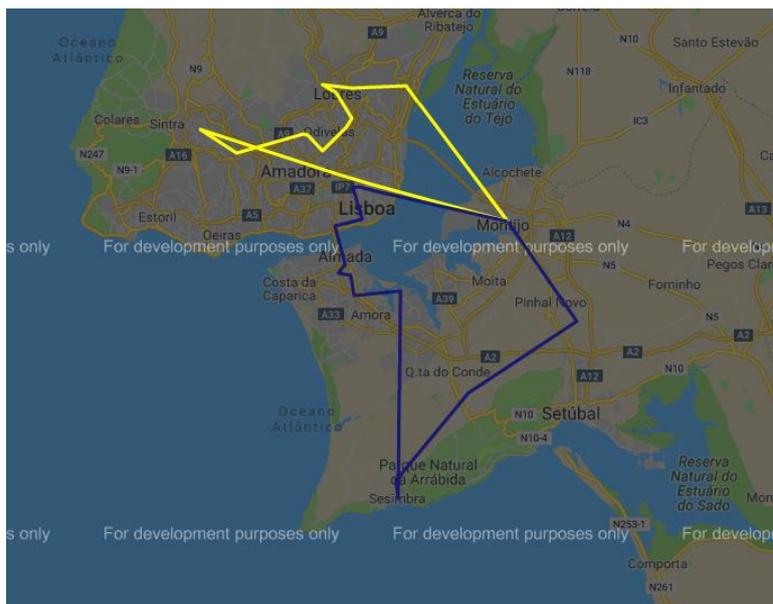


Figura 4.17 Modelo de avaliação (Heurística)

Na Figura 4.17, está apresentada a solução visual do modelo de validação, onde se pode observar duas rotas onde são percorridos 275 km com 2 veículos.

No modelo de aplicação representado na Figura 4.18, são percorridos 392 km com 3 veículos.



Figura 4.18 Modelo de aplicação (Metaheurística)

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Em suma, foram atingidos os objetivos previamente traçados para esta dissertação. Apesar do bom funcionamento existente na distribuição da empresa, as possibilidades de melhoria foram, na sua maioria, exploradas com sucesso, permitindo assim, a obtenção de melhorias estratégicas no setor da distribuição.

No que concerne às dificuldades, na área da criação e recolha de dados, foi uma tarefa difícil, pois em muitos casos, eles não estavam disponíveis ou não eram válidos. De foram a colmatar esta dificuldade, foram identificadas as falhas e foram aplicadas melhorias no processo de recolha e criação de dados. Desta forma, foi possível desenvolver um ficheiro base com toda a informação necessária às análises futuras.

Na determinação da nova localização, o uso direto do modelo CoG, revelou-se inconclusivo. Foi então complementado com a análise geográfica do volume de vendas e das quotas de mercado, onde o distrito de Lisboa representa mais de 50% das vendas, tornando a possibilidade de crescimento maior. Posto isto, é possível concluir que, a melhor localização é na margem norte do rio Tejo, na cidade de Alverca do Ribatejo. A localização calculada coincidiu com a localização determinada pela Plural, o que leva à aceitação da localização calculada nesta dissertação.

Após a determinação da nova localização, foi utilizada a ferramenta Google *OR-Tools* e aplicados métodos heurísticos e metaheurísticos para solucionar o problema de planeamento de rotas. Desta aplicação, pode-se concluir que o uso destes métodos, fornece soluções em tempo aceitável e, acima de tudo, soluções adaptativas às variações do setor. Pode-se ainda acrescentar que, a aplicação deste modelo de planeamento de rotas, alteraria o paradigma de distribuição existente na Plural. Tendo em conta os resultados obtidos, é possível afirmar que o modelo utilizado é aplicável a outros setores de distribuição.

Para projetos futuros, é tido como objetivo, a exploração mais detalhada da ferramenta utilizada nesta dissertação, de forma a obter resultados mais fiáveis e adicionar restrições que se adaptem aos diferentes setores de distribuição.

Quanto à contribuição do presente trabalho para a formação profissional, este permitiu desenvolver não só o conhecimento em programação em linguagem *python*, mas também a análise crítica na resolução de problemas de planeamento e otimização de rotas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D. (2009). Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. (175), pp. 213-245. doi:0.1007/s10479-009-0650-0
- Ballou, R. H. (1973). Potencial Error in the Center of Gravity Approach to Facility Location. *Transportation Journal*, 13(2), 44-50. Obtido de <http://www.jstor.org/stable/20712268>
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods.
- Bianchi, L. (20 de December de 2000). Notes on Dynamic Vehicle Routing.
- Carvalho, J. C. (2017). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (2º ed.). Edições Sílabo.
- Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D. (1997). Supply Chain Management: More than a new name for logistics.
- Cooper, M. C., & Lambert, M. D. (2000). Issues in Supply Chain Management.
- Fisher, M. L. (april de 1997). What is the right supply chain for your product.
- Garcia, D. J., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities.
- Harrison, T. P. (2003). PRINCIPLES FOR THE STRATEGIC DESIGN OF SUPPLY CHAINS.
- Hua, X., Hu, X., & Yuan, W. (6 de June de 2016). Research optimization on logistics distribution centerlocation based on adaptive particle swarm algorithm. pp. 8443-8450. Obtido de www.elsevier.de/ijleo
- Kim, G., Ong, S. Y., Heng, K. C., Tan, S. P., & Zhang, A. N. (Agosto de 2015). City Vehicle Routing Problem (City VRP): A Review. 16(4), p. 13.
- Kuo, C.-C., & White, R. E. (2004). A Note on the Treatment of the Center-of-Gravity Method in Operations Management Textbooks. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 2(2), 219-227.
- Laporte, G. (2009). Fifty Years of Vehicle Routing. Em *Transportation Science* (Vol. 43, pp. 408-416). Institute for Operations Research and the Management Sciences.
- Lee, H. L. (2002). Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. 44(3).
- Liu, S., Chan, F. T., & Chung, S. H. (14 de September de 2010). A study of distribution center location based on the rough sets and interactive multi-objective fuzzy decision theory. Em *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* (Vol. 27, pp. 426-433). ELSEVIER.
- Melnik, S. A., Narasimham, R., & DeCampos, H. A. (2013). Supply chain design: issues, challenges, frameworks and solutions.
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*(196), 401-412. Obtido de www.elsevier.com/locate/ejor
- Mester, D., Braysy, O., & Dullaert, W. (2007). A multi-parametric evolution strategies algorithm for vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*(32), pp. 508-517.
- Rivo, E., Fuente, J. d., Rivo, Á., García-Fontán, E., Cañizares, M.-Á., & Gil, P. (30 de Abril de 2011). Cross-Industry Standard Process for data mining is applicable to the lung cancer surgery domain, improving decision making as well as knowledge and quality management. p. 7. doi:10.1007/s12094-012-0764-8
- Santana, R. M. (2016). *Heuristic algorithms and Variants of the Vehicle Routing Problem for a Distribution Company: A Case Study*. Dissertação para obtenção do Grau de

Mestre em Lógica Computacional, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.

Szterlik, P. (2016). LOCATION OF CENTRAL WAREHOUSE USING QUANTITATIVE RESEARCH. *RESEARCH PAPERS of Wroclaw University of Economics*(446), pp. 239-249. doi:10.15611/pn.2016.446.17

Wu, H., Zhou, F., Zhu, Z., & Chen, Y. (2018). *How the Network Topology, Traffic Distribution, and Routing Scheme Impact on the Spectrum Usage in Elastic Optical Networks*. doi:1812.06291v1

CÓDIGO PYTHON

```
from __future__ import print_function
from ortools.constraint_solver import routing_enums_pb2
from ortools.constraint_solver import pywrapcp
import time, googlemaps, gmplot, random
import numpy as np, pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

#data de codigos de cores
cnames = {
    'aliceblue': '#F0F8FF',
    'antiquewhite': '#FAEBD7',
    'aqua': '#00FFFF',
    'aquamarine': '#7FFFD4',
    'azure': '#F0FFFF',
    'beige': '#F5F5DC',
    'bisque': '#FFE4C4',
    'black': '#000000',
    'blanchedalmond': '#FFEBCD',
    'blue': '#0000FF',
    'blueviolet': '#8A2BE2',
    'brown': '#A52A2A',
    'burlywood': '#DEB887',
    'cadetblue': '#5F9EA0',
    'chartreuse': '#7FFF00',
    'chocolate': '#D2691E',
    'coral': '#FF7F50',
    'cornflowerblue': '#6495ED',
    'cornsilk': '#FFF8DC',
    'crimson': '#DC143C',
    'cyan': '#00FFFF',
    'darkblue': '#00008B',
    'darkcyan': '#008B8B',
    'darkgoldenrod': '#B8860B',
    'darkgray': '#A9A9A9',
    'darkgreen': '#006400',
    'darkkhaki': '#BDB76B',
    'darkmagenta': '#8B008B',
```

```
'darkolivegreen': '#556B2F',
'darkorange': '#FF8C00',
'darkorchid': '#9932CC',
'darkred': '#8B0000',
'darksalmon': '#E9967A',
'darkseagreen': '#8FBC8F',
'darkslateblue': '#483D8B',
'darkslategray': '#2F4F4F',
'darkturquoise': '#00CED1',
'darkviolet': '#9400D3',
'deeppink': '#FF1493',
'deepskyblue': '#00BFFF',
'dimgrey': '#696969',
'dodgerblue': '#1E90FF',
'firebrick': '#B22222',
'floralwhite': '#FFFAF0',
'forestgreen': '#228B22',
'fuchsia': '#FF00FF',
'gainsboro': '#DCDCDC',
'ghostwhite': '#F8F8FF',
'gold': '#FFD700',
'goldenrod': '#DAA520',
'gray': '#808080',
'green': '#008000',
'greenyellow': '#ADFF2F',
'honeydew': '#F0FFF0',
'hotpink': '#FF69B4',
'indianred': '#CD5C5C',
'indigo': '#4B0082',
'ivory': '#FFFFFF',
'khaki': '#F0E68C',
'lavender': '#E6E6FA',
'lavenderblush': '#FFF0F5',
'lawngreen': '#7CFC00',
'lemonchiffon': '#FFFACD',
'lightblue': '#ADD8E6',
'lightcoral': '#F08080',
'lightcyan': '#E0FFFF',
'lightgoldenrodyellow': '#FAFAD2',
'lightgreen': '#90EE90',
'lightgray': '#D3D3D3',
```

```
'lightpink': '#FFB6C1',
'lightsalmon': '#FFA07A',
'lightseagreen': '#20B2AA',
'lightskyblue': '#87CEFA',
'lightslategray': '#778899',
'lightsteelblue': '#B0C4DE',
'lightyellow': '#FFFFE0',
'lime': '#00FF00',
'limegreen': '#32CD32',
'linen': '#FAF0E6',
'magenta': '#FF00FF',
'maroon': '#800000',
'mediumaquamarine': '#66CDAA',
'mediumblue': '#0000CD',
'mediumorchid': '#BA55D3',
'mediumpurple': '#9370DB',
'mediumseagreen': '#3CB371',
'mediumslateblue': '#7B68EE',
'mediumspringgreen': '#00FA9A',
'mediumturquoise': '#48D1CC',
'mediumvioletred': '#C71585',
'midnightblue': '#191970',
'mintcream': '#F5FFFA',
'mistyrose': '#FFE4E1',
'moccasin': '#FFE4B5',
'navajowhite': '#FFDEAD',
'navy': '#000080',
'oldlace': '#FDF5E6',
'olive': '#808000',
'olivedrab': '#6B8E23',
'orange': '#FFA500',
'orangered': '#FF4500',
'orchid': '#DA70D6',
'palegoldenrod': '#EEE8AA',
'palegreen': '#98FB98',
'paleturquoise': '#AFEEEE',
'palevioletred': '#DB7093',
'papayawhip': '#FFEFD5',
'peachpuff': '#FFDAB9',
'peru': '#CD853F',
'pink': '#FFC0CB',
```

```
'plum': '#DDA0DD',
'powderblue': '#B0E0E6',
'purple': '#800080',
'red': '#FF0000',
'rosybrown': '#BC8F8F',
'royalblue': '#4169E1',
'saddlebrown': '#8B4513',
'salmon': '#FA8072',
'sandybrown': '#FAA460',
'seagreen': '#2E8B57',
'seashell': '#FFF5EE',
'sienna': '#A0522D',
'silver': '#C0C0C0',
'skyblue': '#87CEEB',
'slateblue': '#6A5ACD',
'slategray': '#708090',
'snow': '#FFFAFA',
'springgreen': '#00FF7F',
'steelblue': '#4682B4',
'tan': '#D2B48C',
'teal': '#008080',
'thistle': '#D8BFD8',
'tomato': '#FF6347',
'turquoise': '#40E0D0',
'violet': '#EE82EE',
'wheat': '#F5DEB3',
'white': '#FFFFFF',
'whitesmoke': '#F5F5F5',
'yellow': '#FFFF00',
'yellowgreen': '#9ACD32'
}
```

```
def create_data_model():
    data = {}
    data['distance_matrix'] = []
    data['demands'] = []
    data['vehicle_capacities'] = []
    data['num_vehicles'] =
    data['depot'] = 0

    return data
```

```

def print_solution(data, manager, routing, assignment):
    """Prints assignment on console."""
    total_distance = 0
    total_load = 0

    ler = pd.read_excel('ID.xlsx')
    df = pd.DataFrame(ler, columns=['ID', 'Cliente', 'Name',
'Lat', 'Long'])
    gmap = gmaplot.GoogleMapPlotter(38.708457, -8.96759, 9)
    ###gmap.apikey = ""
    for vehicle_id in range(data['num_vehicles']):
        lat = []
        long = []
        index = routing.Start(vehicle_id)
        plan_output = 'Route for vehicle
{}:\n'.format(vehicle_id)
        route_distance = 0
        route_load = 0
        while not routing.IsEnd(index):
            node_index = manager.IndexToNode(index)
            route_load += data['demands'][node_index]
            plan_output += ' {0} Load({1}) ->
'.format(df['Cliente'][node_index], route_load)

            lat.append(df['Lat'][node_index])
            long.append(df['Long'][node_index])

            previous_index = index
            index = assignment.Value(routing.NextVar(index))
            route_distance += routing.GetArcCostForVehicle(
                previous_index, index, vehicle_id)
            plan_output += ' {0} Load({1})\n'.format(

                df['Cliente'][manager.IndexToNode(index)],
route_load)

            lat.append(df['Lat'][manager.IndexToNode(index)])
            long.append(df['Long'][manager.IndexToNode(index)])

            plan_output += 'Distance of the route: {}
m\n'.format(route_distance)

```

```

        plan_output += 'Load of the route:
{}\n'.format(route_load)
        print(plan_output)
        total_distance += route_distance
        total_load += route_load

        name, hex = random.choice(list(cnames.items()))

        gmap.scatter(lat, long, color=name, size=40,
marker=False)

        gmap.plot(lat, long, color=name, edge_width=3)

        gmap.draw("new_map.html")
        print('Total distance of all routes: {}
m'.format(total_distance))
        print('Total load of all routes: {}'.format(total_load))

def main():
    start_time = time.time()

    data = create_data_model()
    print("--- INSTANTIATE %s seconds ---" % (time.time() -
start_time))

    manager = pywrapcp.RoutingIndexManager(
        len(data['distance_matrix']), data['num_vehicles'],
data['depot'])
    print("--- ROUTING INDEX %s seconds ---" % (time.time() -
start_time))

    routing = pywrapcp.RoutingModel(manager)
    print("--- CREATE MODEL %s seconds ---" % (time.time() -
start_time))

    def distance_callback(from_index, to_index):
        from_node = manager.IndexToNode(from_index)
        to_node = manager.IndexToNode(to_index)

```

```

        return data['distance_matrix'][from_node][to_node]

        transit_callback_index =
routing.RegisterTransitCallback(distance_callback)
        routing.SetArcCostEvaluatorOfAllVehicles(transit_callback_index)
        print("--- DEFINE COST %s seconds ---" % (time.time() -
start_time))
        def demand_callback(from_index):
            from_node = manager.IndexToNode(from_index)
            return data['demands'][from_node]
        demand_callback_index =
routing.RegisterUnaryTransitCallback(
            demand_callback)
        routing.AddDimensionWithVehicleCapacity(
            demand_callback_index,
            0, # null capacity slack
            data['vehicle_capacities'], # vehicle maximum capacities
            True, # start cumul to zero
            'Capacity')

        dimension_name = 'Distance'
        routing.AddDimension(
            transit_callback_index,
            0, # no slack
            200000, # vehicle maximum travel distance
            True, # start cumul to zero
            dimension_name)
        distance_dimension =
routing.GetDimensionOrDie(dimension_name)
        distance_dimension.SetGlobalSpanCostCoefficient(0)
        print("--- DISTANCE CONSTRAINT %s seconds ---" % (time.time()
- start_time))

        #search_parameters =
pywrapcp.DefaultRoutingSearchParameters()
        #search_parameters.first_solution_strategy = (
            # routing_enums_pb2.FirstSolutionStrategy.AUTOMATIC)

```

```
search_parameters =
pywrapcp.DefaultRoutingSearchParameters()
search_parameters.local_search_metaheuristic = (
    routing_enums_pb2.LocalSearchMetaheuristic.AUTOMATIC)
search_parameters.time_limit.seconds = 50
search_parameters.log_search = True
print("--- FIRST SOLUTION %s seconds ---" % (time.time() -
start_time))

assignment = routing.SolveWithParameters(search_parameters)
print("--- FINISH PROBLEM %s seconds ---" % (time.time() -
start_time))

if assignment:
    print_solution(data, manager, routing, assignment)

if __name__ == '__main__':
    main()
```