

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL



Ciências
ULisboa

Otimização de rotas de distribuição numa empresa de produtos de grande consumo

Sara Helena da Purificação Rei Lobo

Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e Gestão

Trabalho de Projeto orientado por:
Professora Doutora Maria da Conceição Fonseca

2020

Agradecimentos

Com este projeto chega ao fim uma importante etapa no meu percurso acadêmico. Como em todas as ocasiões ao longo da minha vida, o meu sucesso assenta num fortificado pilar. Não seria, para mim possível, perder a oportunidade de agradecer às pessoas que dele fazem parte. Um muito obrigada à minha família, em especial aos meus pais, Alberto e Ana, e à minha irmã, Inês, sem eles não seria quem sou hoje.

Um grande agradecimento ao meu namorado, Sérgio, por toda a sua paciência, compreensão e fundamental apoio neste percurso.

Um especial agradecimento à minha orientadora, Professora Doutora Maria da Conceição da Fonseca, sem o seu incansável apoio, motivação, compreensão e total disponibilidade não conseguiria chegar aqui. A professora foi sem dúvida uma fonte de admiração ao longo deste projeto.

O meu sentido e profundo agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para o meu sucesso e, em particular, para concretizar este projeto, estimulando-me emocional e intelectualmente.

Obrigada a todos!

Resumo

Com a crescente disponibilidade de artigos e a concorrência cada vez mais intensificada, o sucesso de uma organização depende cada vez mais da otimização das várias etapas logísticas do seu processo, das quais a distribuição tem um papel fundamental.

Desta forma, mostra-se relevante desenvolver um projeto cujo principal foco passe por apresentar uma heurística para um problema de determinação de rotas, usando como exemplo de aplicação, a estrutura de uma empresa de largo consumo.

Uma empresa de grande consumo funciona como intermediário da cadeia de distribuição de bens, e faz por norma a ponte entre as empresas grossistas ou fabricantes e o consumidor final. Neste contexto, a venda a retalho por parte destas organizações inclui as atividades necessárias para a venda de bens diretamente aos consumidores finais.

Neste trabalho de projeto pretende-se determinar rotas de distribuição usando a heurística de Clarke e Wright, com o propósito de contruir as rotas de distribuição de uma empresa representativa do setor do largo consumo.

Ao longo deste estudo, será considerada a localização atual do armazém e será analisada, também, a possibilidade da instalação do atual armazém numa localização mais estratégica. Os resultados apresentados incidem na análise de três exemplos de conjuntos de clientes a servir por uma empresa de largo consumo.

Palavras Chave: Logística; Cadeia de distribuição; Empresa de largo consumo; Rotas de distribuição; Clarke e Wright; *Location-routing*.

Abstract

With the growing availability of goods and the increasingly intensified competition, the success of an organization depends more and more on the optimization of the various logistic stages of its process, of which distribution plays a key role.

Thus, it is relevant to develop a project whose main focus is to present a heuristic for a route determination problem, using as an application example, the structure of a retail company.

A retail company works as an intermediary in the distribution chain of goods, and usually makes the bridge between the wholesale companies or manufacturers and the final consumer. In this context, retailing by these organizations includes the activities necessary for the sale of goods directly to final consumers.

This work project intends to determine distribution routes using Clarke and Wright's heuristic, with the purpose of optimizing the distribution routes of a company representative of the retail sector.

Throughout this study, the current warehouse location will be considered and the possibility of installing the current warehouse in a more strategic location will also be analyzed. The results presented focus on the analysis of three examples of customer sets to be served by a retail company.

Key words: Logistics; Supply chain; Retail company; Distribution routes; Clarke e Wright; Location-routing.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice.....	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Abreviaturas.....	xv
1. Introdução.....	1
2. Revisão da literatura.....	3
2.1. O conceito de Gestão Logística versus Gestão de Cadeia de Abastecimento	3
2.2. Evolução da Logística ao longo do tempo	3
2.3. Atividades Logísticas	4
2.4. Custos Logísticos	6
2.5. Transportes na Cadeia de Abastecimento.....	7
2.5.1. Planeamento de Transportes.....	7
2.6. Armazéns <i>versus</i> Centros de distribuição.....	8
2.7. <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	9
2.7.1. O VRP e o TSP.....	10
2.7.2. Métodos de resolução de VRP	12
3. Método usado para a obtenção das rotas numa empresa de largo consumo.....	15
4. Resultados obtidos.....	19
5. Conclusões	27
Bibliografia.....	29
Anexo I.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1: Evolução do conceito de logística.	4
Tabela 2: Resumo dos resultados obtidos nos exemplos analisados.	25
Tabela 3: Matriz das distâncias (em km) entre lojas do Exemplo 1.....	35
Tabela 4: Procura das lojas (em número de Combis) do Exemplo 1.	35
Tabela 5: Rotas obtidas no Cluster 1 para o Exemplo 1 considerando o armazém original.	35
Tabela 6: Rotas obtidas no Cluster 2 para o Exemplo 1 considerando o armazém original.	36
Tabela 7: Rotas do Cluster 1 para o Exemplo 1 considerando a nova localização do armazém.....	36
Tabela 8: Rotas do Cluster 2 para o Exemplo 1 considerando a nova localização do armazém.....	36
Tabela 9: Matriz das distâncias (em km) entre lojas do Exemplo 2.....	36
Tabela 10: Procura das lojas (em número de Combis) do Exemplo 2.	37
Tabela 11: Rotas obtidas no Cluster 1 para o Exemplo 2 considerando o armazém original.	37
Tabela 12: Rotas obtidas no Cluster 2 para o Exemplo 2 considerando o armazém original.	37
Tabela 13: Rotas do Cluster 1 para o Exemplo 2 considerando a nova localização do armazém.....	37
Tabela 14: Rotas do Cluster 2 para o Exemplo 2 considerando a nova localização do armazém.....	37
Tabela 15: Matriz das distâncias (em km) entre lojas do Exemplo 3.....	38
Tabela 16: Procura das lojas (em número de Combis) do Exemplo 3.	38
Tabela 17: Rotas obtidas no Cluster 1 para o Exemplo 3 considerando o armazém original.	38
Tabela 18: Rotas obtidas no Cluster 2 para o Exemplo 3 considerando o armazém original.	38
Tabela 19: Rotas do Cluster 1 para o Exemplo 3 considerando a nova localização do armazém.....	39
Tabela 20: Rotas do Cluster 2 para o Exemplo 3 considerando a nova localização do armazém.....	39

Lista de Figuras

Figura 1: A relação entre o TSP, VRP e as suas variantes (Yalcindag et al., 2011).	11
Figura 2: Ilustração do conceito de poupança (Lysgaard, 1997).....	13
Figura 3: Distribuição geográfica das lojas do exemplo 1.	20
Figura 4: Clusters obtidos para o conjunto de lojas do exemplo 1.....	20
Figura 5: Exemplo 1 com proposta de localização de armazém na loja correspondente à 1-mediana..	21
Figura 6: Distribuição geográfica das lojas no exemplo 2.	22
Figura 7: Clusters obtidos do conjunto de lojas do exemplo 2.....	22
Figura 8: Exemplo 2 com proposta de localização de armazém na 1-mediana.....	23
Figura 9: Distribuição geográfica dos dados 3.	23
Figura 10: Clusters obtidos do conjunto de lojas dos dados 3.	24
Figura 11: Exemplo 3 com proposta de localização de armazém.	24

Lista de Abreviaturas

- B&B:** *Branch and Bound*
BPP: *Bin Packing Problem*
DC: *Distribution centres*
CSCMP: *Council of Supply Chain Management Professionals*
CVRP: *Vehicle Routing Problems with Capacity Restrictions*
DCVRP: *Vehicle Routing Problems with Distance Constraints*
FLP: *Facility Location Problem*
JIT: *Just in Time*
LRP: *Location Routing Problem*
MTSP: *Multiple Travelling Salesman Problem*
OVRP: *Open Vehicle Routing Problems*
PTSP: *Probabilistic Travelling Salesman Problem*
PVRP: *Probabilistic Vehicle Routing Problem*
SCM: *Supply Chain Management*
SVRP: *Stochastic Vehicle Routing Problem*
TSP: *Traveling Salesman Problem*
VRP: *Vehicle Routing Problems*
VRPB: *Vehicle Routing Problems with Backhauls*
VRPPD: *Vehicle Routing Problems with Picks and Deliveries*
VRPTW: *Vehicle Routing Problems with Time Windows*

1. Introdução

Nas primeiras duas décadas do século XX, a principal preocupação das empresas passava por produzir e colocar produtos no mercado a preços baixos para os consumidores. Naquela altura, praticamente tudo o que era produzido era comprado. Numa perspetiva económica, aplicava-se a lei de Say: “a oferta cria a sua própria procura”. Os produtores produziam de forma a minimizar os seus custos, pois não precisavam de se preocupar com as preferências e opinião dos consumidores.

Este período é também caracterizado por um poder de compra baixo resultado da pouca informação disponível sobre os produtos, por uma concorrência reduzida, e por pouca inovação e diferenciação da oferta (Sotomayor *et al.*, 2014).

Quando a concorrência começou a aumentar, devido ao alargamento do tecido industrial, a inovação passou a ter importância, o poder de compra dos clientes aumentou e a informação que os mesmos tinham do mercado também era superior. Nesta altura, deixou de ser viável para as empresas só produzirem, sem se preocuparem com a opinião dos clientes (Sotomayor *et al.*, 2014).

Considerando a crescente disponibilidade de artigos e a concorrência cada vez mais intensificada, o sucesso de uma organização começou a depender da otimização das várias etapas logísticas do seu processo, das quais a distribuição tem especial impacto nos custos totais.

Todas as organizações fornecem produtos aos seus consumidores. Tradicionalmente, estes produtos podem ser descritos como bens ou serviços (Waters, 2009).

Muitas dessas organizações funcionam como parte integrante de uma Cadeia de Abastecimento e estão afetas a um sistema logístico (Lambert, 1998).

Nestes sistemas, os bens são produzidos numa ou várias fábricas, expedidos para retalho ou diretamente para o cliente. Para a redução dos custos totais e melhoria dos vários níveis de serviço, as estratégias da Logística deverão ter em consideração as interações entre as várias etapas da rede de Logística, ou Cadeia de Abastecimento. Esta rede é constituída por fornecedores, fábricas, armazéns, centros de distribuição e pontos de venda a retalho, assim como matérias-primas, *work-in-progress* inventário e produtos acabados que circulam entre as instalações (Simchi-Levi *et al.*, 2005).

Considerando a competição existente nos dias de hoje, as organizações têm como um dos principais focos a procura pela melhoria da eficiência do seu sistema Logístico, considerando que essa é a área da gestão da Cadeia de Abastecimento que idealiza, implementa e faz o controlo do fluxo de bens (quer no sentido inverso, como direto), serviços e toda a informação desde a origem até ao seu consumo (Lambert, 1998).

É importante ter em conta que os clientes se têm tornado cada vez mais exigentes e que esperam encontrar o produto certo, no sítio correto, na quantidade certa no local exato. Nesta ótica, a Logística desempenha um papel fulcral na minimização dos custos totais, mas com foco na valorização do produto pela criação de utilidade de tempo e lugar (Waters, 2009).

Com a globalização da economia mundial, a Logística passa a ter um papel fundamental, pois o mercado mundial é tanto fornecedor quanto cliente do comércio e indústria internos, gerando-se assim, a necessidade de investimento em sistemas e canais de distribuição e de prestação de serviços (Carvalho *et al.*, 2010).

Em particular, o desenvolvimento de supermercados e hipermercados em oposição a mercearias e lojas de retalho de proximidade, alterou a realidade do consumidor em relação ao que tinha disponível

anteriormente.

Uma empresa de grande consumo, funciona enquanto intermediário da cadeia de distribuição, e faz normalmente a ponte entre as empresas grossistas ou fabricantes e o consumidor final. Neste contexto, a venda a retalho por parte destas organizações inclui as atividades necessárias para a venda de bens diretamente aos consumidores finais, que os utilizam para fins estritamente pessoais. A maior parte da comercialização é feita em lojas de venda ao público, onde os consumidores procuram os bens que necessitam.

No que se refere às decisões inerentes à cadeia de distribuição, uma empresa de largo consumo tem de ter em consideração um conjunto de múltiplas variáveis, designadamente a escolha dos canais de distribuição. Podendo estes ser próprios ou intermediários. Os canais próprios de distribuição acarretam os custos associados a uma frota de camiões própria ou à contratação de serviços de uma empresa especializada em regime de *outsourcing*. A utilização de canais próprios permite absorver internamente a margem correspondente ao preço que os intermediários exigem, permite controlar melhor as relações com os clientes e controlar de forma mais eficaz o fluxo de distribuição. Por outro lado, tem como principal desvantagem o facto de implicar um investimento elevado (Sotomayor *et al.*, 2014).

Outra variável a considerar é o grau de intensidade de distribuição, ou seja, o número de pontos de venda que a empresa tem em cada zona geográfica. Podemos ter dois casos extremos: distribuição exclusiva (em que a empresa numa dada zona geográfica, regra geral bastante restritiva, tem a sua oferta circunscrita a um único ponto de venda) e distribuição intensiva (em que a empresa coloca o seu produto em todas as zonas geográficas possíveis, designadamente onde, do ponto de vista económico, se revele rentável) (Sotomayor *et al.*, 2014). A distribuição intensiva é usual nos produtos de grande consumo como, por exemplo, os bens de primeira necessidade.

Neste projeto será estudada a rede de distribuição de uma empresa de largo consumo, caracterizada por uma distribuição intensiva (composta por vários pontos de venda em várias zonas geográficas do país) tendo em conta a alta rotatividade de produtos e as quantidades a fornecer, já no que diz respeito ao modo de distribuição, será considerada uma rede suportada por uma frota própria. Os dados utilizados foram recolhidos no site de uma empresa exemplo da área do grande consumo.

O presente trabalho está organizado em 4 partes principais. Como capítulo inicial apresenta-se uma breve revisão bibliográfica, onde são clarificados certos conceitos como Logística e Cadeia de distribuição, assim como expostos alguns problemas recorrentes na elaboração de rotas, na área da distribuição, e a sua proposta de obtenção de soluções para o problema. No capítulo seguinte apresenta-se uma metodologia de obtenção de soluções para o problema em estudo e na terceira parte deste projeto é feita a implementação da heurística escolhida para a obtenção de soluções de alguns exemplos de rotas de uma empresa de largo consumo, representativa do problema em análise e possíveis propostas alternativas para localizar os armazéns, com o intuito de melhorar a eficiência e diminuir os custos totais de distribuição. Por último, são apresentadas as conclusões auferidas nos resultados obtidos e propostas de trabalhos futuros.

2. Revisão da literatura

2.1. O conceito de Gestão Logística versus Gestão de Cadeia de Abastecimento

Muitas vezes, a definição de gestão da cadeia de abastecimento (SCM) pode ser confundida com o termo gestão logística. Desta forma, e para esclarecer a diferença entre ambos os termos, o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2010) apresenta as seguintes definições oficiais:

Definição de Gestão de Cadeia de abastecimento

“A gestão da cadeia de abastecimento engloba o planeamento e gestão de todas as atividades de *sourcing* e *procurement*, transformação e todas as atividades logísticas. É relevante mencionar que, inclui também a coordenação e colaboração com os parceiros de negócio, sejam eles fornecedores, intermediários, prestadores de serviços logísticos ou clientes. Essencialmente, a gestão da cadeia de abastecimento integra as componentes de gestão de abastecimento e gestão de procura dentro e entre empresas”.

Definição de Gestão Logística

“A gestão logística é a parte da cadeia de abastecimento que é responsável por planear, implementar e controlar de forma eficiente e eficaz, o fluxo direto e inverso e as operações de armazenagem de bens, serviços, assim como as informações relativas a estas atividades, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, de forma a satisfazer os requisitos dos clientes”.

Na sequência desta definição, o CSCMP considera enquanto atividades logísticas a gestão *inbound* e *outbound* em termos de transportes (transportes de entradas e transportes de saída), gestão de frotas, armazenamento, manuseamento de materiais, cumprimento de encomendas, desenho da rede logística, gestão de inventário, planeamento da oferta/procura e gestão de prestadores de serviços logísticos.

Dependendo das interações entre empresas e da extensão da sua atividade, a “Logística ou a Gestão Logística inclui as atividades de *sourcing* e de *procurement*, o planeamento e programação da produção, a embalagem, a assemblagem e o serviço ao cliente. A Logística ou a Gestão Logística está envolvida em todos os níveis de planeamento e execução – estratégico, tático e operacional. A Gestão Logística é integradora e coordenadora, procurando melhorar as atividades Logísticas e integrar a Logística com as demais funções da empresa, entre elas o marketing, as vendas, a produção, a área financeira e as tecnologias de informação” (CSCMP, 2010).

2.2. Evolução da Logística ao longo do tempo

Nas empresas, a logística tem experienciado várias alterações na sua definição ao longo do tempo, resultado de um crescente progresso. A tabela a seguir mostra a evolução histórica do conceito de logística (Wood, *et al.*, 2009).

De notar que, paralelamente ao seu enriquecimento de atividades, a função logística também deixa de ter uma característica meramente tática e operacional, e resultando também num desenvolvimento de conteúdo estratégico. Esta mudança está claramente representada na “segunda fase” da Tabela 1, quando a função logística passa a englobar processos de negócios fundamentais para a competitividade empresarial. A logística passa, nesta fase, a coordenar toda a cadeia de abastecimento, desde a entrada de matérias-primas até a entrega do produto final ao consumidor (Wood, *et al.*, 2009).

Tabela 1: Evolução do conceito de logística.

Fases	Fase Zero	Primeira fase	Segunda fase	Terceira fase	Quarta fase
Perspetiva dominante	Administração de materiais	Administração de materiais + distribuição	Logística integrada	<i>Supply chain management</i>	<i>Supply chain management + Efficient consumer response</i> ¹
Focos	- Gestão de stocks - Gestão de compras - Movimentação de materiais	- Otimização do sistema de transporte	- Visão sistémica da empresa - Integração por meio de sistemas de informação	- Visão sistémica da empresa incluindo fornecedores e canais de distribuição	- Amplo uso de alianças estratégicas, <i>comakership</i> , subcontratação e canais alternativos de distribuição

Adaptado de Wood, *et al.*, 2009

A logística integrada desenvolveu-se devido à necessidade de gestão da cadeia de abastecimento de uma forma mais estratégica. A logística numa primeira fase seria responsável pela gestão de *stocks* e transporte, enquanto atualmente fazem parte processos como compras, armazenamento, processo produtivo e todas as etapas do transporte, um acompanhamento mais próximo dos seus fornecedores e parceiros e gestão do fluxo de informação ao longo da cadeia (Correia, 2018).

Com a logística integrada gerou-se o planeamento integrado, que viria a ter em conta a análise do custo total, custo este que está associado à tomada de decisão ao longo de toda cadeia. Exemplo disso é o modo de transporte de mercadorias a utilizar, a escolha entre o transporte aéreo ou terrestre poderá ter consequências ao nível do tempo de entrega, no entanto têm custos associados que deverão também fazer parte da tomada de decisão (Correia, 2018).

A gestão integrada apoiou também algumas filosofias de redução de desperdício, *Just in Time* (JIT), por exemplo. Além da eliminação de desperdício, a gestão integrada promove um aperfeiçoamento da tomada de decisão e uma melhor coordenação dos fluxos de produtos e informação nos diferentes elos de uma rede logística (Correia, 2018).

2.3. Atividades Logísticas

Segundo Carvalho *et al.* (2010), é possível enumerar, a nível mais global, as áreas que definem as

¹ *Efficient Consumer Response* (Resposta eficiente ao consumidor): trata-se de um conjunto de metodologias empregadas principalmente por empresas de consultoria, cuja aplicação visa quebrar as barreiras entre parceiros comerciais. Essas barreiras costumam resultar em ineficiências, com impacto em custos e tempo de resposta ao consumidor.

atividades logísticas, tendo por objetivo satisfazer as necessidades de um cliente final a um custo contido.

Transporte e gestão de transporte – O transporte é uma das atividades mais estruturantes da Logística, representando assim uma parcela considerável dos custos logísticos.

Por este motivo, um dos grandes focos da gestão logística é a movimentação física de bens e/ou materiais através da rede por onde se movem. Sendo a seleção da forma de transporte, a contratação de prestadores externos à empresa e a gestão contratual desses prestadores de serviços de transporte uma atividade crítica na Logística.

Adicionalmente, o planeamento de rotas de transporte, a escolha da tipologia dos veículos, modos e *slots* de transportes prioritários fazem parte das atividades consideradas na ótica de transportes e gestão de transportes (Carvalho *et al.*, 2010; Waters, 2009).

Armazenagem, gestão da armazenagem, controlo e gestão de *stocks* – Além da gestão de transportes, também a gestão de armazenagem é um pilar importante na Logística. Relaciona-se com o transporte numa lógica de *trade-off*, visto que os níveis de inventário aumentam com a diminuição do fluxo de transporte e diminuem com a intensificação do fluxo.

A Armazenagem tem duas grandes vertentes: o manuseamento interno dos bens e/ou materiais, quer no fluxo direto como inverso e a componente de controlo de gestão de *stocks*. É, portanto, possível afirmar que as decisões ao nível dos transportes terão influência direta em termos de *stocks* e armazenagem, e vice-versa, o que naturalmente irá impactar ao nível dos custos para a empresa.

Embalagem (industrial) e gestão da embalagem – Uma terceira área de relevância para a gestão Logística é a embalagem industrial, pois está diretamente ligada ao transporte e armazenagem, de forma a proteger os materiais durante estes processos (Carvalho *et al.*, 2010; Waters, 2009). Podendo-se incluir, nesta categoria, a embalagem em cartão, a consolidação com filme plástico, utilização de paletes, contentores, *trays*, *rol-caddies*, entre outros. Como forma adicional de embalagem, consideram-se a etiquetagem em códigos de barras, *tags* de leitura por radiofrequência, entre outros que permitam o *track and trace*, o seguimento e a localização e inventariação fácil dos materiais e/ou bens.

Manuseamento de produtos (matéria-prima, produtos em via de fabrico e produto final) e gestão de materiais – O manuseamento dos materiais e/ou bens é um ponto crítico em várias áreas, nomeadamente na organização de produção e armazenagem. Desde a descarga e receção no armazém, num ponto de consolidação ou desconsolidação, num ponto de passagem, à arrumação, ao *picking*, ao *putting*, à consolidação e/ou desconsolidação final, à expedição e ao carregamento dos veículos de transporte de saída.

Gestão do ciclo de encomendas – Após estabelecer contratos com os fornecedores, o ciclo de encomendas torna-se no ciclo de aprovisionamento do produto. Ciclo este que se inicia com um fluxo de informação (encomenda) e termina com uma entrega física do que foi encomendado. Envolve as atividades mais correntes de gestão de transporte, de armazenagem e gestão de *stocks*, de manuseamento, de embalagem e etiquetagem, entre outros (Carvalho *et al.*, 2010; Waters, 2009).

Previsão de vendas – Apesar de a previsão de vendas não estar diretamente ligada à Logística, tem um papel fundamental no que respeita à previsão de inventários, tornando-se assim uma área essencial à gestão logística.

Planeamento da produção/sequenciamento – Para a Logística torna-se cada vez mais relevante a produção, o planeamento da produção e o sequenciamento dessa produção. Pois, estas áreas têm forte influência na gestão de fluxos de materiais, nos stocks e na sua gestão. O planeamento deverá começar pela procura (encomendas), posteriormente a Logística terá a responsabilidade de fazer a ligação entre essas encomendas e previsões de encomendas e a produção, quer ao nível do planeamento como do sequenciamento.

Procurement e gestão do ciclo de *procurement* – As atividades de *procurement* passam, essencialmente, pela determinação de um conjunto de especificações e critérios de serviço que são impostos aos fornecedores, posteriormente pela pré-qualificação desses mesmo fornecedores, pela negociação e triagem dos mesmos e pela contratação da vigência de um período de abastecimento.

Serviço ao cliente – O Serviço ao cliente enquanto atividade Logística apresenta-se enquanto disponibilização de materiais e/ou bens ao cliente certo, na quantidade certa, na condição adequada, no local mais indicado, no tempo apropriado e a um custo mínimo.

Logística inversa – Todas as atividades que se incluem no sentido direto, origem-destino, são também válidas para um fluxo de ciclo inverso, destino-origem. De forma simplista, todas as atividades acima apresentadas em ciclo inverso denominam-se por Logística Inversa. Também o manuseamento de materiais retornados, eliminação, recuperação e reaproveitamento de materiais podem ser consideradas atividades dentro da ótica da Logística Inversa (Carvalho *et al.*, 2010; Waters, 2009).

2.4. Custos Logísticos

A logística tem um irrefutável impacto na performance financeira de uma organização. De acordo com Waters (2009), o *Institute of Supply Management* estima que por cada 1% de poupança nos custos da distribuição de produtos obtém-se o valor correspondente a 5% de aumento de vendas.

Os fatores mais relevantes para os custos logísticos, segundo Correia (2018) são: o aumento da competição internacional, as alterações populacionais, a crescente escassez de recursos e a atratividade cada vez maior da mão-de-obra no terceiro mundo.

É, portanto, possível auferir que a forma como a Cadeia de Abastecimento está organizada impactua nos custos, lucros, relação com os fornecedores e clientes, no apoio ao cliente, e em todos os tipos de *performance*. Desta forma, é possível concluir que afeta diretamente o sucesso ou insucesso de uma organização (Waters, 2009).

Ao longo do fluxo Logístico, existem várias atividades interligadas que têm grande influência nos custos de uma entidade.

As atividades de transportes, manutenção de stocks e processamento de pedidos são denominadas de atividades primárias, visto que são de importância fundamental e contribuirão com uma parcela superior no que respeita ao custo total da gestão logística (Pozo, 2010).

2.5. Transportes na Cadeia de Abastecimento

Segundo Carvalho *et al.* (2010) o desempenho de qualquer tipo de Cadeia de Abastecimento, principalmente aquelas cujas operações estão geograficamente dispersas, depende da qualidade e eficiência da Logística responsável pela organização do transporte de bens e/ou materiais, estando também, particularmente suscetíveis às suas fragilidades.

O transporte fomenta a ligação dos elos da Cadeia de Abastecimento, através do valor acrescentado que resulta do movimento dos produtos para o local certo, no momento desejado e nas condições (qualidade e quantidade) pretendidas.

Atualmente, o transporte é comumente considerado como uma atividade chave de um Sistema Logístico, representando entre um terço a dois terços dos custos Logísticos totais de uma empresa (Ballou, 2004).

Segundo o mesmo autor, o custo de um transporte é, geralmente, constituído por duas componentes: custos fixos, estão relacionados com investimentos em infraestruturas e equipamentos e, os custos variáveis, que dependem diretamente da carga transportada.

De acordo com Chopra e Meindl (2007), na gestão da Cadeia de Abastecimento de uma empresa, os problemas de transportes são diversificados, destacando-se a:

- conceção da rede de transportes: rede de pontos e rotas nas quais os produtos devem ser movimentados;
- decisão do modo de transporte;
- escolha pela subcontratação, exploração própria ou solução mista;
- avaliação da eficiência do sistema de transporte;
- integração dos inventários com os transportes – gestão do equilíbrio entre os custos de transporte (eficiência) e a capacidade de resposta (*responsiveness*).

2.5.1. Planeamento de Transportes

Para uma eficiente gestão de uma Cadeia de Abastecimento é necessário a adoção de abordagens sistémicas e integradas, isto é, as várias atividades deverão ser estudadas, elaboradas e otimizadas como um todo e não individualmente, tendo em conta toda a interação entre elas no sistema (Carvalho *et al.*, 2010).

Particularmente, na gestão de transportes, são relevantes para a tomada de decisão processos que influenciem nos custos de inventário, no esforço da coordenação de operações, na capacidade de resposta ao cliente, entre outras (Chopra e Meindl, 2007).

Transportes *versus* Inventários

Uma das mais importantes variáveis a considerar no momento da escolha de um modo de transporte está

relacionada com o tempo de trânsito, condicionado pela velocidade média.

O tempo de trânsito do transporte de uma mercadoria tem um impacto elevado nos inventários: inventário em trânsito, inventário de ciclo, inventário de segurança.

Conforme o nome sugere, inventário em trânsito é a parte do inventário que já foi expedida do armazém ou centro de distribuição, mas que ainda não chegou ao cliente. Por vezes, esta transação poderá corresponder a uma significativa janela temporal, e por isso, ter um impacto significativo na gestão dos transportes.

Já o inventário de ciclo é a quantidade de inventário disponível (ou planeado que esteja disponível) para a quantidade “normal” de pedidos para um determinado período de tempo, excluindo excesso de *stock* e o inventário de segurança.

Enquanto, o inventário de segurança corresponde à quantidade adicional de um produto preservado em inventário, por forma a reduzir o risco de que esse bem entre em rotura. Esta quantidade representa uma reserva adicional no caso de as vendas serem superiores ao expectável e nas situações em que o fornecedor não consiga entregar no tempo esperado.

Um modo de transporte rápido é normalmente mais dispendioso, no entanto requer menor nível de *stock*, o que influencia nos custos de inventário.

A decisão final deverá ter em conta o modo de transporte que minimize os custos totais, satisfazendo os níveis de serviço impostos (Carvalho *et al.*, 2010).

Tempo versus Espaço

Outro fator de grande importância num sistema de transporte é a frequência de abastecimentos, uma frequência elevada revela uma grande capacidade de resposta por parte de uma entidade, no entanto poderá traduzir-se em custos elevados de transporte (mais viagens, reduzidas ocupações dos veículos) e, assim, custo/unidade superior.

Idealmente, as cargas deverão ser consolidadas ao longo do tempo, com o propósito de obter transportes com cargas completas, maximizando a ocupação do veículo e, por conseguinte, diminuir os custos de transporte.

Assim, como resultado das economias de escala obtidas no transporte, optar por uma menor capacidade de resposta (*responsiveness*) irá permitir obter reduções significativas na distribuição (Carvalho *et al.*, 2010).

2.6. Armazéns versus Centros de distribuição

Os armazéns desempenham um papel fundamental na combinação da procura de bens e a sua oferta, em diferentes escalões da Cadeia de Abastecimento (Koster *et al.*, 2017).

Nenhuma conceção e gestão da Cadeia de Abastecimento é adequada sem decidir a localização, criação e gestão de armazéns (Koster *et al.*, 2017).

Atualmente, os armazéns funcionam não só como centros de armazenamento, mas também como centros de adição de valor, isto é, vários armazéns têm operações de montagem, embalagem e reparação dentro das suas instalações, processos que incrementam valor ao produto inicialmente recebido. As tomadas de decisão do armazém são cruciais para a rentabilidade de uma organização. A investigação existente

mostra que a compreensão dos princípios de planificação e gestão dos armazéns pode desempenhar um papel essencial na melhoria da eficiência das operações; redução da fadiga e do volume de negócios dos trabalhadores; e melhorar os níveis de atendimento ao cliente (Koster *et al.*, 2017).

É possível definir armazenagem como parte de um sistema logístico de uma organização que acondiciona os produtos entre o ponto de origem até ao ponto de consumo, e fornece informação à gestão do *status*, condição e disposição dos produtos armazenados. O termo centro de distribuição é muitas vezes utilizado, mas os termos não têm o mesmo significado, armazém é um termo mais genérico (Lambert, *et al.*, 1998).

Os armazéns armazenam qualquer tipo de produto, enquanto os centros de distribuição mantêm o mínimo de inventário possível, e predominantemente bens de elevada procura. Nos armazéns, a maioria dos produtos passam por quatro ciclos (receção, armazenamento, preparação e expedição), enquanto que os centros de distribuição tratam a maior parte dos produtos em apenas dois: receção e expedição. Os armazéns recolhem informação por lotes, e os centros de distribuição em tempo real. Os armazéns têm como principal foco a minimização dos custos operacionais e os requisitos de expedição, já os centros de distribuição focam os seus recursos para maximizar o impacto do lucro atendendo aos pedidos de entrega dos clientes (Lambert, *et al.*, 1998).

Com o aumento do interesse em melhorar a rotação de stock e a redução do tempo da chegada do produto ao mercado, a função da distribuição está a concentrar-se cada vez mais no atendimento rápido e eficiente de pedidos. Os gestores necessitam de conhecimento dos métodos de melhoria da performance dos armazéns, assim como de estratégias para determinar a melhor localização das instalações e se possível a localização ótima (Lambert, *et al.*, 1998).

No estudo da otimização da Cadeia de Abastecimento é importante considerar que existem várias áreas interligadas entre si e que a redução dos custos totais será alcançada pela melhoria de todas. A otimização de uma cadeia de abastecimento deverá ser feita de modo integrado, isto é, considerando em simultâneo a otimização de todas as áreas. No entanto tal resulta num problema muito complexo.

No presente trabalho, o foco estará na otimização das rotas de distribuição de uma empresa de grande consumo. Será considerada uma organização com um conjunto de clientes representativos.

Neste sentido, o processo de otimização de um sistema acontece, neste grupo de organizações, de forma hierárquica, isto é, é expectável que cada área do sistema Logístico seja otimizada faseadamente.

Desta forma, é importante referir que, o propósito do atual projeto consiste na procura de uma boa solução para a rede de transportes, considerando a localização atual dos armazéns da empresa e propondo uma nova possível localização.

O problema de determinação das rotas é conhecido como *Vehicle Routing Problem* (VRP) e será descrito no próximo subcapítulo.

2.7. *Vehicle Routing Problem* (VRP)

O *Vehicle Routing Problem* (VRP) está relacionado com a atividade de distribuição de uma organização. Nas últimas décadas têm sido efetuados vários estudos relacionados com este tema, com vista à melhoria do processo de entrega de bens e/ou produtos e à redução dos custos associados. O VRP básico considera

uma determinada frota de veículos com capacidade uniforme, um centro de distribuição ou armazém comum e diferentes pontos de entrega e propõe-se a procurar o conjunto das rotas que simultaneamente minimiza o custo total e que satisfaz a procura (Toth *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2002). O facto de o VRP ser de interesse teórico e prático (devido às suas aplicações) explica a quantidade de atenção que tem tido nos últimos anos (Machado *et al.*, 2002).

Várias características fazem parte de um VRP, consoante o tipo de problema em estudo, é possível enumerar alguns exemplos: as rotas deverão ser desenhadas de forma a que cada ponto de entrega seja visitado apenas uma vez, por exatamente um veículo num determinado intervalo de tempo; todas as rotas deverão ter início e terminar na mesma localização; a procura total dos vários clientes de uma rota não deverá exceder a capacidade do veículo; entre outras (Braysy *et al.*, 2005).

Existem vários objetivos conforme as características e tipologia do problema em causa, nomeadamente a minimização dos custos totais da operação, minimização do tempo total de transporte, minimização da distância total a percorrer, minimização do tempo de espera, maximização do serviço ao cliente, minimização da utilização de veículos, entre outros.

Para os autores Machado *et al.* (2002), o VRP (*Vehicle Routing Problem*) é um problema complexo de otimização combinatória, que pode ser visto como a combinação de dois problemas conhecidos: o *Travelling Salesman Problem* (TSP) e o *Bin Packing Problem* (BPP).

O TSP consiste na determinação de um percurso que parte de um ponto origem, passa por todos os pontos do percurso apenas uma vez retornando ao local de origem, de forma a minimizar o custo total do percurso. Já o BPP consiste no agrupamento de um conjunto de objetos num número finito de recipientes, por forma a minimizar o número de recipientes utilizados.

2.7.1. O VRP e o TSP

Seguidamente serão brevemente apresentados os problemas TSP e VRP básicos e algumas das suas variantes.

Casos determinísticos e estáticos

O *Travelling Salesman Problem* é um dos problemas de otimização combinatória mais estudados da literatura. A forma geral do TSP foi estudada pela primeira vez por Karl Menger (Applegate *et al.*, 2007). Só mais tarde, Dantzig *et al.* (1954) apresentaram notáveis contribuições. O objetivo do TSP é, como já foi referido, determinar uma rota para um vendedor quando um número específico de pontos é dado. O vendedor inicia e volta ao ponto correspondente ao depósito, de modo a que todos os pontos restantes sejam visitados exatamente uma vez e o custo total da visita a todos os pontos seja minimizado. Dependendo do problema em causa, o custo pode ser definido enquanto tempo, distância, entre outros. Uma generalização deste problema é o *Multiple Travelling Salesman Problem* (MTSP), no qual as rotas são determinadas para M vendedores em vez de apenas um (Yalcindag, *et al.* 2011; Dantzig *et al.* 1954).

No que respeita ao VRP, este pode ser considerado como uma variante do MTSP, onde são, no entanto, impostas restrições de capacidade aos veículos.

Abaixo apresentam-se algumas variantes do VRP descritas por Toth *et al.* (2014) e citadas por Yalcindag, *et al.* (2011):

- VRP com restrições de capacidade (CVRP): como existem outras variantes do VRP, denomina-se de CVRP o MTSP com restrições de capacidade.
- VRP com um ou vários depósitos: no caso de um único depósito, todos os vendedores iniciam e terminam as suas rotas na mesma localização, já no caso de existirem múltiplos depósitos, cada vendedor pode iniciar ou terminar as suas rotas num dos depósitos comuns ou noutra depósito qualquer.
- *Open VRP (OVRP)*: se não existir a necessidade de os vendedores voltarem ao depósito, o problema será considerado um OVRP.
- VRP com restrições de distância (DCVRP): a restrição de capacidade é substituída por uma restrição de comprimento máximo de rota (tempo) e denominada DCVRP.
- VRP com *Backhauls* (VRPB): o conjunto de pontos é dividido em dois subconjuntos: *linehaul* e *backhaul*. No *linehaul*, cada ponto requer a entrega de uma certa quantidade de produtos com origem no depósito. No conjunto de *backhaul*, cada um exige a recolha de uma certa quantidade de produtos para o depósito.
- VRP com *Pickup and Deliveries* (VRPPD): é necessário transportar várias mercadorias a partir de locais específicos de recolha para determinados locais de entrega.
- VRP com janelas temporais (VRPTW): são definidas janelas temporais para todos os pontos e a visita a cada ponto só poderá ser realizada dentro desses intervalos de tempo. Este tipo de modelação pode ser aplicado a todas as variantes acima descritas.

Na Figura 1 está representada de forma esquematizada a relação entre TSP, VRP e as suas variantes.

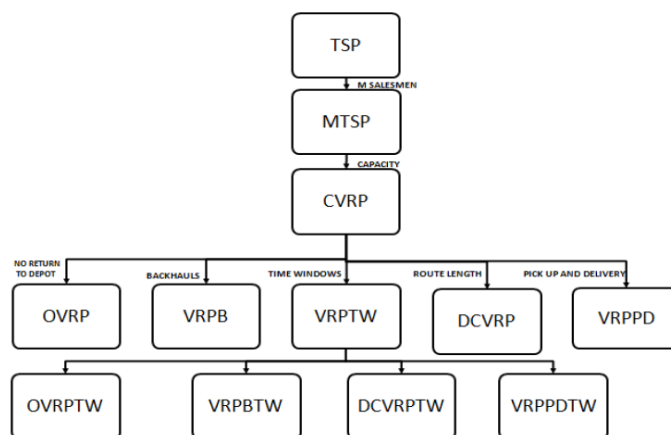


Figura 1: A relação entre o TSP, VRP e as suas variantes (Yalcindag *et al.*, 2011).

A versão determinística corresponde às situações em que o número de pontos, o número de veículos, o pedido de cada ponto, o tempo de viagem entre cada ponto, entre outras condições, são conhecidas antecipadamente. Na versão estática, presume-se que todas as informações relevantes para o planeamento de rotas são conhecidas antes do início do planeamento da rede e essas informações não mudam após a construção das rotas (Toth *et al.*, 2014). No entanto, também é importante observar as versões probabilísticas, estocásticas e dinâmicas destes problemas.

Casos probabilísticos, estocásticos e dinâmicos

Os problemas dinâmicos são caracterizados pelo facto de algumas informações relevantes para a tomada de decisões serem gradualmente reveladas ao longo do tempo, o que exige a atualização da solução. Problemas dinâmicos também podem ser considerados problemas estocásticos, nos casos em que algumas informações dos parâmetros variáveis são conhecidas na forma de distribuições de probabilidade (Toth *et al.*, 2014).

No que respeita às variantes probabilísticas e estocásticas do TSP e VRP, podem ser brevemente descritas da seguinte forma (Toth *et al.*, 2014):

- *Probabilistic Travelling Salesman Problem (PTSP)*: O PTSP pode ser considerado como a variante do TSP convencional, em que a distância total de uma viagem *a priori* é uma variável aleatória parametrizada pelas probabilidades do ponto.
- *Probabilistic Vehicle Routing Problem (PVRP)*: esta vertente é a variação probabilística do VRP padrão, na qual os pedidos são probabilísticos.
- *Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)*: O SVRP é outra variante do VRP clássico, onde mais do que um parâmetro é estocástica, resultado de tempos de viagem incertos, procura desconhecida, entre outros.

No TSP e VRP dinâmico, não são conhecidas todas as informações para o planeamento das rotas aquando do início do seu estudo. Em particular, após a construção das rotas iniciais, as informações podem ser atualizadas devido a vários fatores externos. O primeiro estudo dinâmico de VRP foi fornecido por Powell (1986) (Yalcindag, *et al.* 2011; Powell, 1986).

2.7.2. Métodos de resolução de VRP

O VPR é considerado um problema combinatório pertencente à classe dos problemas *NP-Hard*, o que implica ser pouco provável a construção de um algoritmo que encontre sempre a solução ótima ou a melhor decisão possível num tempo viável de computação polinomial no "tamanho" do problema (Simchi-Levi e Bramel, 2005).

Ao longo dos anos, para encontrar a melhor solução admissível foram desenvolvidos vários métodos de obtenção de soluções que podem ser classificados em métodos exatos, heurísticos e metaheurísticos (Shi *et al.*, 2016).

Abordagens exatas

Na abordagem exata é esperado encontrar a melhor solução possível que satisfaça todas as restrições, de modo a garantir que a solução alcançada é a ótima, isto é, esta abordagem pressupõe obter as soluções admissíveis até alcançar a solução ótima. No entanto, os métodos exatos desenvolvidos são morosos e apenas executáveis para problemas de pequenas dimensões (Cardoso, 2009).

O método *Branch and Bound* é um exemplo de uma abordagem exata.

O *Branch and Bound* (B&B) é uma metodologia fundamental e amplamente usada para obtenção de soluções ótimas para problemas de otimização NP-hard. A técnica, proposta pela primeira vez por Land e Doig (1960), é frequentemente referida como um algoritmo; no entanto, talvez seja mais apropriado dizer que o B&B abrange uma família de algoritmos que compartilham um procedimento comum de

solução central. Implicitamente, este procedimento enumera todas as soluções admissíveis para o problema em estudo, armazenando soluções parciais, chamadas subproblemas, numa estrutura de árvore. Os nós inexplorados na árvore geram subproblemas, dividindo o espaço das soluções em regiões de menores dimensões que originam problemas que podem ser resolvidos recursivamente (ou seja, *branching*) e são definidas regras para descartar regiões do espaço de pesquisa que originam valores para a função objetivo comprovadamente piores que o valor ótimo (ou seja, *bounding*). É esperado encontrar a solução ótima, depois de todas as ramificações da árvore serem pesquisadas. (Morrison, *et al.* 2016; Land e Doig 1960).

No entanto, uma das limitações dos métodos exatos para a determinação das soluções ótimas em problemas mais complexos são o tempo computacional superior ao aceitável. De forma a ultrapassar este obstáculo, ao longo dos anos, tem-se verificado um desenvolvimento de heurísticas ou metaheurísticas para a obtenção de soluções de problemas mais complicados (Cardoso, 2009).

Heurísticas

As Heurísticas recorrem a uma estruturação matemática do problema em estudo e recorrentemente produzem soluções admissíveis de boa qualidade, isto é, com um valor da função objetivo próximo do valor ótimo. Segundo Bodin, L. *et al.* (1983), estes métodos podem ser classificados em três tipos (Cardoso, 2009):

- Métodos construtivos

As heurísticas de construção são normalmente a forma mais rápida de obter soluções admissíveis para um problema proposto. No entanto, usualmente não são tão boas quanto as soluções fornecidas por outras heurísticas. Por este motivo, as heurísticas construtivas são usadas principalmente se uma solução razoavelmente boa para um problema tiver que ser encontrada rapidamente ou para fornecer soluções iniciais para as heurísticas de melhoramento.

Um exemplo deste método é o *Savings Algorithm*. Em 1964, Clarke & Wright publicaram um algoritmo que procura uma solução para um problema clássico de *Vehicle Routing*. Este algoritmo baseia-se no conceito, como o nome indica, de poupança.

Este é um algoritmo heurístico e, portanto, não garante que se obtenha a solução ótima para o problema. O método, no entanto, geralmente produz uma boa solução para o problema, isto é, uma solução admissível com valor próximo do valor ótimo. O conceito básico de poupança expressa a poupança dos custos obtida pela associação de duas rotas, como ilustrado na Figura 2, onde o ponto 0 representa o depósito (Lysgaard, 1997; Clarke e Wright, 1964).

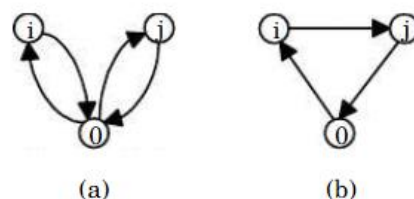


Figura 2: Ilustração do conceito de poupança (Lysgaard, 1997).

Inicialmente, na figura 2 (a), os clientes *i* e *j* são visitados em rotas separadas. Uma alternativa passa por visitar ambos os clientes na mesma rota, por exemplo, na sequência 0-*i*-*j*-0, como está ilustrado na Figura 2 (b). Os *Savings*, ou as poupanças, são conseguidas pela ligação entre os pontos *i* e *j* e o centro de distribuição.

É possível enumerar outros métodos comumente utilizados, como o *Multi-Route Improvement Heuristics* publicado por Kindervater e Savelsbergh (1997), cujo procedimento passa por construir uma rota com início no centro de distribuição/armazém para um determinado cliente, e posteriormente inserir o cliente que se encontre mais próximo (vizinho mais próximo) e assim sucessivamente, até retornar ao ponto de origem (Campbell, A. e Savelsbergh, M., 2004; Kindervater. e Savelsbergh, 1997).

Neste conjunto de métodos, também fazem parte as heurísticas de inserção que admitem construir um grupo de rotas admissível através da inserção iterada de clientes ainda não alocados a nenhuma rota. São várias as opções relativas à escolha do próximo cliente a inserir na rota, assim como na escolha da localização da rota cliente (Campbell, A. e Savelsbergh, M., 2004).

- Métodos melhorativos

As heurísticas de melhoramento podem ser descritas pela escolha aleatória de um conjunto de rotas admissíveis, onde se efetuam alterações nos locais a visitar, com propósito de encontrar uma solução melhor (Cardoso, 2009).

- Métodos compostos

Os métodos compostos permitem encontrar resultados muito próximos do ótimo. O principal objetivo desta heurística é procurar uma “boa” solução inicial e posteriormente aplicar métodos melhorativos com o propósito de encontrar uma solução melhor (Cardoso, 2009).

Meta-heurísticas

Métodos que solucionam genericamente problemas de otimização, explorando as regiões mais promissoras do domínio da solução.

As metaheurísticas atuais para a obtenção de soluções de VRP podem ser amplamente classificadas em métodos de pesquisa locais (*local search methods*) e heurísticas baseadas na população (*population-based heuristics*). Os métodos de pesquisa local exploram um conjunto de soluções admissíveis para o problema, passando, em cada iteração, de uma solução para outra na vizinhança. Estão incluídos métodos melhorativos bastante conhecidos, como *simulated annealing*, *deterministic annealing*, *tabu search*, *iterated local search* e *variable neighborhood search*. As heurísticas baseadas na população envolvem um conjunto de soluções que podem ser combinadas com a expectativa de gerar melhores soluções. Esta categoria inclui os métodos *ant colony optimization*, *genetic algorithms*, *scatter search* e *path relinking* (Braysy & Gendreau, 2001).

3. Método usado para a obtenção das rotas numa empresa de largo consumo

A heurística a desenvolver para determinação de rotas terá por base uma frota homogénea de veículos que iniciam o seu percurso a partir de um armazém já instalado, posteriormente serão visitadas um conjunto de lojas predefinido e, por fim, o grupo de veículos regressará ao armazém de onde partira. Será considerado que cada loja é visitada apenas uma vez, terá que ser garantido que o seu pedido terá de ser completamente satisfeito aquando da visita do respetivo veículo. A capacidade de cada veículo que efetua a rota deverá ser respeitada, isto é, a capacidade máxima de cada veículo não deverá ser excedida em cada rota escolhida.

A heurística desenvolvida para este problema baseia-se no artigo publicado por Barreto, *et al.* (2006), onde se pretende solucionar o problema de *location-routing*, problema em que se otimiza de forma integrada a localização de armazéns e, simultaneamente, as rotas de distribuição a partir dos armazéns instalados.

Este projeto considera apenas a determinação das rotas a partir de instalações já conhecidas dos armazéns.

O *Location Routing Problem* (LRP) surge da combinação de dois problemas mais complexos: o *Facility Location Problem* (FLP) e o *Vehicle Routing Problem* (VRP). No artigo apresentado por Barreto *et al.* (2006) é considerado um LRP discreto com dois níveis: um conjunto de centros de distribuição potencial com restrições de capacidade (DC) e um conjunto de clientes a servir. Neste problema pretendeu-se determinar o conjunto de DCs instalados, bem como as rotas de distribuição (começando e terminando no DC). O problema também considera restrições de capacidade nos veículos. Além disso, existe uma frota homogénea de veículos, transportando um único produto e cada cliente é visitado apenas uma vez. Tendo como principal objetivo a minimização dos custos de encaminhamento e localização.

No problema em estudo neste projeto consideraram-se 2 casos: o armazém já está localizado e a partir dele é feita a distribuição para os vários clientes agrupados em clusters; posteriormente determinou-se a localização do armazém na 1-mediana da amostra de lojas, isto é, a loja do conjunto a que corresponde o mínimo da soma das distâncias.

Sejam,

n : número de clientes

$I = \{1, 2, \dots, n\}$ conjunto dos clientes

O armazém designa-se por 0.

d_{ij} : distância entre i e j com $i, j \in I \cup \{0\}$

No conjunto de lojas será considerada para localizar o novo armazém a loja i correspondente a

$$\min_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$$

Quanto à heurística utilizada, é descrita resumidamente da seguinte forma:

- Agrupamento das lojas em clusters de acordo com a proximidade geográfica;
- Obtenção das rotas dos veículos considerando de cada vez os clientes pertencentes a cada cluster.
- Agrupamento dos Clusters.

O *Savings Algorithm* (CW), desenvolvido por Clarke e Wright (1964), é a heurística mais conhecida para obtenção de soluções de CVRP. O seu conceito passa por unir as rotas determinadas numa lista de poupança, cujos valores são ordenados do maior para o menor. O CW também foi amplamente utilizado como base em muitos pacotes comerciais de rotas. Existem duas versões do CW: sequencial e paralelo. Na versão sequencial, apenas uma rota é expandida até que mais nenhuma rota possa ser conectada a esta. No caso da versão paralela, várias rotas podem ser construídas em paralelo. De acordo com Laporte *et al.* (2000) e Toth *et al.* (2014), a versão paralela geralmente oferece melhores resultados do que a versão sequencial. Cordeau *et al.* (2002) menciona que é possível enumerar quatro atributos características de boas heurísticas: precisão, velocidade, simplicidade e flexibilidade.

Testes extensivos de algoritmos heurísticos mostram que o CW tem alta velocidade e simplicidade, mas não é o mais preciso devido a desvios entre as suas soluções e as soluções ótimas. O que resultou em propostas de aprimoramentos de vários autores do CW para CVRP (Pichpibul e Kawtummachai, 2012; Clarke e Wright, 1964).

Para a obtenção das rotas, no presente projeto utilizou-se a heurística de Clarke e Wright (versão paralela), enunciada de seguida.

Heurística de Clark e Wright - versão paralela

Para cada Cluster Fazer:

Passo 1. Inicialização

Construir rotas constituídas apenas pelo armazém e por um cliente do cluster.

Passo 2. Calcular para cada $i, j \in I$ pertencentes ao mesmo cluster as poupanças, p_{ij} , do seguinte modo

$$p_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$$

Passo 3. Fazer a junção das rotas enquanto houver poupanças positivas e a junção for admissível. Escolhe-se sempre a maior das poupanças ainda disponíveis.

Considera-se que a junção de duas rotas existentes é admissível se:

- A junção não excede a capacidade do veículo;
- Os clientes a que corresponde a poupança positiva são extremos de rotas existentes, isto é, são adjacentes ao armazém e pertencem ao mesmo Cluster.

4. Resultados obtidos

Neste capítulo apresentam-se alguns resultados considerando exemplos baseados em dados recolhidos no site de uma empresa da área do grande consumo. Consideram-se amostras com 14 e 19 lojas, numa determinada área geográfica.

De forma geral, os pedidos de uma loja podem ser divididos em 4 categorias: artigos de Seco, Refrigerado, Congelado e Fluxo Tenso (produtos perecíveis). Quanto à sua distribuição, poderá ser feita em veículos refrigerados que suportam o transporte de todas as categorias, o que permite uma única deslocação à loja, ou transporte por categorias, resultando na necessidade de receção em loja de mais do que um veículo.

Relativamente às propostas existentes no mercado de empresas de transportes que fornecem a organizações de largo consumo existem três opções mais comuns, a contratação do serviço de distribuição ao quilómetro de distância da loja, à área ocupada do veículo e ao frete, isto é, será pago o valor estipulado por servir uma determinada loja (opção menos utilizada hoje em dia).

No caso em estudo será considerada uma frota de transporte com capacidade de transporte das 4 categorias em simultâneo e será considerada a distribuição com contratação do serviço por km percorrido.

Já no que respeita à capacidade dos veículos existem veículos com várias capacidades. Considerando, como medida da capacidade o Combi, existem veículos com capacidade para 21, 33 ou 54 Combis. De referir, que 2 combis correspondem ao tamanho de 1 palete e que em média cada combi poderá conter aproximadamente 36 caixas, dependendo do seu formato. Nos resultados apresentados neste trabalho de projeto será considerada a capacidade de 33 combis.

Vários autores integraram procedimentos de análise de cluster em heurísticas para LRPs. Como uma contribuição nessa direção, neste trabalho será considerado um conjunto representativo de 2 exemplos com 14 lojas e um terceiro exemplo com 19 lojas, distribuídas geograficamente na mesma região. Utilizou-se a linguagem de programação R para agrupar as lojas em dois clusters, em cada um dos exemplos.

No anexo I é possível consultar as procuras consideradas para cada loja, a matriz das distâncias entre lojas e as rotas obtidas em cada cluster.

Na Figura 3 apresenta-se para o exemplo 1 a distribuição das lojas em estudo numa determinada área geográfica.

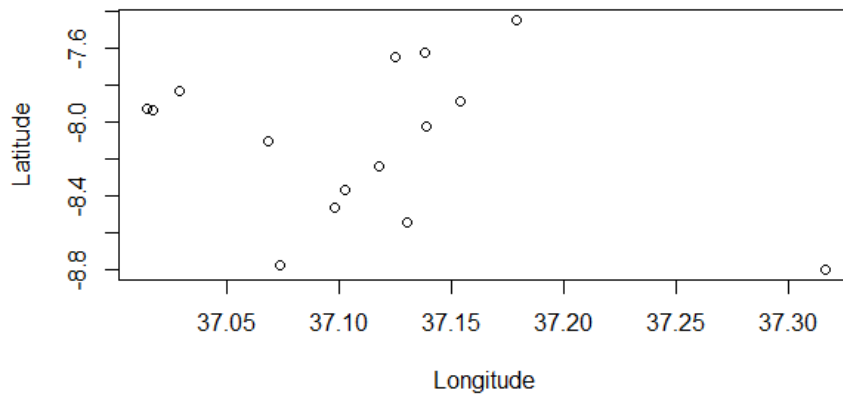


Figura 3: Distribuição geográfica das lojas do exemplo 1.

Na Figura 4 apresentam-se para o exemplo 1 os dois clusters obtidos. As cores vermelho e verde representam as lojas pertencentes a cada um dos Clusters, o verde representa o Cluster 1, enquanto o vermelho o Cluster 2, já o ponto a azul representa a atual localização do armazém.

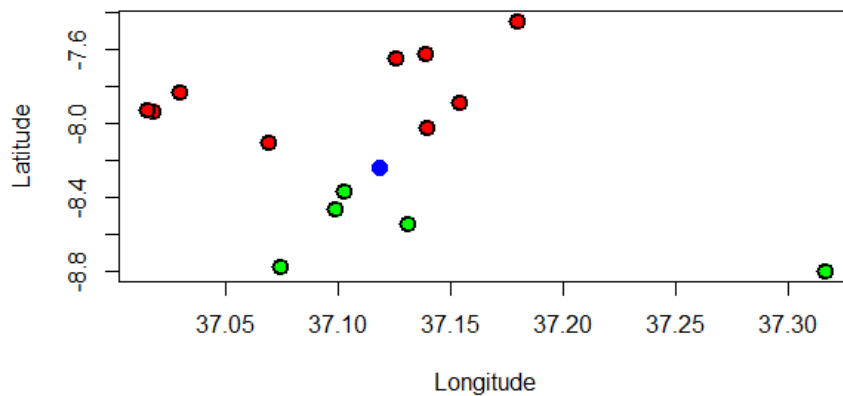


Figura 4: Clusters obtidos para o conjunto de lojas do exemplo 1.

Para este exemplo, considerou-se também a localização do armazém na 1-mediana (Figura 5), tendo como objetivo compreender se a atual localização poderia ser otimizada. Para este estudo pressupôs-se que qualquer uma das lojas tem capacidade para armazenar a totalidade da mercadoria a e não existem custos na adaptação das lojas para armazéns.

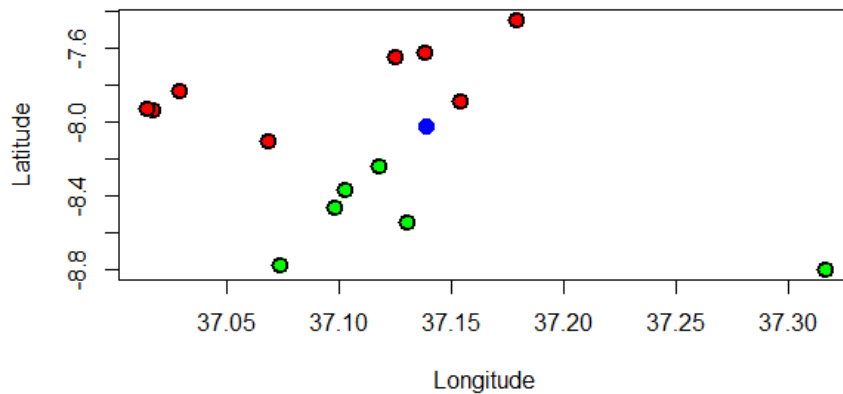


Figura 5: Exemplo 1 com proposta de localização de armazém na loja correspondente à 1-mediana.

No cálculo dos custos totais de cada exemplo considerou-se o preço representativo por quilómetro de 3,5€.

No primeiro exemplo obtiveram-se os seguintes resultados usando a Heurística de Clarke e Wright:

	Cluster 1	Cluster 2	Custo Total/km
Armazém na localização original	727,30€	1 336,48€	2 063,78€
Proposta de localização para o armazém	1 027,95€	960,23€	1 988,18€

No caso do armazém com a localização original obtiveram-se 6 rotas de distribuição. Seriam necessários 2 veículos para servir as lojas do Cluster 1 e 4 veículos para atender os pedidos do Cluster 2. Já no caso da localização sugerida, os pedidos ficariam satisfeitos com 5 veículos, 2 para o Cluster 1 e 3 no caso do segundo Cluster.

Para o segundo exemplo foram analisadas 14 lojas, distribuídas geograficamente segundo a Figura 6.

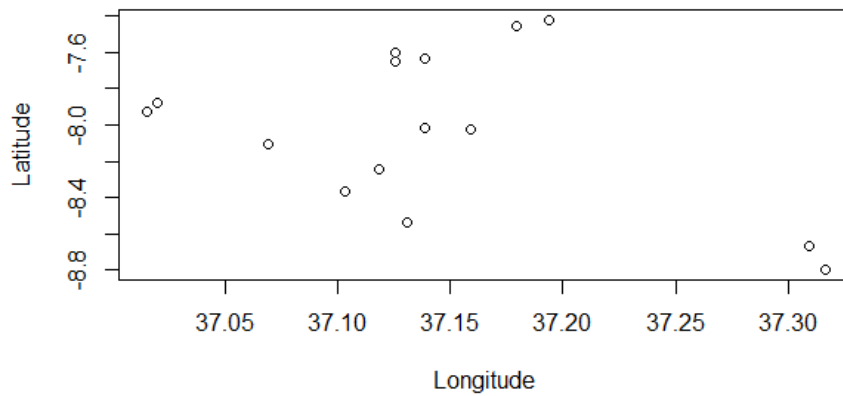


Figura 6: Distribuição geográfica das lojas no exemplo 2.

Com base no conjunto de lojas do segundo exemplo obtiveram-se os Clusters representados na Figura 7, onde os pontos vermelhos correspondem ao Cluster 1, os pontos verdes ao Cluster 2 e o ponto azul à localização original do armazém.

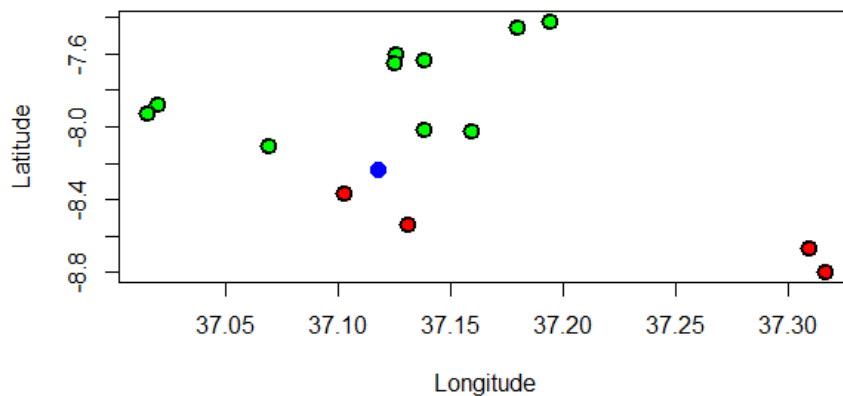


Figura 7: Clusters obtidos do conjunto de lojas do exemplo 2.

Na Figura 8 está representado o conjunto de lojas do exemplo 2, dividido pelos Clusters obtidos inicialmente. Nesta figura, assumiu-se uma nova localização para o armazém que corresponde à 1-mediana das lojas.

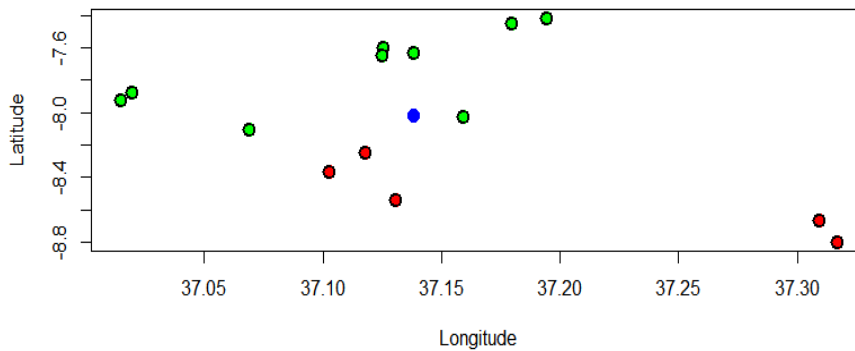


Figura 8: Exemplo 2 com proposta de localização de armazém na 1-mediana.

Na segunda amostra obtiveram-se os seguintes resultados usando a Heurística de Clarke e Wright:

	Cluster 1	Cluster 2	Custo Total/km
Armazém na localização original	693,35€	1 419,95€	2 113,30€
Proposta de localização para o armazém	995,40€	878,85€	1 874,25€

No caso da localização original do armazém, para satisfazer a procura total, seriam necessárias 6 Rotas, 2 veículos para colmatar a procura das lojas do Cluster 1 e 4 veículos para o Cluster 2. Já no caso da nova localização proposta resultaram 5 Rotas, 2 veículos para o Cluster 1 e 3 veículos para o Cluster 2.

Por último, no terceiro exemplo foram analisadas 19 lojas, conforme representação da Figura 9.

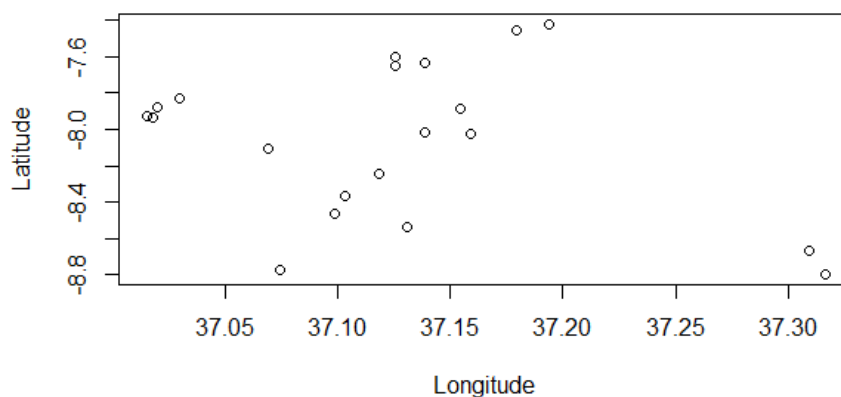


Figura 9: Distribuição geográfica dos dados 3.

Na Figura 10 estão sintetizados os Clusters obtidos no conjunto de lojas do exemplo 3, onde os pontos vermelhos correspondem ao Cluster 1, os pontos verdes ao Cluster 2 e o ponto azul à localização original do armazém.

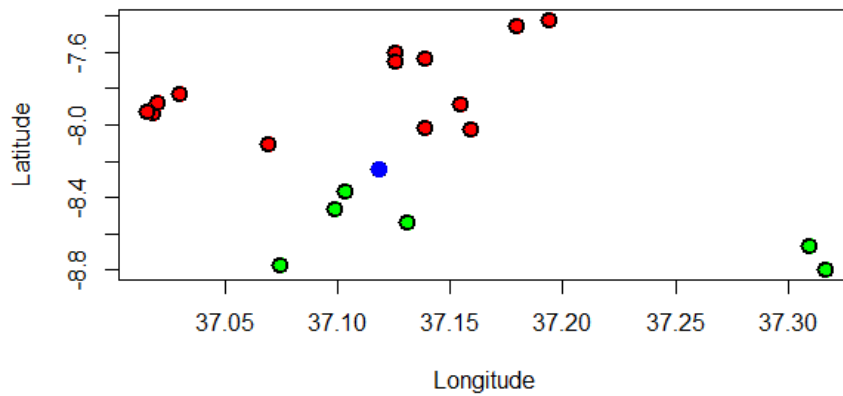


Figura 10: Clusters obtidos do conjunto de lojas dos dados 3.

À semelhança dos outros exemplos, na Figura 11 apresenta-se uma sugestão de nova localização do armazém servindo o mesmo conjunto de lojas inicial.

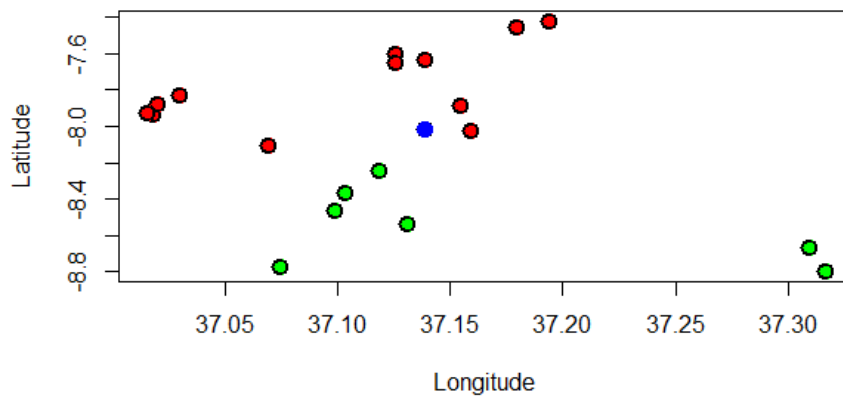


Figura 11: Exemplo 3 com proposta de localização de armazém.

Na terceira amostra registaram-se os resultados abaixo enumerados, segundo a Heurística de Clarke e Wright:

	Cluster 1	Cluster 2	Custo Total/km
Armazém na localização original	1 277,85€	1 016,05€	2 293,90€
Proposta de localização para o armazém	768,25€	1 467,20€	2 235,45€

Em ambas as localizações do armazém, de forma a satisfazer os pedidos das lojas de ambos os Clusters foram necessários 7 veículos, 4 rotas no caso do Cluster 1 e 3 no caso do Cluster 2.

Na Tabela 2 é possível consultar o resumo dos resultados obtidos no estudo efetuado.

Tabela 2: Resumo dos resultados obtidos nos exemplos analisados.

	Localização atual do armazém	Localização proposta	Melhoria (%)	Número total de rotas localização atual	Número total de rotas na localização proposta
Exemplo 1	2 063,78 €	1 988,18 €	3,80%	6	5
Exemplo 2	2 113,30 €	1 874,25 €	12,75%	6	5
Exemplo 3	2 293,90 €	2 235,45 €	2,61%	7	7

Nos 3 exemplos apresentados verificou-se que existiu melhoria quando se considerou a nova localização, num dos exemplos verificou-se uma melhoria mais acentuada que nos outros dois. De notar, que as quantidades pedidas pelas lojas também terão impacto no número de veículos necessários e consequentemente na poupança de cada rota.

5. Conclusões

Neste projeto apresentou-se uma heurística para um problema de determinação de rotas, usando como exemplo, a estrutura de uma empresa de largo consumo. Com o propósito de melhorar a eficiência e consequentemente auferir a possibilidade de minimizar os custos de transporte, analisou-se a possibilidade da instalação do atual armazém numa localização mais estratégica.

Uma empresa de grande consumo, funciona enquanto intermediário da cadeia de distribuição, e faz normalmente a ponte entre as empresas grossistas ou fabricantes e o consumidor final, são empresas cujo principal foco passa por fazer chegar os bens à maior área geográfica possível, de forma a servir o maior número de consumidores. Desta forma, mostra-se relevante a análise do sistema de distribuição de uma empresa deste segmento.

Neste trabalho usou-se a heurística de Clarke e Wright (versão paralela) para determinar as rotas de distribuição pelos clientes. Os clientes foram em primeiro lugar agrupados por clusters considerando a sua proximidade geográfica. Foram tidas em conta duas possíveis localizações para o armazém: a atual localização e a loja correspondente à 1-mediana.

Os resultados apresentados dizem respeito a três exemplos construídos com base na realidade de uma empresa de largo consumo. Considerou-se uma frota homogénea e com capacidade de transporte das 4 categorias (artigos de Seco, Refrigerado, Congelado e Perecíveis) em simultâneo e uma distribuição com contratação do serviço por km percorrido sendo o preço representativo por quilómetro de 3,5€.

Concluiu-se que em qualquer dos exemplos a localização do armazém na 1-mediana origina soluções com menores custos totais de distribuição. A maior percentagem de melhoria no custo total de distribuição foi de 12,75% e a pior de 2,61%.

O número de rotas de distribuição obtidas em dois dos exemplos foi também menor quando se considerou a localização do armazém na 1-mediana e no outro exemplo manteve-se igual.

Após esta fase construtiva (obtenção das rotas usando a heurística Clarke e Wright) poderia ser apontado como potencial plano de melhoria do estudo efetuado, a aplicação de heurísticas de melhoramento local a cada rota obtida, como por exemplo a heurística 2-optimal para o problema do caixeiro viajante.

Também um objetivo a atingir seria uma experiência computacional considerando exemplos de maiores dimensões, correspondentes a zonas de clientes mais abrangentes.

Como proposta de trabalho futuro, mostra-se importante determinar de forma integrada o problema de localização de um armazém e o problema da determinação das rotas de distribuição.

Bibliografia

Applegate, D. L., Bixby, E. R., Chvátal, V., e Cook, W. (2007) *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton University Press.

Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministro*. [Versão eletrônica]. 5ª Edição. Weatherhead School of Management, Case Western Reserve University. Acedido em 15 de Julho de 2020, em:

https://books.google.es/books?hl=pt-PT&lr=&id=ii5xqLQ5VLgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=ballou+2004&ots=u37CqIFmbc&sig=43xyLEBp1wTLuZBVXpXuBItoRpk&redir_esc=y#v=onepage&q=ballou%202004&f=false

Barreto, S., Ferreira, C., Paixão, J. e Santos, B. S. (2006). *Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem*. European Journal of Operational Research. **179 (2007)**: 968–977. Acedido em 25 de Setembro de 2020, em: www.elsevier.com/locate/ejor

Braysy, O. e Gendreau, M. (2005). *Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics*. In Transportation Science **39(1)**:119-139 · February 2005. Acedido em 25 de Julho de 2020, em:

https://www.researchgate.net/publication/220413132_Vehicle_Routing_Problem_With_Time_Windows_Part_II_Metaheuristics

Braysy, O., Gendreau, M. e Hasle, G. (2001). *Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*. SINTEF Applied Mathematics. Acedido em 25 de Julho de 2020, em: https://www.researchgate.net/publication/241100650_Genetic_Algorithms_for_the_Vehicle_Routing_Problem_with_Time_Windows

Bodin, L., Golden, B., Assad, A. e Bal, A., (1983), *Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: the state of the art*. Computer & Operations Research, Special Issue, **10 (2)**: 63.

Campbell, A. M. e Savelsbergh, M. (2004). *Efficient Insertion Heuristics for Vehicle Routing and Scheduling Problems*. In Transportation Science. **38(3)**: 369-378. Acedido em 29 de Julho de 2020, em: https://www.researchgate.net/publication/220413126_Efficient_Insertion_Heuristics_for_Vehicle_Routing_and_Scheduling_Problems

Cardoso, S. R. S. N. (2009). *Optimização de Rotas e da Frota Associada – O Caso da A. A. Silva*. Dissertação de mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Instituto Superior Técnico Universidade de Lisboa, Lisboa.

Carvalho, J. C. (2017) – *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. 3ª Edição. Edições Sílabo, Lda. Lisboa.

Carvalho, J. C., Guedes, A. P., Arantes, A. J. M., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., Dias, E. B., Ramos, T., *et al* (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*.

Edições Sílabo, Lda. Lisboa.

Chopra, S., Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. Pearson Prentice Hall. DOI: 10.1007/978-3-8349-9320-5_22

Clarke, G. e Wright, J.R. (1964). *Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points*. *Operations Research*. 12, 568-581.

<http://dx.doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

Council of Logistics Management (2010). *CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary*. Acedido em:

https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx

Cordeau, J.F., M., Gendreau, G., Laporte, J.Y., Potvin e F., Semet (2002). *A guide to vehicle routing heuristics*. *Journal of the Operational Research Society* 53, pp. 512-522.

Correia, E. M. D. G. (2018). *A gestão da Cadeia logística no setor do retalho: Contributo para uma análise aos custos envolvidos*. Dissertação de mestrado em Contabilidade e Fiscalidade Empresarial. Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra.

Dantzig G., Fulkerson R., Johnson S (1954). *Solution of a large-scale travelling salesman problem*. *Operations Research*, 2: 393-410.

Desaulniers, G., Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M. e Soumis, F. (1997). *Daily Aircraft Routing and Scheduling*. Vol. 43, No. 6.

<https://doi.org/10.1287/mnsc.43.6.841>

Fonseca, M. C. (2019). *Logística e gestão de Operações*. Mestrado em Matemática Aplicada à Economia e Gestão - Logística e Gestão de Operações. 1º Ano, 2º Semestre, Módulo de Logística. Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa, Lisboa.

Kindervater, G. A. P. e Savelsbergh, M. W. P. (1997). *Vehicle Routing: Handling Edge Exchanges*. *Local Search in Combinatorial Optimization*. Wiley, 337–360.

Koster, R., Johnson, A., & Roy, D. (2017). *Warehouse design and management*. *International Journal of Production Research*, Pp 6327-6330. Acedido em 3 de Julho de 2020, em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2017.1371856?src=recsys>

Lambert, D. M., Stock, J. R., Ellram e L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. [Versão eletrónica]. The McGraw-Hill Companies, Inc. United States. Acedido em 20 de Julho de 2020, em:

<https://books.mec.biz/tmp/books/KPYWMGYRF32N4R5S5VEP.pdf>

Land, A.H. e Doig, A.G. (1960). *An automatic method for solving discrete programming problems*. *Econometrica*, pp. 497-520

Laporte, G. (1992). *The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms*. *European Journal of Operational Research*. Volume 59, pp. 345-358.

Laporte, G., M., Gendreau, J., Potvin e F., Semet (2000). *Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem*. *International Transactions in Operational Research* 7, pp. 285- 300.

Lysgaard, J. (1997). *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Department of Management Science and Logistics. The Aarhus School of Business. Acedido em 31 de Julho de 2020, em:

https://www.academia.edu/27827242/Clarke_and_Wrights_Savings_Algorithm

Machado, P., Tavares, J., Pereira, F. B. e Costa, E. (2002). *Vehicle Routing Problem: Doing It The Evolutionary Way*. Conference: GECCO 2002: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, New York, USA, 9-13 July 2002. Acedido em 25 de Julho de 2020, em:

https://www.researchgate.net/publication/220743156_Vehicle_Routing_Problem_Doing_It_The_Evolutionary_Way

McCann, P. (1998). *The Economics of Industrial Location: a Logistics-Costs Approach*. [Versão eletrónica]. Springer, Reino Unido: Reading. Acedido em 10 de Julho de 2020, em:

<https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=sobqCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=logistic+costs&ots=zhjluMBCvA&sig=wZ6xTjjUZ8adqM9rbM-fvS1WRzM#v=onepage&q=logistic%20costs&f=false>

Morrison, D. R., Jacobson, S. H., Sauppe, J. J. e Seweel, E. C. (2016). *Branch-and-bound algorithms: A survey of recent advances in searching, branching, and pruning*. *Discrete Optimization*. Elsevier: Volume 19, Pages 79-102. DOI <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2016.01.005>

Pichpibul, T. e Kawtummachai, R. (2012). *New Enhancement for Clarke-Wright Savings Algorithm to Optimize the Capacitated Vehicle Routing Problem*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.78 No.1, pp.119-134 <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>

Pozo, H. (2010). *Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística*. Atlas 6ed, São Paulo.

Powell W.B. (1986). *A stochastic model of the dynamic vehicle allocation problem*. *Transportation Science*, 20, 2: 117-129.

Shi, C., Li, T., Bai, Y. e Zhao, F. (2016). *A Heuristics-Based Parthenogenetic Algorithm for the VRP with Potential Demands and Time Windows*. Hindawi Publishing Corporation Scientific Programming. Article ID 8461857. Acedido em 31 de Julho de 2020, em: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/8461857>

Simchi-Levi, D., Chen, X. e Bramel, J. (2005). *The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management*. 2ª Edição. Springer Science+Business Media, Inc. United States of America.

Sotomayor, A. M., Rodrigues, J. e Duarte, M. (2014). *Princípios de Gestão das Organizações*. Letras e Conceitos, Lda. 2ª Edição.

Tompkins, J. A. e Smith, J. D. (1998). *The Warehouse management handbook*. [Versão eletrónica]. 2ª Edição. *Tompkins Press Raleigh*, North Carolina. Acedido em 3 de Julho de 2020, em: https://books.google.es/books?hl=pt-PT&lr=&id=oHkA15BCY9MC&oi=fnd&pg=PR12&dq=warehouse&ots=69n9dlCess&sig=yMZt66qTrOJTeeo_CY1FUyhzOO4&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Toth, P., Vigo, D. (2014), *et al. Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. 2ª Edição. Society for Industrial and Applied Mathematics and the Mathematical Optimization Society, Philadelphia.

USAID (2012). *Manual de logística: Um guia prático para a Gestão da Cadeia de Abastecimento de Produtos Farmacêuticos*. Projecto Deliver, Task Order 1. 2ª Edição. USA. Acedido em 5 de Julho de 2020, em:

<https://www.ghsupplychain.org/sites/default/files/2017-02/Logistics%20Handbook%20Portuguese.pdf>

Waters, D. (2009). *Supply Chain Management: an introduction to logistics*. 2ª Edition. Palgrave MacMillan, Reino Unido.

Wood Jr., T., Brisola, A. B., Paula, A. P. P., Costin, C., Motta, F., Urdan, F., Campos, H., Curado, I., Vasconcelos, I. Aidar, M., Caldas, M., Csillag, P. (2009). *Mudança Organizacional*. [Versão eletrônica]. 5ª Edição. Editora Atlas, S.A. São Paulo. Acedido em 4 de Julho de 2020, em: [https://www.researchgate.net/publication/305469246 Mudanca Organizacional](https://www.researchgate.net/publication/305469246_Mudanca_Organizacional)

Yalcindag, S., Matta, A. e Sahin, E. (2011). *Human Resource Scheduling and Routing Problem in Home Health Care Context: A Literature Review*. 37th Conference on Operational Research Applied to Health Services (ORAHS), Cardiff. Acedido em 28 de Julho de 2020, em:

[https://www.researchgate.net/publication/267508322 Human Resource Scheduling and Routing Problem in Home Health Care Context A Literature Review](https://www.researchgate.net/publication/267508322_Human_Resource_Scheduling_and_Routing_Problem_in_Home_Health_Care_Context_A_Literature_Review)

Anexo I

Na obtenção de soluções da Heurística de Clarke e Wright utilizaram-se os dados enunciados abaixo, para os 3 exemplos.

Exemplo 1

No exemplo 1, a loja número 0 representa a localização do armazém original. Segundo a 1-mediana a proposta de localização para o exemplo 1 corresponde à loja número 6. De notar, que se considerou a mesma procura para ambas as lojas (0 e 6).

Tabela 3: Matriz das distâncias (em km) entre lojas do Exemplo 1.

Lojas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0		13,3	57,4	34,6	30,3	34,9	22,5	16,4	77,4	43,3	65,7	60,2	56,5	23,9	35,7
1	13,3		69,3	46,5	18,8	9,6	34,4	28,9	89,2	55,3	54	72,4	44,5	10,6	47,9
2	57,4	69,3		23	86,5	29,9	35,3	46,1	20,8	20,8	122	3,2	113	80,1	30
3	34,6	46,5	23		63,6	17,3	12,5	23,9	43	17,7	99,1	25,8	89,9	57,3	17,8
4	30,3	18,8	86,5	63,6		63,9	51,5	46,1	106	72,4	40,5	89,2	34,7	12,7	66,6
5	34,9	9,6	29,9	17,3	63,9		18,8	20,5	50,5	10,3	99,4	32,9	90,1	57,6	0,75
6	22,5	34,4	35,3	12,5	51,5	18,8		12,1	55,2	23,7	87	38,1	77,7	45,1	19,6
7	16,4	28,9	46,1	23,9	46,1	20,5	12,1		66,6	30,2	81,5	49,2	72,3	39,7	21,1
8	77,4	89,2	20,8	43	106	50,5	55,2	66,6		41,4	142	18,1	133	100	50,5
9	43,3	55,3	20,8	17,7	72,4	10,3	23,7	30,2	41,4		108	23,8	98,6	66	10,4
10	65,7	54	122	99,1	40,5	99,4	87	81,5	142	108		125	32,7	49,5	100
11	60,2	72,4	3,2	25,8	89,2	32,9	38,1	49,2	18,1	23,8	125		115	83,1	33,2
12	56,5	44,5	113	89,9	34,7	90,1	77,7	72,3	133	98,6	32,7	115		40,2	91
13	23,9	10,6	80,1	57,3	12,7	57,6	45,1	39,7	100	66	49,5	83,1	40,2		58,5
14	35,7	47,9	30	17,8	66,6	0,75	19,6	21,1	50,5	10,4	100	33,2	91	58,5	

Tabela 4: Procura das lojas (em número de Combis) do Exemplo 1.

Lojas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Total de Combis pedidos	16	19	9	11	10	7	16	6	8	8	9	6	10	17

Tabela 5: Rotas obtidas no Cluster 1 para o Exemplo 1 considerando o armazém original.

Cluster 1	Cientes abastecidos
Rota 1	4, 10 e 12
Rota 2	1 e 13

Tabela 6: Rotas obtidas no Cluster 2 para o Exemplo 1 considerando o armazém original.

Cluster 2	Clientes abastecidos
Rota 1	3, 6, 8 e 11
Rota 2	2 e 9
Rota 3	5 e 14
Rota 4	7

Tabela 7: Rotas do Cluster 1 para o Exemplo 1 considerando a nova localização do armazém.

Cluster 1, 1-mediana	Clientes abastecidos
Rota 1	4, 10 e 12
Rota 2	0, 1 e 13

Tabela 8: Rotas do Cluster 2 para o Exemplo 1 considerando a nova localização do armazém.

Cluster 2, 1-mediana	Clientes abastecidos
Rota 1	5, 8 e 14
Rota 2	2 e 11
Rota 3	3, 7 e 9

Exemplo 2

No exemplo 2, a loja número 0 representa a localização do armazém original. A partir da 1-mediana propôs-se que a loja 12 correspondesse à nova proposta de localização. À semelhança do exemplo 1, considerou-se que ambas as lojas detêm a mesma procura.

Tabela 9: Matriz das distâncias (em km) entre lojas do Exemplo 2

Lojas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0		13,3	57,4	30,3	22,5	16,4	77,4	65,7	60,2	35,7	55,1	35,5	22,5	57,3	79,7
1	13,3		69,3	18,8	34,4	28,9	89,2	54	72,4	47,9	43,4	47,6	34,6	69,5	91,9
2	57,4	69,3		86,5	35,3	46,1	20,8	122	3,2	30	111	29,9	35,1	2	23,1
3	30,3	18,8	86,5		51,5	46,1	106	40,5	89,2	66,6	30	64,5	51,5	86,4	109
4	22,5	34,4	35,3	51,5		12,1	55,2	87	38,1	19,6	76,4	19,5	5	35,2	57,6
5	16,4	28,9	46,1	46,1	12,1		66,6	81,5	49,2	21,1	70,9	21,1	12,2	46	68,9
6	77,4	89,2	20,8	106	55,2	66,6		142	18,1	50,5	131	50,4	55,1	20,8	3,9
7	65,7	54	122	40,5	87	81,5	142		125	100	15,1	100	87	122	144
8	60,2	72,4	3,2	89,2	38,1	49,2	18,1	125		33,2	114	32,9	37,9	3,3	20,5
9	35,7	47,9	30	66,6	19,6	21,1	50,5	100	33,2		89,6	0,2	19,6	29,9	52,9
10	55,1	43,4	111	30	76,4	70,9	131	15,1	114	89,6		89,4	76,4	111	133
11	35,5	47,6	29,9	64,5	19,5	21,1	50,4	100	32,9	0,2	89,4		19,4	29,8	52,8
12	22,5	34,6	35,1	51,5	5	12,2	55,1	87	37,9	19,6	76,4	19,4		35	57,4
13	57,3	69,5	2	86,4	35,2	46	20,8	122	3,3	29,9	111	29,8	35		23,1
14	79,7	91,9	23,1	109	57,6	68,9	3,9	144	20,5	52,9	133	52,8	57,4	23,1	

Tabela 10: Procura das lojas (em número de Combis) do Exemplo 2.

Lojas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Total de Combis pedidos	9	12	15	5	15	11	8	19	7	11	6	11	13	9

Tabela 11: Rotas obtidas no Cluster 1 para o Exemplo 2 considerando o armazém original.

Cluster 1	Clientes abastecidos
Rota 1	1, 7 e 10
Rota 2	3

Tabela 12: Rotas obtidas no Cluster 2 para o Exemplo 2 considerando o armazém original.

Cluster 2	Clientes abastecidos
Rota 1	6, 13 e 14
Rota 2	2 e 8
Rota 3	5, 9 e 11
Rota 4	4 e 12

Tabela 13: Rotas do Cluster 1 para o Exemplo 2 considerando a nova localização do armazém.

Cluster 1, 1-mediana	Clientes abastecidos
Rota 1	1, 7 e 10
Rota 2	0 e 3

Tabela 14: Rotas do Cluster 2 para o Exemplo 2 considerando a nova localização do armazém.

Cluster 2, 1-mediana	Clientes abastecidos
Rota 1	6, 13 e 14
Rota 2	2 e 8
Rota 3	4, 5, 9 e 11

Exemplo 3

No exemplo 3, a loja número 0 representa a localização do armazém original. Através da 1-mediana propôs-se que a loja 17 correspondesse à nova proposta de localização. Também no exemplo 3, a procura das lojas 0 e 17 assumiu-se a mesma.

Tabela 15: Matriz das distâncias (em km) entre lojas do Exemplo 3

Lojas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0		13,3	57,4	34,6	30,3	34,9	22,5	16,4	77,4	43,3	65,7	60,2	56,5	23,9	35,7	55,1	35,5	22,5	57,3	79,7
1	13,3		69,3	46,5	18,8	9,6	34,4	28,9	89,2	55,3	54,0	72,4	44,5	10,6	47,9	43,4	47,6	34,6	69,5	91,9
2	57,4	69,3		23,0	86,5	29,9	35,3	46,1	20,8	20,8	122,0	3,2	113,0	80,1	30,0	111,0	29,9	35,1	2,0	23,1
3	34,6	46,5	23,0		63,6	17,3	12,5	23,9	43,0	17,7	99,1	25,8	89,9	57,3	17,8	88,5	17,7	12,3	22,9	45,3
4	30,3	18,8	86,5	63,6		63,9	51,5	46,1	106,0	72,4	40,5	89,2	34,7	12,7	66,6	30,0	64,5	51,5	86,4	109,0
5	34,9	9,6	29,9	17,3	63,9		18,8	20,5	50,5	10,3	99,4	32,9	90,1	57,6	3,0	88,8	1,0	18,8	29,8	52,8
6	22,5	34,4	35,3	12,5	51,5	18,8		12,1	55,2	23,7	87,0	38,1	77,7	45,1	19,6	76,4	19,5	2,0	35,2	57,6
7	16,4	28,9	46,1	23,9	46,1	20,5	12,1		66,6	30,2	81,5	49,2	72,3	39,7	21,1	70,9	21,1	12,2	46,0	68,9
8	77,4	89,2	20,8	43,0	106,0	50,5	55,2	66,6		41,4	142,0	18,1	133,0	100,0	50,5	131,0	50,4	55,1	20,8	3,9
9	43,3	55,3	20,8	17,7	72,4	10,3	23,7	30,2	41,4		108,0	23,8	98,6	66,0	10,4	97,2	10,3	23,5	20,7	43,7
10	65,7	54,0	122,0	99,1	40,5	99,4	87,0	81,5	142,0	108,0		125,0	32,7	49,5	100,0	15,1	100,0	87,0	122,0	144,0
11	60,2	72,4	3,2	25,8	89,2	32,9	38,1	49,2	18,1	23,8	125,0		115,0	83,1	33,2	114,0	32,9	37,9	3,3	20,5
12	56,5	44,5	113,0	89,9	34,7	90,1	77,7	72,3	133,0	98,6	32,7	115,0		40,2	91,0	36,9	90,8	77,7	113,0	135,0
13	23,9	10,6	80,1	57,3	12,7	57,6	45,1	39,7	100,0	66,0	49,5	83,1	40,2		58,5	38,9	58,3	45,2	80,1	102,0
14	35,7	47,9	30,0	17,8	66,6	3,0	19,6	21,1	50,5	10,4	100,0	33,2	91,0	58,5		89,6	1,5	19,6	29,9	52,9
15	55,1	43,4	111,0	88,5	30,0	88,8	76,4	70,9	131,0	97,2	15,1	114,0	36,9	38,9	89,6		89,4	76,4	111,0	133,0
16	35,5	47,6	29,9	17,7	64,5	1,0	19,5	21,1	50,4	10,3	100,0	32,9	90,8	58,3	1,5	89,4		19,4	29,8	52,8
17	22,5	34,6	35,1	12,3	51,5	18,8	2,0	12,2	55,1	23,5	87,0	37,9	77,7	45,2	19,6	76,4	19,4		35,0	57,4
18	57,3	69,5	5,0	22,9	86,4	29,8	35,2	46,0	20,8	20,7	122,0	3,3	113,0	80,1	29,9	111,0	29,8	35,0		23,1
19	79,7	91,9	23,1	45,3	109,0	52,8	57,6	68,9	3,9	43,7	144,0	20,5	135,0	102,0	52,9	133,0	52,8	57,4	23,1	

Tabela 16: Procura das lojas (em número de Combis) do Exemplo 3.

Lojas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Total de Combis pedidos	10	18	5	9	6	10	11	7	4	16	11	8	8	12	13	4	9	15	9

Tabela 17: Rotas obtidas no Cluster 1 para o Exemplo 3 considerando o armazém original.

Cluster 1	Cientes abastecidos
Rota 1	8, 14, 16 e 19
Rota 2	2, 9 e 11
Rota 3	3, 5 e 18
Rota 4	6, 7 e 17

Tabela 18: Rotas obtidas no Cluster 2 para o Exemplo 3 considerando o armazém original.

Cluster 2	Cientes abastecidos
Rota 1	10 e 15
Rota 2	4, 12 e 13
Rota 3	1

Tabela 19: Rotas do Cluster 1 para o Exemplo 3 considerando a nova localização do armazém.

Cluster 1, 1-mediana	Cientes abastecidos
Rota 1	8, 14, 16 e 19
Rota 2	2, 9 e 11
Rota 3	3, 5 e 18
Rota 4	6 e 7

Tabela 20: Rotas do Cluster 2 para o Exemplo 3 considerando a nova localização do armazém.

Cluster 2, 1-mediana	Cientes abastecidos
Rota 1	10 e 15
Rota 2	4, 12 e 13
Rota 3	1